

Ю.А.ХРАМОВ

**БИОГРАФИЯ
ФИЗИКИ**

ХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ
СПРАВОЧНИК

♦

Ю.А.ХРАМОВ

**БИОГРАФИЯ
ФИЗИКИ**
**ХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ
СПРАВОЧНИК**

Ответственный редактор
акад. АН УССР
А. Г. СИТЕНКО

КИЕВ
«ТЕХНІКА»
1983

~~22.34.12~~ 53
X89

Рецензенты академики АН УССР
А. И. Ахиезер и М. П. Лисица

Зав. редакцией *Т. Т. Ревяко*

X $\frac{1704010000-186}{\text{М } 202 (04)-83}$ 55.83

© Издательство «Техніка», 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

История физики хранит немало событий и фактов, оказавших огромное влияние на формирование наших представлений об окружающем мире, становление и развитие всей современной науки. Размещенные в строгой временной последовательности, эти факты дают возможность проследить эволюцию основных физических идей и теорий, их взаимосвязь, преемственность, тенденции развития. «Без хронологии нет истории, как без истории нет истинной науки», — писал известный советский ученый и популяризатор науки акад. А. Е. Ферсман, подчеркивая этим важность составления научной хроники.

Предлагаемый справочник представляет собой своеобразный свод наиболее существенных фактов из истории физики. «Рассыпанные» по многим специальным изданиям — монографиям, статьям, историческим экскурсам и обзорам, эти факты впервые собраны воедино. Кто и когда сделал то или иное открытие, изобретение, сформулировал закон или принцип, выдвинул идею или разработал теорию — таков спектр вопросов, освещенных в справочнике. Раскрывается кратко также смысл многих фактов и их значение в развитии науки и техники. Справочник является первой попыткой систематизации физических фактов и может служить существенным дополнением к имеющимся немногочисленным изданиям по истории физики.

Приведенный хронологический свод содержит свыше 4000 основных физических событий и фактов и подается в рамках определенной схемы периодизации физики, дающей возможность более отчетливо представить структурные особенности и динамику развития физики, ее идей и принципов, иными словами ее внутреннюю логику развития. Используемая схема составлена с учетом тех факторов и стимулов, которые определяют состояние и облик любой науки и являются ускорителями ее прогресса.

В истории физики можно выделить ряд периодов и этапов, связанных с переломными, кульминационными моментами в ее развитии, вызванными революционными, фундаментальными открытиями. Это предыстория физики, период формирования физики как науки, периоды классической и современной физики. Последние два периода подразделяются на этапы. Обоснование проведенной периодизации и краткая характеристика периодов даются в разделе «Основные этапы в развитии физики», представляющем собой своего рода резюме ее увлекательной и величественной истории.

При отборе основных физических фактов автор старался отразить все разделы физики, не выделяя субъективно какие-либо направления и не обедняя искусственно другие. Как думается автору, это позволило дать объективное представление о физике в целом и в то же время о ее лидирующих областях в различные моменты времени, т. е. получить своего рода «временной срез» ее развития. Автор также пытался избежать перегрузки хронологии мелкими и второстепенными фактами, но думается, что это не всегда удалось выполнить до конца. Ряд известных открытий и изобретений из истории физики, к сожалению, не

удалось «привязать» к определенной дате. Отсутствие достаточной конкретности, а также нежелание помещать эти открытия в сравнительно широкий временной интервал заставили автора просто «опустить» их. Многие факты вводятся в подобное историко-физическое издание впервые, большое место отведено результатам работ отечественных и советских физиков.

Более 500 хронологических справок иллюстрируются историческими фотографиями и портретами известных физиков. Ограниченный объем книги не позволил все факты, особенно начиная с середины XIX в., когда появились первые специализированные физические журналы, подкрепить соответствующими библиографическими ссылками на первоисточники. Поэтому автор ограничился трудами классиков физики, фундаментальными монографиями и довольно обширной литературой по истории физики. Справочник сопровождается именным указателем, содержащим также некоторую биографического характера.

При составлении хронологии широко использовалась историко-физическая литература, избранные труды классиков физики, специальные монографии, носящие характер обзоров, мемориальная и юбилейная физическая литература, обзорные журнальные статьи, энциклопедические отечественные и зарубежные издания.

Справочник является первым изданием, освещающим хронику физической науки, поэтому в нем неизбежны некоторые просчеты. Это дает автору надежду на некоторое снисхождение, доброжелательные и полезные замечания. Хотелось бы, чтобы справочник инициировал подобные издания по другим отраслям науки с целью создания в дальнейшем детальной и широкой хронологической панорамы развития естествознания и техники.

Учитывая крайний дефицит в литературе по истории науки, и физике в частности, автор надеется, что «Биография физики» будет с интересом встречена широкой физической аудиторией.

Автор выражает искреннюю благодарность академику АН УССР А. Г. Ситенко, взявшему на себя нелегкий труд редактирования справочника, а также академикам АН УССР А. И. Ахиезеру и М. П. Лисице, проф. Д. Д. Иваненко и канд. физ.-мат. наук В. А. Миранскому за полезные советы, которые помогли автору в процессе работы над рукописью.

*Отзывы и пожелания
просим направлять
по адресу:
252601, Киев, 1,
Крещатик, 5,
издательство
«Техніка».*

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ

Удивительна и многогранна, впечатляюще насыщена яркими событиями и сложна биография физики. Столетиями эволюционировали физические знания: от первых интуитивных и наивных идей о дискретной природе материи (атомах вещества) до современных представлений об элементарных и субэлементарных частицах. И прежде чем стать наукой переднего края, физика прошла долгий и сложный путь развития.

Родившись как наука о природе (в переводе с греческого слово «физика» означает «природа») и являясь синонимом натурфилософии, физика по мере накопления эмпирического материала, его обобщения и теоретического осмысления, в процессе дифференциации научного знания и выделения из него отдельных наук превратилась в научную дисциплину о свойствах и строении материи и формах ее движения, изучающую наиболее общие, фундаментальные закономерности явлений в мире.

Современная физика представляет собой сложную структуру, где все подразделения тесно связаны между собой благодаря глубокой внутренней взаимосвязи, существующей между объектами материального мира и процессами, в которых они участвуют. Физика являлась и является ведущей наукой естествознания, в то же время она создала фундамент для всех его областей. Физические методы исследования приобрели решающее значение во всех естественных науках. На стыке их с физикой возникло множество смежных дисциплин: астрофизика, биофизика, химическая физика, физическая химия, математическая физика и др. Физика широко использует аппарат математики — своего рода адекватный язык, на котором записываются физические законы, представляющие собой фундаментальные соотношения между измеримыми физическими величинами.

Физика — теоретическая основа техники; результаты, получаемые в физике, всегда оказывали на нее стимулирующее воздействие, приводили к техническим революциям и переворотам, появлению новых технологий, новых отраслей техники. В свою очередь, развитие техники способствовало созданию новых методов физического исследования, обуславливающих прогресс как самой физики, так и смежных дисциплин. Особенно возросло взаимодействие физики с техникой и производством в середине нашего века, когда человечество вступило в период научно-технической революции, характерная особенность которой заключается в бурном развитии и завершении процесса превращения науки в непосредственную производительную силу общества, возрастании и углублении связи науки со всеми сферами общественной жизни, усилении ее социальной роли. В единой сегодня системе «наука — техника — производство» науке принадлежит ведущая роль. Огромное значение для подготовки научно-технической революции сыграли открытия в физике в конце XIX — начале XX в. Именно физика внесла наиболее существенный вклад в научно-технический прогресс и революционизировала не только саму науку, но и способ производства.

духовного производства, связанная многими нитями с техникой и экономикой, идеологией и политикой, образованием и самим производством. Сегодня, как никогда, использование науки становится решающим фактором могучего роста производительных сил общества. Более того, наука сама стала непосредственной производительной силой, а ее развитие — основой научно-технического прогресса.

В то же время науке, в том числе и физике, свойственна своя внутренняя логика развития, собственные особенности эволюции. «Для того чтобы определить, в каком направлении происходит развитие физической науки, — писал М. Планк, — есть только один способ: сравнить современное состояние ее с тем, в котором она находилась в прежнее время. Если же спросить, какой внешний признак может дать лучшую характеристику данной стадии развития какой-нибудь науки, то я не могу указать более общего признака, чем тот способ, по которому наука определяет свои основные понятия и подразделяет свои области» [37, с. 24].

С марксистско-ленинской точки зрения наука представляет собой исторически обусловленный способ производства знаний. Однако развитие науки — не просто механический процесс их накопления. В науке порой возникают ситуации, когда накопление новых знаний не поддается объяснению в рамках существующих теоретических схем, тогда приходится искать новые, интенсивные пути ее движения вперед. А это, как правило, приводит время от времени к так называемым научным революциям, к радикальной ломке основных структурных составляющих науки, иными словами, к выдвиганию новых принципов познания, новых категорий и методов исследования. Чередование экстенсивных и революционных периодов развития характерно как для науки в целом, так и для отдельных ее отраслей. Точки роста современной науки лежат, как правило, на пересечении двух путей — внутренней логики ее развития с диктуемыми обществом все более разнообразными социальными потребностями.

Фундаментальные физические идеи и созданные на их основе теории определяют кульминационные, революционизирующие моменты в развитии физики.

«Стройная теория, сочетающая математическую красоту и физическую истину, — это и есть конечная цель всех наших усилий, предпринимаемых в области физики. Но если теории являются конечным продуктом науки, эксперименты составляют ее движущую силу», — отмечал Ф. Дайсон [15, с. 530]. История науки убедительно доказывает, что источником развития самой науки, техники и промышленности все в большей мере становятся именно фундаментальные исследования, служащие идейной основой всего научно-технического прогресса, а также сильно воздействующие и на прогресс социальный. Научные революции, связанные с фундаментальными идеями, дают начало новому этапу в развитии науки, новым картинам мира. При этом происходит крутая ломка системы старых понятий и теорий, основных принципов и законов и, как следствие, — всего категориального строя и способа мышления ученых [2, 10, 27].

Важную, а иногда и решающую роль в развитии науки играют и отдельные выдающиеся ученые, такие, как Г. Галилей, И. Ньютон или М. В. Ломоносов, творчество которых является переломным моментом в развитии научных знаний, вершиной достижений человеческой мысли. Поворотные вехи в истории

физики украшены также именами М. Фарадея и Дж. Максвелла, М. Планка и А. Эйнштейна, Л. де Бройля и Н. Бора.

Совокупность перечисленных условий, тесно связанных между собой, и определяет поступательное движение науки, эволюцию научной картины природы. Поэтому, исходя из приведенных выше факторов, можно построить схему периодизации физики и определить основные этапы в ее развитии:

Предыстория физики. Период возникновения отдельных элементов физических знаний (VI в. до н. э. — XVI в.):

эпоха античности (VI в. до н. э. — V в. н. э.);

средние века (VI—XIV вв.);

эпоха Возрождения (XV—XVI вв.).

Период становления физики как науки (начало XVII — 80-е гг. XVII в.).

Период классической физики (конец XVII — начало XX в.):

первый этап (конец XVII — 60-е гг. XIX в.);

второй этап (60-е гг. XIX — конец XIX в.);

третий этап (конец XIX — начало XX в.).

Период современной физики (с 1905):

первый этап (1905—1931);

второй этап (1932—1954);

третий этап (с 1955).

Дадим обоснование предложенной схемы и краткую характеристику периодов. Заметим только, что факторы, о которых говорилось выше, определяют характер развития физики как сформировавшейся науки. Поэтому период от древнейших времен до начала XVII в., являющийся предысторией физики, когда накапливались физические знания об отдельных явлениях природы и возникали отдельные физические учения, делится на этапы в соответствии с принятыми этапами в развитии общества — античность, средние века, Возрождение.

ПРЕДЫСТОРИЯ ФИЗИКИ

Эпоха античности — эпоха древней греческо-римской культуры, когда высокого уровня развития достигли философия, литература, изобразительное искусство, архитектура. Характерными чертами древнегреческого естествознания были систематическое накопление фактов и попытки их объяснения, слабый эмпирический фундамент и большое количество общих гипотез и теорий, в которых, правда, древнегреческая естественнонаучная мысль предсказала, а порой и предвосхитила, немало позднейших научных открытий.

В эту эпоху зародились начальные идеи об атомарном, дискретном строении материи (Демокрит, Эпикур, Лукреций, V—IV вв. до н. э.), была построена первая модель мироздания — геоцентрическая система мира (Эвдокс Книдский, Аристотель, Гиппарх, Птолемей, IV в. до н. э. — II в. н. э.), возникла идея гелиоцентризма (Аристарх Самосский, III в. до н. э.), созданы основы геометрии, открыты законы прямолинейного распространения света и отражения света, положено начало геометрической оптике (Евклид, III в. до н. э.). Открыты простейшие электрические и магнитные явления (Фалес Милетский, VI в. до н. э.), обнаружено преломление света, установлен ряд закономерностей статики (правило рычага, центр тяжести) и гидростатики (закон Архимеда, условия плавания тел).

Видное место в истории древнегреческой науки занимал Аристотель. Он собрал и систематизировал огромный естест-

вещнонаучный материал своих предшественников, критически его оценил, исходя из своих философских взглядов, подвел как бы итог приобретенных знаний, сам осуществил ряд глубоких наблюдений. В частности, с его именем связано зарождение элементов механики, понятие движения как общего изменения и механического движения как перемещения в пространстве, правило сложения перемещений, перпендикулярных одно к другому и др. Физика Аристотеля, хотя и содержала отдельные правильные положения, в то же время игнорировала многие прогрессивные идеи, такие, как идеи атомизма и гелиоцентризма. Признавая значение опыта, Аристотель, однако, не считал его основным критерием достоверности знания и отдавал предпочтение умозрительным представлениям. Канонизированное церковью в средние века учение Аристотеля надолго затормозило развитие науки.

Средние века характеризуются господством схоластики и теологии в Западной Европе и спорадическими открытиями у арабских народов. Средневековые церковники выхолостили учение Аристотеля, сделали из него, по словам В. И. Ленина, «мертвую схоластику, выбросив все поиски, колебания, приемы постановки вопросов» [4, с. 326]. Не содействовало прогрессу естественнонаучных знаний и развитие техники, которое происходило очень медленно. Однако процесс накопления новых фактов (особенно с XIII в.) все же происходил.

Известным физиком средневековья был Альхазен (965—1039). Он построил теорию зрения, провел ряд опытов с камерой-обскурой, исследовал преломление света, рассмотрел различные виды зеркал, высказал мысль о конечности скорости света.

Своеобразным курсом средневековой физики была «Книга о весах мудрости» (1121) Ал-Хазини, в которой содержатся таблицы удельных весов многих твердых и жидких тел, описаны опыты по «взвешиванию» воздуха, по наблюдению явления капиллярности, отмечено, что удельный вес зависит от температуры, вес тела пропорционален количеству вещества в теле, скорость измеряется отношением пройденного пути ко времени и др.

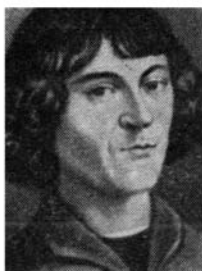
В 1269 появился рукописный трактат П. Перегрива «О магнитах», где описаны методы определения полярности магнита, взаимодействия полюсов, намагничивание прикосновением, явление магнитной индукции, некоторые технические применения магнитов. В трактате по оптике Э. Вителлия (1271) содержится наряду с изложением того, что сделали Евклид, Птолемей и Альхазен, формулировка закона обратимости световых лучей при преломлении, доказываются, что параболические зеркала имеют один фокус, исследуется радуга. В этот же период протекала деятельность известного английского философа и естествоиспытателя Р. Бэкона (ок. 1214—1292), критиковавшего схолистов и видевшего основу познания в опыте. Бэкон измерил фокусное расстояние сферического зеркала, открыл сферическую аберрацию, выдвинул идею зрительной трубы, был предвестником экспериментального метода.

В последующем XIV в. введены понятия ускорения и угловой скорости, произведено деление механического движения на поступательное и вращательное, равномерное и переменное, введено представление о равномерно-переменном движении и установлен его закон, связывающий путь, пройденный телом, и время.

Эпоха Возрождения — период социально-экономических сдвигов в европейском обществе и зарождения новых



Аристотель



Н. Коперник



И. Кеплер

производственных отношений. Это время великого переворота в развитии науки и культуры. Именно в этот период после тысячелетнего застоя и бесплодия возродилась наука в борьбе против взглядов Аристотеля. Были возрождены духовные ценности античности и заложено немало прогрессивных традиций.

Н. Кузанский (1401—1464) развил мысль, что движение является основой всего сущего, и высказал идею относительного движения. Еще в большей мере разошелся со схоластикой Леонардо да Винчи — выдающийся естествоиспытатель, изобретатель и гениальный художник. Он исследовал свободное падение, движение тела, брошенного горизонтально, столкновение тел, природу инерции, отражение звука, законы трения, бинокулярное зрение, открыл существование сопротивления среды и подъемной силы, явление капиллярности и многое другое.

Но настоящий переворот как в нашем понимании строения Вселенной, так и в системе научного мировоззрения осуществил выдающийся польский астроном Н. Коперник, отбросивший общепринятую тогда геоцентрическую систему мира Птолемея и создавший гелиоцентрическую систему мироздания, которая стала началом глубокой революции в естествознании. Возникнув в астрономии, она распространилась на физику. Это была не просто замена одной схемы строения планетной системы другой. Необходимо было сломать установившиеся истины, считавшиеся очевидными. К ним в первую очередь относился постулат о неподвижности Земли, о том, что сложный характер планетных движений является чем-то данным «сверху» и не подлежит объяснению. Необходимо было отказаться от идеи о центральном положении человека в природе. Наконец, необходимо было выступить против многовекового авторитета Аристотеля и Птолемея и церкви, канонизировавшей старую систему мира и сделавшей ее составной частью своего мировоззрения и идеологии. Это был научный подвиг, разрушивший основы средневековой религии и представление об исключительности Земли во Вселенной, приведший к революции в естествознании.

Свою систему мира Коперник изложил в трактате «Об обращении небесных сфер» (1543). Оценивая его значение, Ф. Энгельс писал: «Революционным актом, которым исследование природы заявило о своей независимости..., было издание бессмертного творения, в котором Коперник бросил ... вызов церковному авторитету в вопросах природы. Отсюда начинается свое лето-

счисление освобождение естествознания от теологии...» [2, с. 347]. Католическая церковь запретила в 1616 произведение Коперника, однако новые идеи стали неутомимо пробивать себе путь, открытие Коперника дало естествознанию толчок для движения по новому пути.

В этом же XVI в. появляются переводы трактатов древнегреческих ученых Архимеда, Евклида, Герона и других, выполняется ряд исследований итальянскими учеными в области механики (Н. Тарталья, Дж. Кардано, Г. Убальди дель Монте, Дж. Бенедетти) и оптики (Ф. Мавролик, Дж. Порта).

В 1584 был опубликован диалог «О бесконечности, Вселенной и мирах» выдающегося итальянского мыслителя и активного сторонника коперникового учения Дж. Бруно (1548—1600), в котором содержалась идея о бесконечности Вселенной, о существовании в ней, кроме солнечной, других планетных систем, предсказаны новые планеты в нашей солнечной системе, вращение Солнца и звезд вокруг оси, выдвинута идея о единстве законов природы.

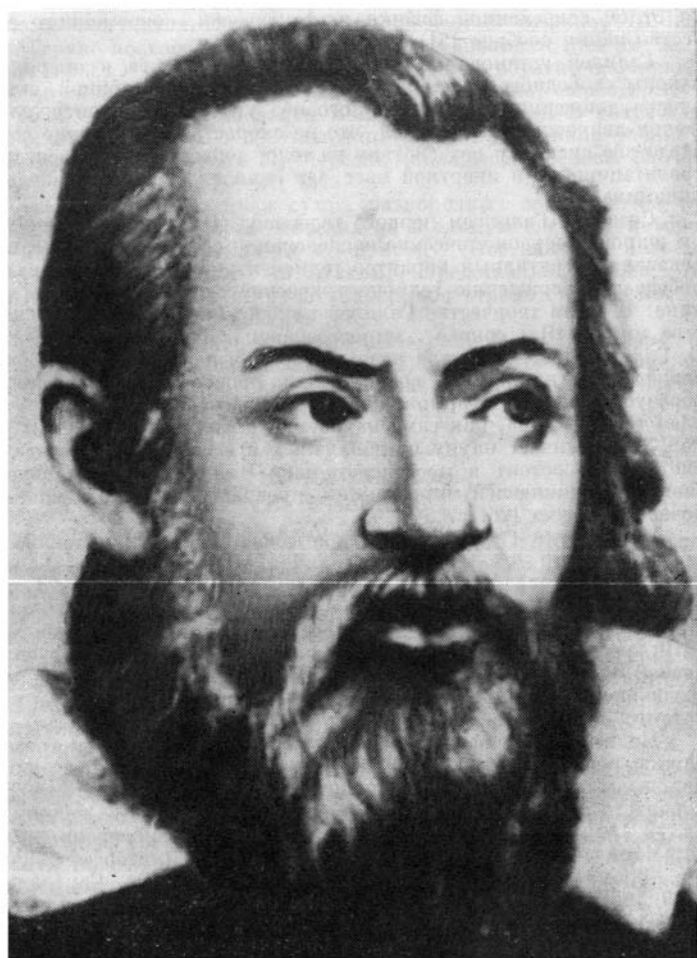
В работах голландского ученого С. Стевина (1548—1620) получила свое завершение статика древних. Он сформулировал теорему о треугольнике сил, открыл законы сложения сил и разложения силы на две взаимно перпендикулярные составляющие, дал оригинальное доказательство условия равновесия тела на наклонной плоскости, основанное на невозможности вечного двигателя.

В конце XVI в. было открыто свойство изохронности колебаний маятника (Г. Галилей), построены термоскоп — первый термометр (Галилей), зрительная труба и микроскоп (Захарий Янсен). Они стали мощными орудиями эксперимента: термометр привел к количественному изучению тепловых явлений, зрительная труба, превращенная Галилеем в телескоп, положила начало оптической астрономии, микроскоп позволил человеку «заглянуть» в мир клеток. Этим завершается период Возрождения в физике, завершается и ее предыстория, начинается новая фаза — становления физики как научной дисциплины.

ПЕРИОД СТАНОВЛЕНИЯ ФИЗИКИ КАК НАУКИ

В эпоху Возрождения физические наблюдения и опыты еще не носили систематического характера и не были объединены единым методом исследования. XVII в. положил начало систематическому использованию в физике экспериментального метода, творцом которого и последовательным проводником стал Г. Галилей — один из основоположников точного естествознания.

«... Прежде чем человечество созрело для науки, охватывающей действительность, — писал А. Эйнштейн, — необходимо было другое фундаментальное достижение, которое не было достоянием философии до Кеплера и Галилея. Чисто логическое мышление не могло принести нам никакого знания эмпирического мира. Все познание реальности выходит из опыта и возвращается к нему. Положения, полученные при помощи логических способов, при сравнении с действительностью оказываются совершенно пустыми. Именно потому, что Галилей сознавал это,



*Г. Галилей (1564 — 1642) —
выдающийся итальянский физик,
механик и астроном,
один из основоположников
точного естествознания*

и особенно потому, что он внушал эту истину ученым, он является отцом современной физики и, фактически, современного естествознания вообще» [51, с. 182].

Галилей установил принципы относительности и инерции, законы свободного падения, движения тела по наклонной плоскости, движения тела, брошенного под углом к горизонту, сложения движений. Он показал, что не скорость, а ускорение есть следствие внешнего воздействия на тело, доказал факт равенства гравитационной и инертной масс. От Галилея берет свое начало динамика.

Создание Галилеем первого телескопа (1609) и выполненные им широкие астрономические исследования со всей очевидностью доказали объективный характер гелиоцентризма, способствовали победе и утверждению гелиоцентрической системы мира Коперника. В своем творчестве Галилей руководствовался идеей единства мира. «В основе мировоззрения Галилея, — отмечает Б. Г. Кузнецов, — лежала идея, которая была и остается стержневой идеей науки: вся совокупность процессов во Вселенной образует некоторое гармоничное, упорядоченное целое... Эта идея так же стара, как сама наука, она появилась вместе с наукой, она отличает науку от донаучных представлений, и развитие науки состоит в последовательном выяснении каузальной связи, объединяющей мироздание и превращающей его в упорядоченное целое» [26, с. 54].

Цель науки Галилей видел в отыскании причин явлений, а задачу ученого — в «изучении великой книги природы». Галилеем открывается первый этап в развитии физики, который завершается И. Ньютоном. Именно Галилей, а перед ним также И. Кеплер, установивший три закона движения планет (1609—1619), раскрыв тем самым кинематический аспект строения солнечной системы, подготовили путь Ньютону, который завершил создание механики (80-е гг. XVII в.) и построил первую научную картину природы — механическую картину мира.

На этом этапе формирования физики как науки, который длился почти столетие, было получено немало новых сведений. Заложены основы электро- и магнитостатики (У. Гильберт, 1600). В области оптики открыт закон преломления света (В. Снеллиус, ок. 1621; Р. Декарт, 1630), обнаружены явления дисперсии света (Я. Марци, 1648; И. Ньютон, 1666), дифракции (интерференции) (Ф. Гримальди), двойного лучепреломления (Э. Бартолин, 1669), поляризации (Х. Гюйгенс, 1678), измерена скорость света (О. Рёмер, 1676), сформулирован основной принцип геометрической оптики (П. Ферма, 1662), разработаны корпускулярная (И. Ньютон, 1666) и волновая (Х. Гюйгенс, 1678) теории света. Быстро развивается геометрическая оптика, закладываются основы физической оптики. Так, согласно Гюйгенсу, свет представлял собой волны, распространяющиеся в особой среде — эфире, заполняющей все пространство и проникающей внутрь тел.

В механике Х. Гюйгенс изучает криволинейное движение, создает теорию физического маятника, устанавливает понятие момента инерции и законы центробежной силы (1673), подготавливая тем самым почву для открытия второго закона механики и закона всемирного тяготения. В 1657 Гюйгенс сконструировал маятниковые часы, ставшие основой точной экспериментальной техники. Установлены законы удара упругих и неупругих тел, закон сохранения количества движения (Х. Гюйгенс, 1669), основной закон упругости (Р. Гук, 1660).

В 1643—1644 Э. Торричелли открыл атмосферное давление и способ получения вакуума, построил первый барометр. В 1650 О. Герике построил воздушный насос и выполнил с ним ряд опытов. В 1661 Р. Бойль и Р. Тоуэли установили обратную пропорциональную зависимость давления газа от объема, переоткрытую в 1676 Э. Мариоттом (закон Бойля — Мариотта). В результате этих открытий уже в 1-й половине XVII в. возникло учение о газах. В это же время М. Мерсенн закладывает основы физической акустики [25, 30, 31, 41].

Однако накопленная сумма разнородных знаний и фактов еще не была оформлена, объединена в единую систему, которая в свою очередь охватила бы всю природу. «Постоянная и цельная картина мира,— писал М. Планк,— представляет собой... ту незыблемую цель, к которой непрерывно стремится естествознание в ходе своего развития» [37, с. 48].

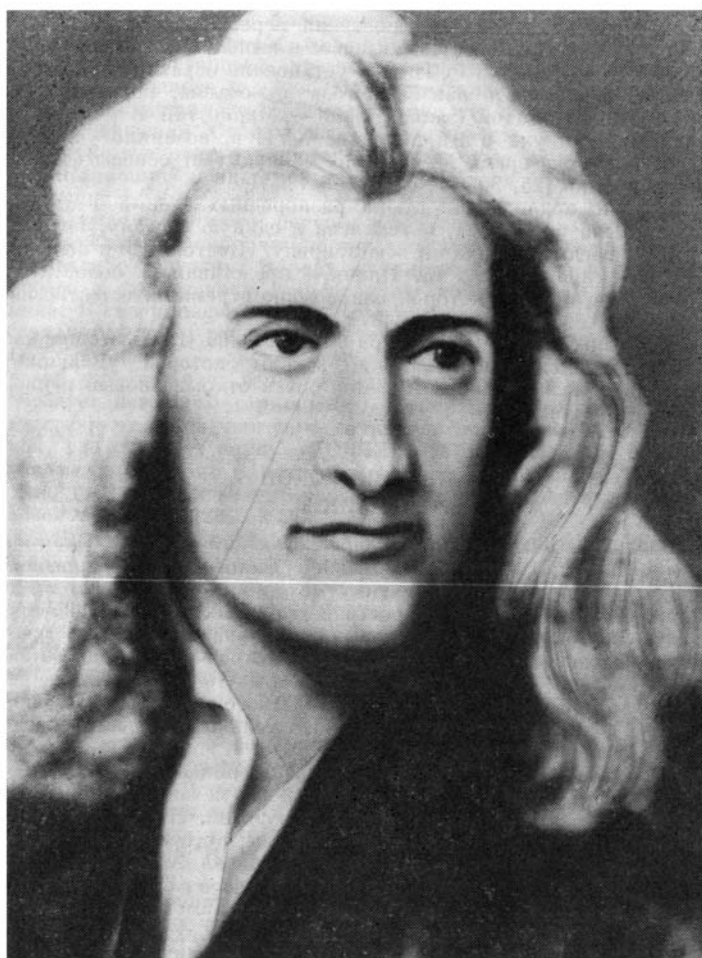
Единая общая картина мира была создана И. Ньютоном как завершенная система механики, законы которой управляют всеми явлениями природы. Именно она и открыла новый период в развитии физики.

ПЕРИОД КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В 1687 вышел в свет основополагающий труд И. Ньютона «Математические начала натуральной философии», содержащий основные понятия и аксиоматику механики, в частности представления об абсолютном пространстве и абсолютном времени, понятие состояния, массы, закон пропорциональности силы ускорению и закон всемирного тяготения. Исходя из последнего закона, Ньютон объяснил движения небесных тел, в результате чего стал возможен переход от кинематического описания солнечной системы к динамическому. Это окончательно утвердило победу учения Коперника.

В «Началах» также была объединена земная механика с небесной. Создалось впечатление, что законы механики управляют всеми процессами в природе. «Таким образом, Ньютон заложил основы той совокупности законов природы, которая дает возможность понять законы всех явлений,— писал А. Эйнштейн.— Ньютон считал, что этого можно достичь за счет сведения любых процессов к движениям частиц, которые взаимодействуют между собой» [51, с. 90].

Ньютон построил первую физическую картину мира (механическую картину) с абсолютным временем и пространством и концепцией дальнего действия, которая длительное время господствовала в науке. «...Ньютон был первым, кому удалось найти ясно сформулированную основу, из которой с помощью математического мышления можно было логически прийти к количественному согласующемуся с опытом описанию широкой области явлений», — отмечал А. Эйнштейн [51, с. 78]. Построенный Ньютоном фундамент физики оказался исключительно плодотворным и до конца XIX в. считался незыблемым. Вот почему год выхода в свет «Начал» можно считать этапным и принять за начало нового периода в истории физики — периода классической физики, длившегося два столетия, пока под давлением новых фактов введенная Ньютоном и его последователями величественная и грандиозная система не начала рушиться.



*И. Ньютон (1643 — 1727) —
выдающийся английский ученый,
заложивший основы современного естествознания,
создатель классической физики*

«Первый повод к пересмотру или изменению какой-нибудь физической теории почти всегда вызывается установлением одного или нескольких фактов, которые не укладываются в рамки прежней теории, — отмечал М. Планк. — Факт является той архимедовой точкой опоры, при помощи которой сдвигаются с места даже самые солидные теории» [37, с. 73]. Конец XIX и начало XX в. предоставили в распоряжение физиков такие факты, которые привели к революции в физике. Но до этого на протяжении двух столетий многие поколения ученых считали, что суть всех физических явлений сводится к механическому движению, что механика Ньютона является ключом к пониманию всего, что происходит вокруг.

Первый ощутимый удар по учению Ньютона нанесла теория электромагнитного поля Максвелла, дальнейшее развитие которой углубило ее противоречия с классической механикой и в конце концов привело к пересмотру основных положений физики. Это была вторая после ньютоновской фундаментальная физическая теория. Поэтому в периоде классической физики целесообразно выделить ряд этапов.

Первый этап проходит под знаком полного господства механики Ньютона, его механическая картина мира совершенствуется и уточняется, в ней обнаруживаются новые специфические черты. Бурно развиваются все области физики. Этот этап во времени непосредственно совпадает с утверждением в Западной Европе новых капиталистических отношений и их развитием, приведшим во второй половине XVIII — начале XIX в. к технической и промышленной революциям.

Значительного совершенства и стройности достигла механика в трудах Ж. Даламбера, Л. Эйлера, Ж. Лагранжа и П. Лапласа. Так, Лагранж, введя в 1760 обобщенные координаты, придал уравнениям движения такую форму, которая сделала возможным их применение и к немеханическим процессам, в частности к электромагнитным. Лаплас, разлив методы небесной механики, сделал все то, что не удалось сделать его предшественникам в объяснении движения небесных тел, а его космогоническая гипотеза происхождения солнечной системы (1796) имела не только большое научное значение, но и философское звучание. Триумфом механики Ньютона было открытие (1846) Нептуна, основанное на теоретических вычислениях У. Леверье (1846), после чего вера в механическое описание стала всеобщей [22]. Ход развития классической механики демонстрировал справедливость единого закона природы — закона гравитации — как на Земле, так и во Вселенной.

Был открыт ряд законов сохранения: материи и движения (М. В. Ломоносов, 1748), электрического заряда (Б. Франклин, 1750), энергии (Ю. Майер, 1842; Дж. Джоуль, 1843; Г. Гельмгольц, 1847). Причем, Гельмгольц распространял закон сохранения энергии с механических и тепловых процессов на другие области явлений — электрические, магнитные, оптические. Именно в этом законе нашло свое отражение единство различных физических процессов. Физику стали представлять единой цельной наукой.

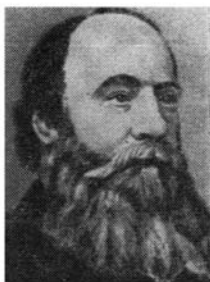
Начали разрабатываться методы термометрии и термометрические шкалы (А. Цельсий, Р. Реомюр, Г. Фаренгейт). Развитие химии и металлургии стимулировало изучение тепловых явлений. Дж. Блэк показал различие между температурой и количеством теплоты и открыл (1762) скрытую теплоту плавления и паро-



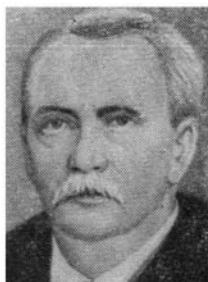
*М. В. Ломоносов (1711 — 1765) —
выдающийся русский ученый,
мыслитель-материалист,
основоположник естествознания в России*



Ю. Майер



Дж. Джоуль



Г. Гельмгольц

Открыватели закона сохранения энергии

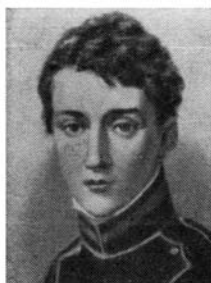
образования. Было введено понятие теплоемкости (И. Вильке) и измерены теплоемкости многих тел (П. Лаплас, А. Лавуазье). Это привело к созданию калориметрии.

Исследования в области теплоты и газов способствовали возникновению и усовершенствованию тепловых двигателей. В 1784 Дж. Уатт построил универсальный паровой двигатель, экономичный и эффективный, который получил широкое распространение и сыграл значительную роль в переходе к капиталистическому машинному производству.

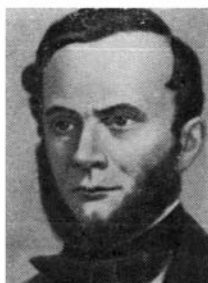
В XVII в. большое внимание начали уделять наглядным моделям и аналогиям, в частности гидродинамическим. Так, теплоту представляли в виде особой невесомой жидкости — теплорода, превращениями которого объясняли тепловые явления. Аналогично при помощи электрических и магнитных жидкостей объясняли соответственно электрические и магнитные явления. В XVIII в. модели невесомой жидкости проникли во все разделы физики. В их существовании не сомневалось большинство ученых. При этом считали, что каждое физическое явление имеет своего носителя, свою субстанцию. Это было связано и с тем, что различные физические явления рассматривали как независимые, не связанные друг с другом. Лишь немногие ученые (Л. Эйлер, М. В. Ломоносов и др.) отрицали наличие невесомых материй. Только в 1-й половине XIX в. концепция невесомых материй потерпела полное поражение благодаря успехам волновой теории и открытию закона сохранения энергии.

Характеризуя этот период, И. Е. Тамм писал: «К концу XVIII — началу XIX в. область известных физических явлений значительно расширилась, однако явления эти изучались вне связи друг с другом и для объяснения каждой группы явлений прибегали к гипотезе особого «флюида» (субстанции) — электрический флюид, магнитный флюид, теплород, наконец, световые частицы, вводившиеся для объяснения световых явлений. В виде реакции против этого обилия разнотипных сил и разнородных флюидов и возникла идея о единстве сил природы. ... Венцом этого периода развития физики, характеризовавшегося идеей единства сил природы, было установление закона сохранения энергии...» [43, с. 317—318].

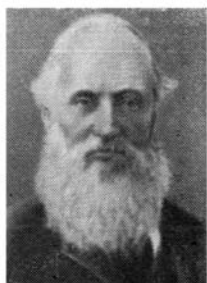
Был установлен ряд газовых законов: закон Шарля (1787), Гей-Люссака (1802), сформулировано уравнение состояния идеального газа (Б. Клапейрон, 1834), опытами Б. Румфорда



Н. Карно



Р. Клаузиус



У. Томсон

Создатели термодинамики

(1798) и Г. Дэви (1799) подтверждена механическая теория теплоты, изложенная в работах Д. Бернулли, Л. Эйлера и М. В. Ломоносова. В 50-х гг. XIX в. были заложены основы кинетической теории газов (Дж. Джоуль, Р. Клаузиус, Дж. Максвелл) и термодинамики (Р. Клаузиус, У. Ранкин, У. Томсон; начало термодинамике положил Н. Карно, 1824) [13, 35]. Большое значение для физики имели также введение Дж. Дальтоном понятия атомного веса и развитие им атомистических представлений (1803), а также разработка А. Авогадро молекулярной гипотезы (1811). В результате была возрождена идея атомизма древнегреческих мыслителей.

В XVIII в. были заложены основы фотометрии (П. Бугер, И. Ламберт), построены дифракционная решетка (Д. Риттенгаус, 1786), получившая широкое распространение в 20-х гг. XIX в., и ахроматический объектив (Дж. Доллонд, 1757).

В начале XIX в. работами Т. Юнга и О. Френеля было завершено создание волновой оптики, на основе которой объяснены многие оптические явления, в частности предсказана поперечность световых волн (Т. Юнг, 1817; О. Френель, 1819), установлены законы отражения и преломления на плоской неподвижной поверхности раздела двух сред (О. Френель, 1823). В 1834 У. Гамильтон, исходя из открытой им аналогии между геометрической оптикой и классической механикой, разработал формализованную теорию оптических явлений, огромное значение которой обнаружилось при создании квантовой механики. В 1800 У. Гершель открыл инфракрасные лучи, а в 1801 У. Волластон и И. Риттер — ультрафиолетовые. В 1845 М. Фарадеем обнаружено магнитное вращение плоскости поляризации света (эффект Фарадея), чем впервые указано на связь между светом и электромагнетизмом. Измерение скорости света в воде (Л. Фуко, 1850) окончательно подтвердило волновую теорию света.

В 1818 О. Френель положил начало оптике движущихся тел, а в 1851 А. Физо обнаружил влияние движения среды на скорость распространения света в ней, измерив скорость света в движущейся воде и показав, что свет частично увлекается движущейся средой (опыт Физо). Опыт Физо подтвердил полученную Френелем формулу для коэффициента увлечения. Он сыграл важную роль в построении электродинамики движущихся сред, а в дальнейшем явился одним из экспериментальных обоснований специальной теории относительности.



Х. Гюйгенс



Т. Юнг



О. Френель

Создатели волновой оптики

В 1859 открыты катодные лучи (Ю. Плюккер), чему способствовало изобретение в 1857 Г. Гейсслером ртутного вакуумного насоса и создание в 1858 трубки (гейсслеровой). В 1859 открыт спектральный анализ (Р. Бунзен, Г. Кирхгоф) и установлен основной закон теплового излучения (закон Кирхгофа).

Ряд фундаментальных результатов получен в других областях физики. Созданы основы теоретической гидродинамики идеальной жидкости (Д. Бернулли, 1738; Л. Эйлер, 1755), теории упругости (Л. Навье, С. Пуассон, О. Коши, 20-е гг. XIX ст.), экспериментальной акустики (Э. Хладни, конец XVIII в.). В начале XIX в. был заложен фундамент физики твердого тела.

В области изучения электрических явлений в XVIII в. сделано немного, основные открытия здесь приходится лишь на конец столетия. В 1729 С. Грей открыл явление электропроводности, а Ш. Дюфе установил в 1733 существование двух родов электричества. В 1745 построен первый электрический конденсатор — лейденская банка (Э. Клейст, П. Мушенбрук), в 1750 Б. Франклином разработана теория электричества и сформулирован закон сохранения электрического заряда, подтвержденный экспериментально в 1843 М. Фарадеем. В 1785 установлен основной закон электрического взаимодействия (Ш. Кулон), в 1786 открыт электрический ток (Л. Гальвани), а в 1799 сконструирован первый источник длительного электрического тока (А. Вольта). В последующие несколько лет обнаружены тепловое, химическое и световое действие тока.

С XIX в. начинается бурное развитие этой области физики. Создание сильных источников тока — электрических батарей (В. В. Петров, Г. Дэви) дало возможность изучить количественно эффекты, сопровождающие ток. В 1820 Х. Эрстед открыл магнитное действие тока, положив начало электромагнетизму. Был установлен ряд законов электрического тока. Так, А. Ампер обнаружил (1820) взаимодействие токов и установил закон этого взаимодействия (закон Ампера), что привело к возникновению электродинамики. Установлены также закон Био — Савара (1820), Ома (1826), законы электролиза (М. Фарадей, 1833), Кирхгофа (1845—1847), закон Джоуля — Ленца теплового действия тока (1841—1842), взаимодействия движущихся зарядов (В. Вебер, 1845), предложена теория магнетизма (Ампер, 1820), открыты термоэлектричество (Т. Зеебек, 1821), поляризация диэлектриков (М. Фарадей, 1837), пара- и диамагнетизм (Фарадей, 1845), изо-

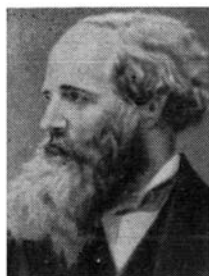
Первое уравнение является математической формулировкой закона электромагнитной индукции, второе — отражает отсутствие магнитных зарядов, невозможность их выделения, четвертое — формулирует электростатическую теорему Гаусса и обобщает закон Кулона. Третье уравнение является обобщением на переменные поля закона Ампера о возбуждении магнитного поля электрическими токами. Однако в нем содержится оригинальная и блестящая идея Максвелла. К току проводимости, обусловленному переносом зарядов, он добавил так называемый ток смещения — переменное электрическое поле, которое подобно току проводимости также создает свое магнитное поле. Это была гениальная догадка Максвелла, не вытекающая из известных экспериментальных фактов и давшая возможность избавиться от трудностей при рассмотрении замкнутых и незамкнутых токов.

Идея о токе смещения позволила Максвеллу построить замкнутую систему дифференциальных уравнений для электрического и магнитного полей, переставших быть несвязанными и представших как единое целое — электромагнитное поле. Полученные Максвеллом уравнения показывают, что электромагнитные поля могут распространяться в свободном пространстве в виде поперечных (электромагнитных) волн, движущихся со скоростью света. А если электромагнитное поле может существовать независимо от материального носителя, то электрическое взаимодействие уже нельзя объяснить действием на расстоянии. Поэтому ньютоновское дальное действие уступило место близкодению, полям, распространяющимся в пространстве с конечной скоростью.

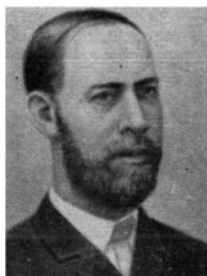
Кроме того, из уравнений Максвелла следовала возможность рассматривать свет как электромагнитное возбуждение. Это позволило объединить такие две, казалось бы, разные области физики, как оптику и электромагнетизм, в одну, считая оптику разделом электродинамики. Идея тока смещения (1861), существования электромагнитных волн (1865) и электромагнитной природы света (1865) были настолько необычными и смелыми, что современники Максвелла и последующее поколение физиков были ошеломлены и не приняли его теорию. Сопротивление новой теории было сломлено, когда Г. Герц экспериментально открыл в 1888 электромагнитные волны. А активный противник этой теории У. Томсон был убежден в правоте теории Максвелла лишь опытами П. Н. Лебедева по экспериментальному доказательству существования светового давления (1899) [39].

Несколько десятилетий многие ученые пытались найти для теории Максвелла некоторое механическое обоснование. Однако попытки их были безуспешными, и они постепенно примирились с необходимостью отказа от идеи механического обоснования света и приняли концепцию поля. Значение теории электромагнитного поля наиболее выразительно охарактеризовал А. Эйнштейн. «Теория электрического поля Фарадея и Максвелла, благодаря которой удалось выйти из ... затруднительного состояния, — писал он, — представляет, очевидно, наиболее глубокое превращение, которое основание физики претерпело со времени Ньютона. Это был новый шаг в конструктивном развитии теории...» [51, с. 212].

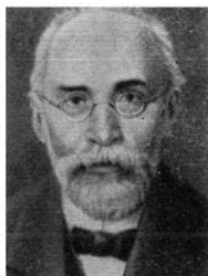
«Формулировка максвелловских уравнений явилась чрезвычайно важным событием не только благодаря ценности их содержания, но и потому, что они дали образец нового типа законов. Обращая внимание лишь на те изменения, какие произошли благодаря ему (Максвеллу. — Ю. Х.) в наших представлениях



Дж. Максвелл



Г. Герц



Х. Лоренц

Создатели классической электродинамики

о природе физической реальности, — отмечал Эйнштейн, — мы можем сказать, что до Максвелла физическая реальность, поскольку она должна представлять процессы в природе, мыслилась в виде материальных точек, изменения которых состоят только в движении, описываемом обыкновенными дифференциальными уравнениями. После Максвелла физическая реальность мыслилась в виде непрерывных, не поддающихся механическому объяснению полей, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных» [51, с. 138].

Дальнейшее развитие теории электромагнитного поля получила в работах О. Хевисайда и Г. Герца, которые уравнениям Максвелла придали (1890) математически симметричную форму, хорошо демонстрирующую полную взаимосвязь между электрическими и магнитными явлениями.

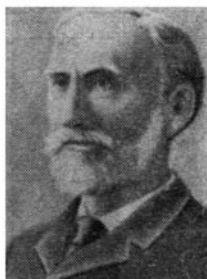
Электродинамика как порождение XIX в. явилась первой областью физики, где были применены полевые концепции, получившие в дальнейшем широкое распространение. В результате также впервые была продемонстрирована определяющая роль электромагнитных сил в веществе.

Со временем уравнения Максвелла как макроскопические уравнения электромагнитного поля обобщил Х. Лоренц, экстраполировав их на микроскопические (мелкомасштабные) электромагнитные поля, создаваемые отдельными заряженными частицами. Результатом было построение им электронной теории (1880—1892), приведшей к большим успехам, объяснившей и предсказавшей много новых фактов и явлений. В развитие электронной теории внесли вклад также Дж. Томсон, М. Абрагам, А. Пуанкаре, Дж. Лармор и др. Свою теорию Лоренц использовал и для разработки электродинамики движущихся сред, представляющей собой синтез теории электромагнитного поля Максвелла и электронной теории (уравнения Максвелла, лежащие в основе классической электродинамики, относились к неподвижным телам. Задачу распространения системы уравнений Максвелла на движущиеся тела в определенных рамках решил в 1890 Г. Герц). В результате усилиями перечисленных выше физиков была создана электродинамическая картина мира [19, 39].

Наряду с развитием электромагнетизма в этом же периоде было завершено создание термодинамики (Р. Клаузиус, Л. Больцман, Дж. Гиббс). Клаузиусом введено важное понятие для термодинамической системы — понятие энтропии и установлен прин-



Л. Больцман



Дж. Гиббс



А. Пуанкаре

Создатели классической статистической физики

цип, характеризующий направление протекания процессов (1865). Больцман открыл связь энтропии физической системы с вероятностью ее состояния и доказал статистический характер второго начала термодинамики (1872). Гиббс заложил в 1873—1878 основы химической термодинамики.

Усилиями Дж. Максвелла, Р. Клаузиуса и Л. Больцмана продолжалось развитие кинетической теории газов. Последняя впервые ввела в физику методы теории вероятностей, рассмотрев статистически большое количество не связанных между собой элементарных механических процессов [35].

Дж. Максвеллом (1859—1866) и Л. Больцманом (1866) был установлен статистический закон распределения молекул газа по скоростям (закон распределения Максвелла — Больцмана). В результате такого нового подхода возникла статистическая механика, обосновавшая законы термодинамики и установившая границы ее применения (Дж. Максвелл, Л. Больцман, Дж. Гиббс). Она показала, что законы термодинамики не носят уже характер строгой необходимости, им свойственен вероятностный характер, хотя вероятность их выполнения и очень высокая. Таким образом, физики пришли к выводу, что наблюдаемым законам в большинстве подчиняются лишь средние значения физических величин (средние характеристики). Иными словами, они начали рассматривать некоторые закономерности природы как статистические. Свое завершение классическая статистическая физика получила в 1902 в работе Дж. Гиббса «Элементарные принципы статистической механики» [13].

В 1869 Д. И. Менделеевым был открыт один из фундаментальных законов природы — периодический закон химических элементов, имеющий огромное естественнонаучное и философское значение. Он позволил рассматривать все элементы в их взаимной связи и прогнозировать свойства неизвестных элементов. Обнаружена закономерность в спектральных линиях водорода (И. Бальмер, 1885) и предложена (1890) формула, описывающая любую спектральную линию химического элемента (формула Ридберга). Установлены законы теплового излучения (закон Стефана — Больцмана, закон смещения Вина), уравнение состояния реального газа (уравнение Ван дер Ваальса).

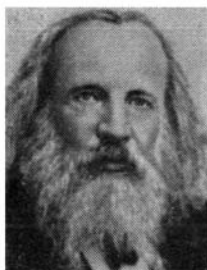
В области эксперимента получен ряд значительных достижений: определено (1865) число молекул в 1 см^3 газа при нормальных условиях (число Лошмидта), открыты электро- и магнитоп-

тические эффекты (Дж. Керр, 1875—1876), эффект Холла (1879), пьезоэлектрический эффект (П. и Ж. Кюри, 1880), термоэлектронная эмиссия (Т. Эдисон, 1883), внешний фотоэффект (Г. Герц, 1887), получен жидкий кислород (Л. Кальете, Р. Пикте, 1877), выполнены опыты по обнаружению «эфирного ветра» (А. Майкельсон, 1881, 1887).

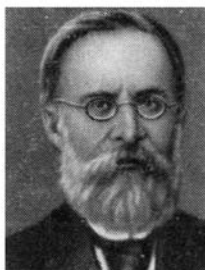
Созданы важные для дальнейшего развития физики и техники инструменты и устройства: динамомашина (А. Пачиотти, 1860), аккумулятор (Г. Планте, 1860), лампа накаливания (А. Н. Лодыгин, 1872; Т. Эдисон, 1879), радиометр (У. Крукс, 1873), трансформатор (П. Н. Яблочков, 1876), телефон (А. Белл, 1876), микрофон (Д. Юз, 1878), первый современный оптический микроскоп (Э. Аббе, 1878), болометр (С. Ленгли, 1881), фотоэлемент (А. Г. Столетов, А. Риги, 1888), генератор трехфазного тока (М. И. Доливо-Добровольский, 1888), когерер (Э. Бранли, 1890), электромагнитный осциллограф (А. Блондель, 1893), вакуумный спектрограф (В. Шуман) и др.

Успехи физики конца XIX в. как в теории, так и в эксперименте привели к тому, что различные разделы физики представляли собой взаимосвязанную систему, объединенную механикой Ньютона и электродинамикой Максвелла — Лоренца. Своим современникам физика казалась уже почти завершенной. В этой связи уместно привести разговор, происшедший между студентом Мюнхенского университета Планком и его учителем профессором Ф. Жолли. Молодой Планк, намеревавшийся стать физиком-теоретиком, спросил у профессора, что тот думает по этому поводу. Жолли, считавший, что с открытием закона сохранения энергии физика как наука в основном себя исчерпала, ответил: «Молодой человек, зачем вы хотите испортить себе жизнь? Ведь теоретическая физика уже закончена, дифференциальные уравнения решены, остается рассмотреть отдельные частные случаи... Стоит ли браться за такое бесперспективное дело?» [37, с. 250]. Даже такой известный физик, как У. Томсон (Кельвин), в речи, произнесенной им по случаю наступления нового века, высказал сожаление о последующих поколениях физиков, которым остались лишь мелкие доделки в уже воздвигнутом здании физической науки. Однако при этом он отметил, что на чистом и ясном небосводе физики осталось только два «облачка» — одно, связанное с опытом Майкельсона, другое — с тепловым излучением черного тела. Правда, завершенность физики большинство ученых XIX в. понимало как возможность сведения всех физических явлений к механике молекул (атомов) и эфира.

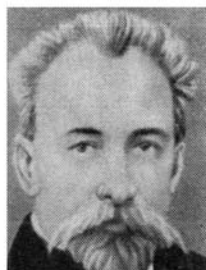
Логическим завершением подобных концепций являлось построение механических моделей наблюдаемых и исследуемых явлений. Однако эта «игра» в механические модели явлений сталкивалась с большими трудностями. Образно охарактеризовал подобные построения А. Пуанкаре: «Далеко обгоняя опыт, доходя до крайностей, некоторые ученые, в частности ученые английской школы, охотно занимались изобретением весьма любопытных механических моделей, представлявших порой очень странное изображение того, что мы видим в действительности. Самый знаменитый среди них, лорд Кельвин, наиболее типичен в этом отношении; он и сам говорил: «Понимаем ли мы или не понимаем то или иное явление в физике — это то же, что можем ли мы или не можем построить соответствующую механическую модель. Я никогда не чувствую себя удовлетворенным, раз не могу построить механической модели предмета; если я могу сделать ме-



Д. И. Менделеев



А. Г. Столетов



П. Н. Лебедев

ханическую модель, я понимаю; если я не могу сделать механической модели, я не понимаю» [39, с. 11].

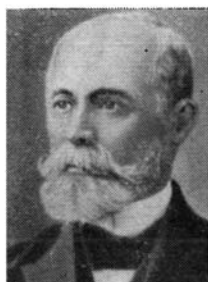
И дальше Пуанкаре продолжает: «Нужно признать однако же, что некоторые из подобных моделей были в высшей степени сложны и эта сложность давно уже смущала тех, что не обладают сильным воображением. Помимо этого, когда речь шла о том, чтобы понять механизм молекул, когда перестали удовлетворяться рассматриванием материи в массе, тогда механические решения оказались неопределенными и прочность подобных построек — сомнительной» [39, с. 11].

Невозможность свести все многообразии физических процессов к механическим привело некоторых ученых к мысли о нереальности молекул, атомов и электромагнитного поля, усложняющих физическую картину. Так, Э. Мах ратовал за чистое описание явлений, В. Оствальд, выступивший против кинетической теории и атомистики, — за энергетику, чистую термодинамику.

Идеалистические и агностицистские тенденции Маха, Оствальда и др. были подвергнуты глубокой критике В. И. Лениным в его книге «Материализм и эмпириокритицизм» [3].

Третий этап характеризуется ломкой многих устоявшихся принципов классической физики. Существовали факты, при объяснении которых классическая теория сталкивалась с большими трудностями, например инвариантность уравнений Максвелла — Лоренца относительно преобразований Галилея. Эти трудности можно было преодолеть, только привлекая совсем новые понятия и идеи, коренным образом отличающиеся от господствующих классических представлений.

Процесс революционного преобразования физики готовили также открытия конца XIX — начала XX в. [30]. В 1895 В. Рентген открыл излучение, названное его именем (рентгеновские лучи), в 1896 А. Беккерель — радиоактивность урана, в 1897 Дж. Дж. Томсон — электрон — новую частицу материи, в 1898 М. Склодовская-Кюри и П. Кюри — радиоактивные элементы полоний и радий, в 1900 М. Планк выдвинул идею квантов, в 1902—1903 Э. Резерфорд и Ф. Содди установили закон радиоактивных превращений. Экспериментально были доказаны зависимость массы электрона от скорости (В. Кауфман, 1902) и образование гелия из радона (У. Рамзай и Ф. Содди, 1903); последнее свидетельствовало о взаимопревращаемости элементов. В 1903 было также обнаружено непрерывное выделение тепла солями



А. Беккерель



П. Кюри



М. Склодовская-Кюри

Основоположники учения о радиоактивности

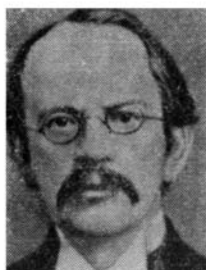
радия (П. Кюри, А. Лаборд), что по сути представляло открытие атомной энергии [40, 42].

Неожиданно окружающий мир стал намного сложнее, чем представлялся ранее. Микромир, рисовавшийся ученым XIX в. как миниатюрная копия макромира с полным качественным отождествлением макро- и микрообъектов и различающихся лишь количественно, оказался полным необъяснимых неожиданностей. Отчетливо проявилась ограниченность представлений физики XIX в. Привычный ньютоновский мир стал давать «трещины» по всем направлениям. Причем, речь шла не о деталях, рушились все механические основания этого мира. Это дало повод М. Планку сказать: «Современная теоретическая физика может произвести впечатление старого, почтенного, но уже обветшавшего здания, в котором одна часть за другой начинает рушиться, и даже сам фундамент начинает шататься» [37, с. 73]. Таким образом, была подготовлена почва для революции в физике. Зная этой революции несли М. Склодовская-Кюри и П. Кюри, Дж. Дж. Томсон и Э. Резерфорд, Х. Лоренц и М. Планк. Поэтому годы с 1895 по 1904 — это годы революционных изменений в физике, этап перехода к новой, современной физике.

В эти же годы было изобретено радио (А. С. Попов, 1895), открыто явление расщепления спектральных линий в магнитном поле (П. Зеeman, 1896), измерено давление света на твердые тела (П. Н. Лебедев, 1899), осуществлена поляризация рентгеновских лучей (Ч. Баркла, 1904), предложены первые модели атома (Ж. Перрен, Дж. Дж. Томсон, Х. Нагаока).

Этот этап крутой ломки старых понятий, когда новейшие естественнонаучные открытия разрушали старые метафизические представления о неделимости атомов, неизменности химических элементов, постоянстве массы, когда отбрасывались старые принципы науки и открывались новые свойства материального мира, часть физиков понимала как кризис физики. «Исчезает масса, исчезает материя, подрываются основы механики», — кричали они и отказались от материализма.

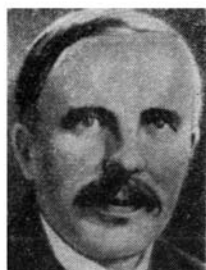
Новые достижения физики рассмотрел В. И. Ленин в книге «Материализм и эмпириокритицизм» (1909) и дал им материалистическое обоснование. Он проанализировал так называемый «кризис в физике» и показал революционный смысл фундаментальных физических открытий, наметил путь выхода из этого «кризиса». «Материя исчезает» — это значит исчезает тот предел, до которо-



Дж. Дж. Томсон



М. Планк



Э. Резерфорд

го мы знали материю до сих пор,— писал В. И. Ленин,— наше знание идет глубже; исчезают такие свойства материи, которые казались раньше абсолютными, неизменными, первоначальными (непроницаемость, инерция, масса и т. п.) и которые теперь обнаруживаются как относительные, присущие только некоторым состояниям материи» [3, с. 275]. И говоря об углублении человеческого познания, В. И. Ленин подчеркивал, что «если вчера это углубление не шло дальше атома, сегодня — дальше электрона и эфира, то диалектический материализм настаивает на временном, относительном, приблизительном характере всех этих *вех* познания природы прогрессирующей наукой человека» [3, с. 277].

Разрушение классической картины мира, покоившейся на ложной гипотезе тождества микро- и макроявлений, явилось вполне естественным и диалектичным, подтвердившим как нельзя лучше диалектический материализм, который настаивает на относительном характере всякого научного положения о строении и свойствах материи. И суть кризиса физики, как определил его В. И. Ленин, «... состоит в ломке старых законов и основных принципов, в отбрасывании объективной реальности вне сознания, т. е. в замене материализма идеализмом и агностицизмом» [3, с. 272—273]. В. И. Ленин выразил уверенность в успешном преодолении физикой этого кризиса: «Материалистический основный дух физики, как и всего современного естествознания, победит все и всяческие кризисы, но только с неприменной заменой материализма метафизического материализмом диалектическим» [3, с. 324]. Мысль В. И. Ленина о неисчерпаемости материи стала общим принципом естественнонаучного познания, программным положением для всей физики XX в.

ПЕРИОД СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

Годы 1895—1904 были этапными в переходе к новой физике, физике XX в., фундамент которой заложили теория относительности и квантовая теория. Начало ее можно отнести к 1905 г., когда А. Эйнштейн разработал третью после механики Ньютона и электродинамики Максвелла великую физическую теорию — специальную теорию относительности. При этом переход от клас-

сической физики к современной характеризовался не только возникновением новых идей, концепций и понятий, но и новыми способами мышления, новым языком формул, изменением ее духа в целом. В современной физике целесообразно выделить три этапа.

Первый этап начинается с создания специальной теории относительности, которая своим происхождением обязана фундаментальному противоречию, существующему между электродинамикой Максвелла — Лоренца и классической механикой. Дело в том, что уравнения электродинамики не удовлетворяют галилеевский принцип относительности классической механики, иначе говоря, они неинвариантны относительно преобразований Галилея. В электродинамике преимущество отдавалось некоторой системе координат. С ней ассоциировали систему, находящуюся в покое по отношению к эфиру — абстрактной гипотетической среде, лишенной всяких физических свойств, которая служила для фиксации систем отсчета, где справедливы уравнения электродинамики. По теории Максвелла — Лоренца для наблюдателя, движущегося относительно эфира, световые явления должны были бы протекать иначе, чем для неподвижного. Это означало, что изучение этих явлений в движущейся системе координат позволит определить скорость этой системы относительно эфира. Однако опыты, в частности опыт Майкельсона — Морли (1887), проведенные с целью обнаружить движение Земли относительно эфира (так называемый «эфирный ветер»), дали отрицательный результат. Они свидетельствовали, что движение Земли не оказывает влияния на электродинамические явления и что не существует привилегированной системы отсчета. Для объяснения отрицательного результата опыта Майкельсона — Морли Х. Лоренц выдвинул в 1892 гипотезу сокращения продольных размеров тел в процессе их движения относительно эфира (сокращение Лоренца — Фитцджеральда) и ввел понятие «местного времени», которое в движущихся телах течет иначе, чем в покоящихся. Он показал (1904), что хотя уравнения электродинамики и не инвариантны относительно преобразования Галилея, они инвариантны относительно другого линейного преобразования координат, имеющего, правда, более сложный вид:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z;$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (\text{преобразования Лоренца}).$$

Здесь x', y', z' — координаты и t' — время инерциальной системы, движущейся со скоростью v относительно другой инерциальной системы; c — скорость света.

Однако замена преобразований Галилея применительно к электродинамике, предложенная Х. Лоренцом, представляла собой удобное правило, пригодное для решения определенного круга физических задач.

Проанализировав подробно физический смысл пространства и времени, Эйнштейн допустил, что преобразования Лоренца отражают действительную физическую реальность, значение их выходит за пределы уравнений Максвелла и касается сущности пространства и времени и из инвариантности уравнений электродинамики относительно этих преобразований (из невозможности обнаружить абсолютное движение) вытекает справедливость

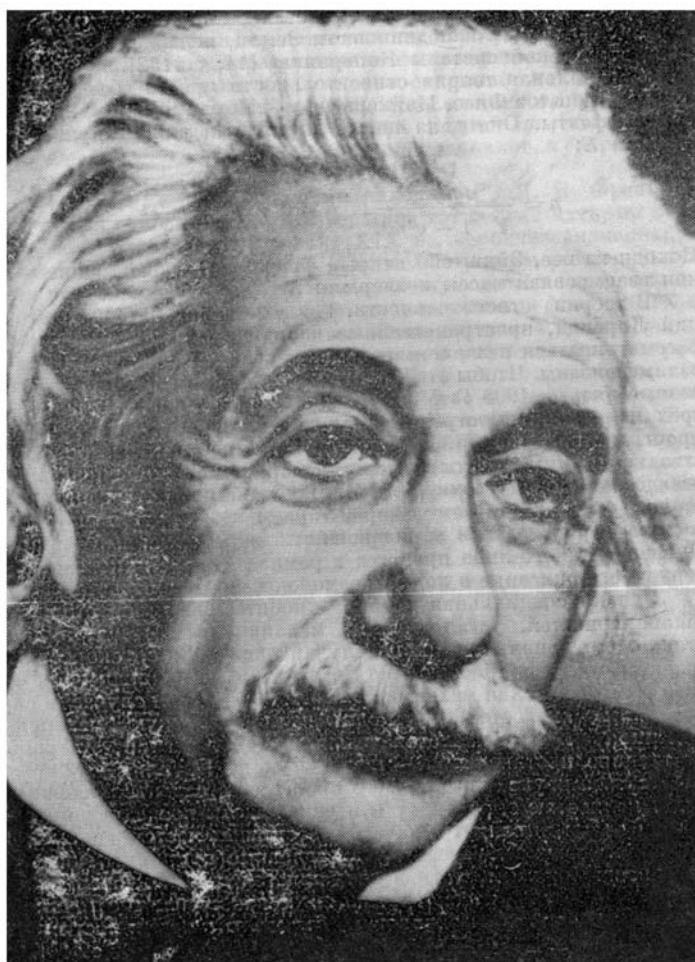
принципа относительности, т. е. равноправность всех инерциальных систем отсчета (при этом само понятие эфира оказалось лишним). Иными словами, Эйнштейн обобщил механический принцип относительности Галилея на оптические и электромагнитные явления, установив так называемый специальный принцип относительности, выражающий независимость (инвариантность) законов природы относительно преобразований движения (в 1905 общему формулировку принципа относительности дал А. Пуанкаре, доказавший также неизменность формы уравнений электродинамики относительно преобразований Лоренца).

«Чтобы специальный принцип относительности мог выполняться, — писал Эйнштейн, — необходимо, чтобы все уравнения физики не изменяли своего вида при переходе из одной инерциальной системы в другую, если использовать преобразования Лоренца для подсчета этого изменения. Говоря на языке математики, все системы уравнений, выражающие законы физики, должны быть инвариантными относительно преобразований Лоренца. Таким образом, с методологической точки зрения специальный принцип относительности ... дает нам общее условие, которому должны удовлетворять все законы природы» [50, с. 101].

Из специального принципа относительности, установленно-го Эйнштейном, следует, что физические законы должны иметь одинаковую форму во всех инерциальных системах отсчета, т. е. сохранять свой вид и при преобразованиях Лоренца. Это требование получило название релятивистской инвариантности, или лоренц-инвариантности (лоренц-ковариантности) физических законов. Связь между координатами и временем двух движущихся систем отсчета (немеханических) дается уже не преобразованиями Галилея ($x' = x - vt$; $y' = y$; $z' = z$; $t' = t$), основанными на понятиях абсолютного пространства и времени, а преобразованиями Лоренца. А это означает, что необходимо отказаться от этих, казалось бы, таких естественных постулатов.

Проведя глубокий критический анализ экспериментальных методов измерения пространства и времени, в частности анализ понятия одновременности разноместных событий (еще задолго до Эйнштейна ньютоновская концепция дальнего действия потерпела фиаско, в природе не было обнаружено тел, которые передавали бы сигналы мгновенно, без затраты времени), Эйнштейн постулировал, что любой сигнал не может распространяться со скоростью, большей скорости света в вакууме, а скорость света в вакууме постоянна и одинакова во всех направлениях (принцип постоянства скорости света). Исходя из этого, Эйнштейн показал, что два события, одновременные в одной системе, в другой происходят в разное время, т. е. понятие одновременности, как и понятие измерения времени, становится относительным. Подобные рассуждения распространяются и на измерения пространства. Эти два вышеназванные постулата Эйнштейна и были им положены в основу теории, которую он изложил в 1905 в статье «К электродинамике движущихся тел» [50].

Теория относительности Эйнштейна (частная, или специальная) заставила пересмотреть ряд основных положений и понятий механики Ньютона. Она представляла собой новую физическую теорию пространства — времени, так как вводила новые пространственно-временные представления (относительность длины, времени и одновременности), получившие свое отражение в замене преобразований Галилея преобразованиями Лоренца. По словам В. Л. Гинзбурга, «отказ от абсолютного времени яв-



*А. Эйнштейн (1879 — 1955) —
выдающийся физик-теоретик,
один из создателей современной физики*

ляется особенно радикальным выводом теории Эйнштейна. По своему значению и трудности этот вывод можно сравнить с отказом от абсолютной неподвижности Земли, лежащей в основе гелиоцентрической системы Коперника» [14, с. 132].

Специальная теория относительности просто объяснила результаты опытов Физо, Майкельсона — Морли и другие наблюдаемые эффекты. Она дала новые выражения для импульса p и энергии E :

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \quad E = c \sqrt{p^2 + m_0^2 c^2}.$$

Исходя из нее, Эйнштейн открыл фундаментальный закон — закон взаимосвязи массы и энергии: $E = mc^2$.

В теории относительности, как уже видно из преобразований Лоренца, пространственные координаты и время не могут рассматриваться независимо, измерения пространства и времени взаимосвязаны. Чтобы отобразить математически эту внутреннюю взаимосвязь, в 1908 Г. Минковский высказал идею объединения трех измерений пространства и времени в одно четырехмерное пространство — время. Предложив такое абстрактное пространство континуум — четырехмерный мир, в котором справедлива псевдоевклидова геометрия, Минковский придал специальной теории относительности завершенную логическую и математическую форму, развив ее современный четырехмерный аппарат. Описание какого-либо процесса в рамках мира Минковского содержит его описание в любой возможной системе отсчета.

Однако специальная теория относительности не отбросила закономерностей, установленных механикой Ньютона, а лишь уточнила и дополнила их на случай движения со скоростями, сравнимыми со скоростью света в вакууме. Созданная на ее основе релятивистская механика в своем предельном случае (в случае малых скоростей) переходит в ньютоновскую механику. «Именно... путем последовательных приближений, устраняя внутренние противоречия, — писал Луи де Бройль, — и может развиваться наука. Созданные в процессе ее развития теории не будут полностью опровергнуты и уничтожены последующим развитием науки, а войдут в качестве составных частей в новые, более общие теории... Твердо установленные принципы, надежно проверенные законы, хотя и сохраняются в дальнейшем развитии науки, но уже рассматриваются не как абсолютно точные, а лишь как некоторое приближение, пределы применимости которого определяются новой, более общей теорией» [10, с. 14].

Специальная теория относительности оказала огромное влияние на сам стиль мышления физиков, революционизировав его. Она показала, что наглядные обычные представления, которые как бы очевидны, в новых областях явлений непригодны. Поэтому хотя по своему содержанию специальная теория относительности и принадлежала к классической физике, завершая ее, однако по духу это была новая великая теория, открывшая наряду с квантовой теорией новый период в развитии физики.

Оценивая значение специальной теории относительности, М. Борн писал: «Родившуюся в 1905 г. специальную теорию относительности по справедливости можно считать завершающим моментом классического периода или началом новой эры в науке. Ибо, с одной стороны, она исходит из твердо установленных классических понятий о материи, распределенной непрерывно

в пространстве и времени, и о каузальных, или, более точно, детерминистических, законах природы. Но, с другой стороны, она вносит революционные представления о пространстве и времени, решительно критикуя традиционные концепции, сформулированные Ньютоном. Таким образом, она открывает новые пути осмысливания естественных явлений. Это в наши дни и представляется наиболее выдающимся подвигом Эйнштейна, отличающим в корне его работу от работ его предшественников, а современную науку — от классической» [9, с. 12].

Подобное высказывание мы находим и у Я. И. Френкеля: «... теория относительности завершила тот долгий путь, по которому шла классическая физика XIX в., закончив эмансипацию последней от мирового эфира и подведя простую рациональную базу под электромагнитную и электронную теории, создание которых является одним из главнейших достижений физики XIX в. Таким образом, теория относительности стоит как бы на рубеже старой и новой физики, венчая первую и указывая путь второй» [46, с. 147].

Однако ревизия понятий пространства и времени не закончилась с открытием специальной теории относительности. Еще в ньютоновской теории гравитации считалось, что тяготение одинаково действует на различные тела, сообщая им одинаковые ускорения независимо от их массы и природы. Отсюда следовал факт равенства гравитационной и инертной масс, установленный еще Г. Галилеем и подтвержденный в 1889 экспериментально с точностью до 10^{-9} Р. Этгешом ($m_{\text{ин}} = m_{\text{гр}}$). Иными словами, различные тела движутся в заданном гравитационном поле совершенно одинаково, при условии, что их начальные скорости равны.

Из этого факта, как показал в 1907 А. Эйнштейн, следует глубокая аналогия между движением тел в гравитационном поле и их движением в отсутствие тяготения, но в относительно ускоренной системе отсчета, т. е. силы инерции в ускоренной системе отсчета эквивалентны гравитационному полю (эквивалентности гравитации и инерции). Установленный принцип эквивалентности Эйнштейн положил в основу новой, релятивистской теории тяготения, разработку которой он завершил в 1915 и назвал общей теорией относительности. Она установила связь между пространством — временем и материей, заключающуюся в том, что материя определяет геометрию пространства — времени. «Специальная теория относительности, лишив время и пространство свойства абсолютности, сохранила за пространством свойство евклидовости. Общая теория относительности, — отмечает А. И. Ахиезер, — лишила пространство этого свойства. Оно стало благодаря присутствию материи неевклидовым и его метрика стала зависеть от материи и состояния ее движения. Геометрия как бы слилась с физикой в единое целое» [6, с. 25—26].

В общей теории относительности пространство — время не плоское, а искривленное, поэтому к нему применим математический аппарат неевклидовой геометрии. Используя тензорное исчисление и введя метрический тензор g_{ik} , Эйнштейн определил геометрию пространства — времени (что эквивалентно нахождению гравитационного поля), записав уравнения тяготения:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik} \quad (\text{уравнения Эйнштейна}).$$

Здесь R_{ik} — тензор Риччи; $R = R_{ik}g_{ik}$; T_{ik} — тензор энергии — импульса материи. Уравнения Эйнштейна связывают g_{ik} с величинами, характеризующими материю, создающую поле тяготения.

Общая теория относительности обусловила развитие космологии. В 1922 А. А. Фридман получил нестационарные решения гравитационного уравнения Эйнштейна, исходя из которых допустил возможность существования нестационарной, расширяющейся Вселенной, что было подтверждено в 1929 открытием явления разбегания галактик (Э. Хаббл).

Оценивая значение теории относительности, В. Вайскопф пишет: «Среди колоссального количества идей, выдвинутых в то время (начало XX в. — Ю. Х.), особое место, отличное от других, принадлежит теории относительности, специальной и общей. Она была рождена в XX веке как дитя интеллекта одной возвышающейся над всеми личности. Это — совершенно новый набор концепций, в рамках которых находят объединение механика, электродинамика и гравитация. Они принесли с собой новое восприятие таких понятий, как пространство и время. Эта совокупность идей в каком-то смысле является вершиной и синтезом физики XIX в. Они органически связаны с классическими традициями» [12].

Результаты, полученные теорией относительности (специальной и общей), имеют не только общенаучное, но и общеполитическое значение. Они обогащают наше философское представление о мире, наносят удар по метафизическим взглядам и вместе с тем свидетельствуют в пользу диалектического материализма [49]. На базе идей, результатов и выводов теории относительности возникла релятивистская картина мира, заменившая механическую и электродинамическую картины.

Наряду с идеями релятивизма переход к новой физике знаменовала еще в большей мере идея квантов, возникновение которой также было связано с трудностями классической теории. Попытка построить теорию излучения абсолютно черного тела с позиций этой теории оказалась совершенно бесплодной.

Еще Г. Кирхгоф в 1859 установил один из основных законов теплового излучения, согласно которому отношение испускательной способности тел $\epsilon(\lambda, T)$ к их поглотительной способности $A(\lambda, T)$ не зависит от природы излучающего тела и для всех тел одно и то же, равное испускательной способности абсолютно черного тела $\epsilon_0(\lambda, T)$:

$$\frac{\epsilon(\lambda, T)}{A(\lambda, T)} = \epsilon_0(\lambda, T) \text{ (закон излучения Кирхгофа).}$$

Кирхгоф не определил вида функции $\epsilon_0(\lambda, T)$, поэтому в дальнейшем усилия физиков были направлены на то, чтобы, исходя из законов термодинамики и статистической физики, определить вид функции Кирхгофа. Были получены теоретические формулы, дающие определенные сведения относительно распределения энергии в спектре абсолютно черного тела (закон Стефана — Больцмана, 1879—1884; закон излучения Вина, 1896). К тому же в 1899—1900 экспериментально было показано, что закон излучения Вина $\epsilon_0(\lambda, T) = c\lambda^{-5}e^{-b/\lambda T}$ справедлив лишь в области коротких волн.

В 1900 Дж. Рэлей предложил другую формулу: $\epsilon_0(\lambda, T) = c_1\lambda^{-4}T$, обоснованную более строго в 1905 Дж. Джинсом (за-

кон Рэлея — Дживса). Эта формула не противоречила эксперименту лишь в случае длинных волн. Однако из нее следовало, что в спектре теплового излучения большая часть энергии должна приходиться на короткие волны, т. е. вся энергия тела рано или поздно должна перейти в излучение. Этот парадоксальный вывод получил название «ультрафиолетовой катастрофы». Таким образом, в начале 1900 имелись две формулы для $\epsilon_0(\lambda, T)$ — Вина и Рэлея, справедливые лишь в разных участках теплового спектра. Все попытки получить формулу для функции распределения, которая согласовывалась бы с экспериментом во всей области спектра, оказались тщетными.

Выход из положения нашел М. Планк. Он ввел в конце 1900 в теорию новую идею, совершенно чуждую классическим представлениям, — идею квантования энергии, согласно которой вещество (материальные осцилляторы) излучают энергию конечными порциями — квантами, пропорциональными частоте: $\epsilon = h\nu$, где ϵ — энергия кванта излучения частоты ν ; $h = 6,55 \times 10^{-27}$ эрг · с — фундаментальная постоянная, имеющая размерность действия (постоянная Планка). Исходя из гипотезы квантов, Планк построил теорию теплового излучения и вывел закон распределения спектральной плотности энергии абсолютно черного тела:

$$\epsilon_0(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (\text{закон Планка}).$$

В этом же году закон Планка получил экспериментальное подтверждение (Г. Рубенс, Ф. Курлбаум). Из закона излучения Планка можно легко получить все предыдущие законы равновесного излучения, о которых речь шла выше. Они представляют его предельные случаи.

Отдавая дань уважения глубоко плодотворной идее Планка, Эйнштейн писал: «... он убедительно показал, что кроме атомистической структуры материи, существует своего рода атомистическая структура энергии, управляемая универсальной постоянной h ... Это открытие стало основой всех исследований в физике XX в. и с тех пор почти полностью обусловило ее развитие. Больше того, оно разрушило остоу классической механики и электродинамики и поставило перед наукой задачу: найти новую познавательную основу для всей физики» [51, с. 257].

Гипотеза квантов энергии положила начало квантовой теории. От идеи Планка берут начало две взаимосвязанные линии развития этой теории, которые завершились в середине 20-х годов созданием новой механики — квантовой [48]. Позже В. Вайскопф напишет: «Квантовая теория в свою очередь характерна именно разрывом с классикой. Это был шаг в неизведанное, в мир явлений, которые не вмещались в рамки идей физики XIX века. Надо было создать новые пути постановки задач, новые способы мышления для того, чтобы понять мир атомов и молекул...» [12].

Однако вначале большинству ученых, да и самому Планку, гипотеза квантов представлялась лишь удачным приемом, позволившим построить теорию интересного, но отдельного процесса. Она не воспринималась как гениальная идея, которая должна привести к изменению основных концепций классической физики. Первый, кто оценил и понял основополагающее значение идей квантов и вдохнул «жизнь» в новую концепцию, был Эйн-

штейн. Он рассмотрел некоторые известные тогда трудности классической физики в свете новых квантовых представлений. В статье «Об одной эвристической точке зрения, относящейся к возникновению и превращению света» (1905), он распространил идею квантов на сам процесс излучения, введя понятие о дискретной, квантовой структуре самого светового излучения, рассматривая последнее как поток квантов света, или фотонов (фотонная теория света).

Исходя из квантовой теории света, Эйнштейн объяснил фотоэффект, правило Стокса для флюоресценции, фотоионизацию и др., чего не смогла сделать электромагнитная теория. В этот год квантовая теория родилась вторично, продемонстрировав еще ярче отход от классических представлений. Итак, есть все основания считать 1905, когда возникла специальная теория относительности, внесшая глубокие изменения в наше представление о пространстве и времени, и стала «работать» квантовая физика, началом новой эпохи в физике, которая привела к созданию новой картины мира. Новый период в развитии физики проходит под знаком идей релятивизма и квантов и характеризуется проникновением научной мысли в глубину материи, к ее микроструктуре.

В 1911 Э. Резерфорд, исходя из опытов по рассеянию быстрых альфа-частиц на атомах вещества, открыл атомное ядро и создал ядерно-планетарную модель атома: внутри атома находится массивное положительно заряженное ядро, вокруг него по орбитам по законам классической механики вращаются электроны, суммарный отрицательный заряд которых компенсируется зарядом ядра, что делает атом электронейтральным. Однако такая модель противоречила выводам классической электродинамики, согласно которым движущиеся ускоренно по орбитам в атоме электроны должны излучать энергию и со временем «упасть» на ядро, иными словами, атомная система не может быть устойчивой. Этот парадоксальный вывод означал, что законы классической физики неприменимы к движению электронов в атомах, так как последние существуют и являются довольно устойчивыми системами.

Для объяснения устойчивости атомов Н. Бор ввел в 1913 в планетарную модель атома Резерфорда квантовые идеи. Он сформулировал два квантовых постулата, которые характеризуют особенности движения электронов в атоме, и разработал теорию водородоподобного атома (теория атома Бора). Согласно этой теории среди множества движений электронов, допускаемых классической механикой, только некоторые, так называемые квантованные движения, оказываются устойчивыми и обычно реализуются в природе. Иначе говоря, для электрона в атоме существуют определенные разрешенные (стационарные) орбиты, двигаясь по которым, он, вопреки законам классической электродинамики, не излучает энергию. Однако электрон может скачком перейти на ближайшую к ядру разрешенную орбиту, испустив при этом квант энергии, равный разности энергий атома в стационарных состояниях, которой пропорциональны частоты излучения:

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad ; \quad \nu = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (\text{постулаты Бора}).$$

Существование уровней энергии в атоме было непосредственно подтверждено в 1912—1914 опытами Франка — Герца.

Построенная на этих постулатах теория атома Бора объяснила саму структуру атома и ее устойчивость, а также закономерности в атомных спектрах. Однако модель Бора была внутренне противоречива, так как искусственно объединяла классические понятия и законы (например, понятие орбиты) с чуждыми им квантовыми условиями, которые к тому же противоречили классической электродинамике. Кроме того, она была недостаточно универсальной теорией, так как не смогла объяснить всего разнообразия атомного мира.

Вскоре стало ясно, что полуклассическая, полуквантовая теория Бора — лишь промежуточное звено между классическими представлениями и какими-то новыми взглядами, которые дадут возможность глубже проникать в суть квантовых процессов. Необходимо была новая теория, в которой квантовые идеи лежали бы в основе, а не представляли собой спасительную добавку к классической теории.

В 1922 А. Комптон открыл явление рассеяния коротковолнового излучения на свободном или слабосвязанном электроне (эффект Комптона), чем экспериментально доказал существование кванта света (фотона), теоретически предсказанного в 1905 Эйнштейном. Иными словами, определенно было доказано, что наряду с волновыми свойствами свет обладает и корпускулярными (состоит из частиц — фотонов). В этом проявился так называемый дуализм света, его сложная корпускулярно-волновая природа.

В 1923—1924 Л. де Бройль распространил концепцию корпускулярно-волнового дуализма на электрон и вообще на частицы, выдвинув гипотезу о волновых свойствах материи. Иначе говоря, де Бройль каждой частице сопоставил волну, длина которой связана с импульсом частицы соотношением $\lambda = h/p$. Открытие в 1927 явления дифракции электронов подтвердило гипотезу де Бройля о волнах материи. Корпускулярно-волновой дуализм потребовал пересмотра законов движения микрообъектов и способов их описания.

В 1926 Э. Шредингер построил уравнение, описывающее поведение волн, связанных с частицами, дав тем самым новый мощный метод решения квантовых задач:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = - \frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + V\psi$$

(волновое уравнение, или уравнение Шредингера).

Здесь ψ — волновая функция, характеризующая состояние системы микрочастиц, а квадрат ее амплитуды $|\psi|^2$ определяет вероятность нахождения микрочастицы в данной точке в данный момент времени (статистическая интерпретация волновой функции).

Уравнение Шредингера является математическим выражением фундаментального свойства микрочастиц — корпускулярно-волнового дуализма. Оно позволило объяснить и предсказать широкий круг атомных процессов, а также определить основные характеристики атомных объектов, наблюдаемые в эксперименте. В результате возникла волновая механика, основанная на уравнении Шредингера и генетически связанная с работами Планка (1900), Эйнштейна (1905), Бора (1913) и де Бройля (1923—1924).

На другом пути для трактовки атомных процессов В. Гейзенберг в 1925 построил такую формальную схему, где вместо фи-

зических величин, с которыми имели дело в атомной физике (координат и скоростей электрона), фигурировали абстрактные величины (матрицы). Связь этих матриц с наблюдаемыми величинами устанавливалась определенными правилами. Она получила название матричной механики.

В 1926 был разработан математический формализм матричной механики (В. Гейзенберг, М. Борн, П. Иордан, П. Дирак) и доказана математическая эквивалентность матричной и волновой механики (Э. Шредингер).

В эти же годы был сформулирован один из важнейших принципов современной теоретической физики — принцип Паули (1924—1925), выдвинута идея спина (С. Гаудсмит, Дж. Уленбек, 1925), построено (1926) волновое уравнение для частиц со спином 0 (уравнение Клейна — Фока — Гордона), разработан метод нахождения приближенных собственных значений и собственных функций одномерного уравнения Шредингера, устанавливающий связь со старыми правилами квантования Бора — Зоммерфельда (Л. Бриллюэн, Г. Вентцель, Х. Крамерс, 1926) (метод БВК), а также теория возмущений (Э. Шредингер, 1926) и теория преобразований (П. Дирак, П. Иордан, 1926), представляющие собой эффективные методы квантовой механики.

В 1927 В. Гейзенберг сформулировал важный принцип современной физики — принцип неопределенности, объяснивший физический смысл уравнений квантовой механики, ее связь с классической механикой и ограниченность применения к микро-

объектам классических понятий и представлений: $\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}$, где Δp — неопределенность (неточность) в определении импульса частицы; Δx — неопределенность в ее координате. В соответствии с принципом Гейзенберга невозможно одновременно точно узнать координату и импульс частицы, т. е. нельзя измерить координату, не исказив значения импульса. Более того, вообще неправомерно говорить об одновременных значениях ее координаты и импульса в связи с ее двойственной корпускулярно-волновой природой.

Важный также для понимания квантовой механики принцип сформулировал в 1927 Н. Бор — принцип дополнительности, отражающий невозможность точно описывать микрообъекты, используя понятия классической механики.

Таким образом, в течение 1923—1927 Н. Бором, Л. де Бройлем, В. Гейзенбергом, М. Борном, Э. Шредингером и П. Дираком была разработана законченная, логически непротиворечивая система идей, методов и принципов релятивистской квантовой механики — четвертая великая физическая теория.

В 1928 П. Дирак вывел уравнение, описывающее движение релятивистского электрона, из которого естественно следовало наличие у электрона спина (уравнение Дирака). Это уравнение легло в основу релятивистской квантовой механики. Исходя из него, Дирак предсказал в 1931 позитрон — первую античастицу.

Невозможность одновременного определения точного положения микроскопической системы и ее динамического состояния вытекает из существования кванта действия и обусловливается проявлением корпускулярно-волнового дуализма. Квантовая механика определяет только вероятностные законы, дающие возможность по результатам измерений указать вероятность того, что при последующем измерении будет получен тот или другой результат.



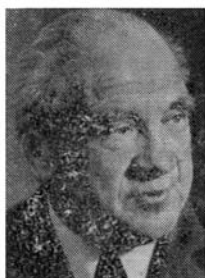
Н. Бор



М. Борн



Л. де Бройль



В. Гейзенберг



П. Дирак



Э. Шредингер

Создатели квантовой механики

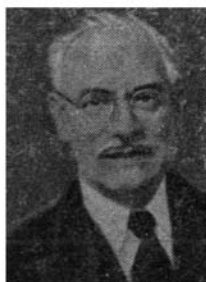
Эта замена точных законов вероятностными при описании микропроцессов связана с тем, что к ним невозможно применять старые пространственно-временные представления.

Здесь уместно привести слова И. Е. Тамма из его статьи «Эволюция квантовой теории»: «До квантовой теории в основе физики лежала убежденность в строгом детерминизме физических явлений, согласно которому состоянием физической системы в данный момент времени точно и однозначно определяется вся ее дальнейшая эволюция, ход всех происходящих в ней процессов. Квантовая же теория показала, что в субмикроскопическом мире элементарных частиц ряд закономерностей носит лишь вероятностный, статистический характер, что состояние системы определяет лишь относительную вероятность того, какие именно процессы произойдут в дальнейшем.

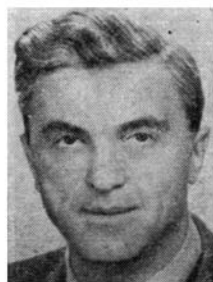
В этом нет противоречия с тем, что законы природы в доступных нашему непосредственному восприятию макроскопических явлениях детерминистичны — в таких явлениях участвуют мириады элементарных частиц, и из вероятностных закономерностей для отдельных частиц непосредственно вытекает с громадной точностью классический детерминизм макроявлений... Причина этого коренится в том, что физические понятия, выработанные путем анализа явлений окружающего нас макромира, далеко не полностью применимы для описания явлений в микромире. ...Квантовая теория радикально изменила принципиальные основы физической теории» [43, с. 478—479].



В. Паули



П. Дебай



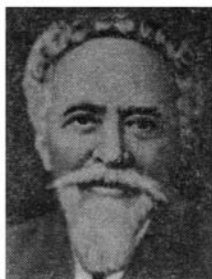
Ф. Блох

В квантовой механике по-новому решена сама задача описания процессов. В ней учитывается материальный характер акта наблюдения, так как в микромире невозможно отделить влияние способов наблюдения от самого процесса (в отличие от классического описания «самого по себе»). Законы квантовой механики не имеют той наглядности, которая свойственна законам классической механики. Все это вместе взятое и приводит к значительным гносеологическим трудностям и постановке ряда философских проблем, связанных с квантовой механикой [8,45]. Поэтому вскоре после разработки квантовой механики многие, даже видные физики-теоретики (А. Эйнштейн, М. Планк, М. Лауэ, Э. Шредингер), воспитанные в традициях классической науки, основанной на полной детерминированности, не могли мыслить иными категориями и с большой неохотой восприняли ее в том виде, в каком она была создана. «Я не могу себе представить, что электрон прыгает, как блоха», — говорил Шредингер. «Если мы собираемся сохранить эти проклятые квантовые скачки, то я вообще сожалею, что имел дело с атомной теорией», — восклицал он в отчаянии.

А. Эйнштейн пытался построить «мысленные эксперименты», чтобы продемонстрировать противоречия в статистической трактовке теории. В течение ряда лет он выступал с различного рода «парадоксами», которые, по его мнению, доказывали несостоятельность квантовой механики. Возникла длительная и плодотворная дискуссия между Эйнштейном и Бором по вопросу о принципах квантовой механики. Результаты этой дискуссии существенно помогли, по словам Бора, уяснению основ теории.

Причины трудной понимаемости и непривычной противоречивости новой физики хорошо осветил С. И. Вавилов. «Наши знания, — писал он, — это отражения свойств и явлений окружающего внешнего объективного мира, отражения, несовершенные и верные только для определенных масштабов, для человека наиболее существенных. Эти знания в части, касающейся физики, имеют, естественно, как уже много раз отмечалось, механический характер. При переходе к совсем необычным областям микро- и макромира наш механический познавательный аппарат оказывается постепенно все более и более непригодным и неприспособленным к объективному миру.

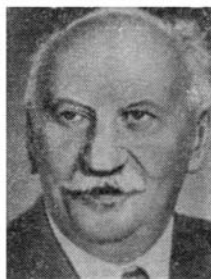
Подобно тому как объектив микроскопа перестает давать правильные изображения при переходе к предметам, меньшим дли-



Ж. Перрен



Г. Камерлинг-Оннес



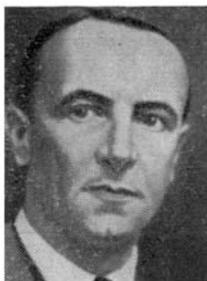
А. Ф. Иоффе

ны световой волны, и в конце концов вообще изображать что-либо, так и познавательный человеческий аппарат, выросший в определенной обстановке и для определенных задач, оказывается неподходящим для совсем других условий» [11, с. 34].

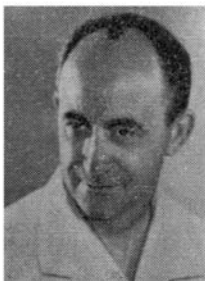
Сразу же после своего возникновения квантовая механика была применена к широкому кругу атомных явлений. Разработаны квантовые теории диамагнетизма (Дж. Ван Флек, 1926; Л. Полинг, 1927), парамагнитной восприимчивости атомов и молекул (Дж. Ван Флек, 1927), металлов (А. Зоммерфельд, 1928), ферромагнетизма (Я. И. Френкель, В. Гейзенберг, 1928), эффекта Комптона (О. Клейн, И. Нишина, 1929), полупроводников (А. Вильсон, 1931), теплопроводности (Р. Пайерлс, 1931). В 1927 Дираком была создана квантовая теория излучения и предсказана тождественность квантов вынужденного и первичного излучений, лежащая в основе квантовой электроники. В 1928—1930 Ф. Блохом и Л. Бриллюэном разработаны основы зонной теории твердых тел. В 1927 Ф. Лондоном и В. Гайтлером выполнен первый расчет молекулы водорода, положивший начало квантовой химии. В 1928 Л. И. Мандельштамом и М. А. Леонтовичем построена теория прохождения микрочастицы через потенциальный барьер, а Дж. Гамовым, Э. Кондоном и Р. Гёрни — теория альфа-распада как туннельного процесса. Предсказаны рождение и аннигиляция пар (П. Дирак, 1931), выдвинута гипотеза нейтрино (В. Паули, 1931). Положено начало теории твердого тела (П. Дебай, Э. Грюнейзен и др.) [24].

Были разработаны квантовые статистики частиц с целым спином (статистика Бозе — Эйнштейна) (1924) и частиц с полуцелым спином (статистика Ферми — Дирака) (1926), играющие важную роль, особенно в теории твердого тела. Квантовая механика дала мощный импульс развитию других наук и научных направлений — химии, биологии, физики твердого тела и др.

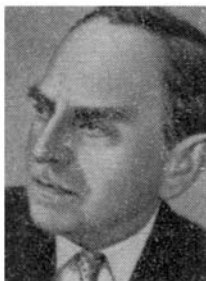
Явившись основой для описания явлений в микромире, квантовая механика тем не менее не могла быть применена для описания процессов, происходящих с самими заряженными частицами, процессов их рождения и превращения. Потребовалось ее обобщение, т. е. распространение квантовых принципов на системы с бесконечным числом степеней свободы — поля физические. Это стало возможным благодаря разработанной в 1927 П. Дираком квантовой теории излучения, положившей начало квантовой электродинамике. В 1928—1932 П. Дираком, В. Гей-



Дж. Чэдваик



Э. Ферми



О. Ган

зенбергом, В. Паули, Э. Ферми и В. А. Фоком были заложены основы квантовой электродинамики и квантовой теории поля.

В первое 30-летие XX в. были получены выдающиеся результаты и в области эксперимента: опытами Ж. Перрена броуновского движения (1908—1913) окончательно доказана реальность существования молекул, получен жидкий гелий (Г. Камерлинг-Оннес, 1908), обнаружены сверхпроводимость (Г. Камерлинг-Оннес, 1911), космические лучи (В. Гесс, 1912), дифракция рентгеновских лучей (М. Лауэ, В. Фридрих, П. Книппинг), изотопы (Дж. Дж. Томсон), доказана дискретность электрического заряда и впервые с достаточно высокой точностью измерен заряд электрона (Р. Милликен, 1910—1914), открыт гелий II (В. Кеэзом, М. Вольфке), возникли мощные методы исследования вещества — рентгеновская спектроскопия и рентгеноструктурный анализ, осуществлена искусственная ядерная реакция и обнаружен протон (Э. Резерфорд, 1919), открыты дифракция электронов (К. Дэвиссон, Л. Джермер, Дж. П. Томсон), комбинационное рассеяние света (Л. И. Мандельштам, Г. С. Ландсберг, Ч. Раман, К. Кришнан, 1928) и др. Распирилась и сама экспериментальная база физики: изобретен ряд вакуумных насосов (например, молекулярный и диффузионные насосы Геде), камера Вильсона (1912), счетчик Гейгера — Мюллера, масс-спектрометр (А. Демпстер, 1918), масс-спектрограф высокой разрешающей способности (Ф. Астон, 1919), построены первые ускорители — генератор Ван де Граафа (1931) и циклотрон Лоуренса (1931), изобретен электронный микроскоп (1931) и др.

Второй этап. Период с 1905 до 1932, когда физика вплотную приблизилась к исследованию еще меньших объектов, чем атом, начав штурм его ядра, целесообразно назвать квантово-релятивистским. С созданием квантовой механики на ее основе возникла квантовая картина мира. Квантовая механика, по словам Дирака, «привела к такому значительному перевороту в наших представлениях о физической картине мира, которого, вероятно, еще не знала история физики» [17, с. 129].

Анализ исторического развития физики обнаруживает одну характерную закономерность процесса физического познания — тенденцию исследовать явления во все меньших пространственно-временных масштабах при всевозрастающих энергетических параметрах. По этому поводу М. А. Марков писал: «Очень поучительно рассматривать исторический процесс развития физики,



В. А. Фок



С. И. Вавилов



В. И. Векслер

парисованный очень крупными мазками, — картину исторического процесса, так сказать, «с высоты птичьего полета». При таком рассмотрении отчетливо выступает любопытная черта этого процесса, именно своеобразная иерархия закономерностей, господствующих в мире физических явлений при продвижении физических исследований ко все меньшим и меньшим пространственно-временным областям, в которых разыгрываются исследуемые процессы. В этом историческом процессе перед физиками каждый раз раскрывались новые миры физических явлений со своими специфическими закономерностями, когда физики переходили к изучению явлений в областях, по своим размерам на 2—3 порядка меньших» [32, с. 726—727].

Так, в областях с размерами 10^{-5} — 10^{-7} см был обнаружен мир молекулярных явлений, 10^{-8} — атомных, в интервале порядка 10^{-13} см перед физиками открылся ядерный мир с широким спектром новых ядерных процессов. Проникновение в глубины материи, исследование физических явлений во все меньших пространственно-временных масштабах всегда было и остается генеральной линией физики, с которой тесно связан не только научный аспект проблемы, но и социально-экономический, политический, мировоззренческий.

Расширение в начале 30-х годов экспериментальной базы физики, в частности создание первых ускорителей заряженных частиц (генератор Ван де Граафа, циклотрон, ускоритель Кокрофта — Уолтона), совершенствование техники эксперимента привели к обнаружению позитрона (К. Андерсон, 1932), нейтрона (Дж. Чадвик, 1932), осуществлению первой ядерной реакции искусственно ускоренными протонами (Дж. Кокрофт, Э. Уолтон, 1932) и первых ядерных превращений под действием нейтронов (Н. Фезер, Л. Мейтнер, У. Харкинс, 1932), установлению протонно-нейтронной структуры ядра (Д. Д. Иваненко, В. Гейзенберг, 1932) и др.

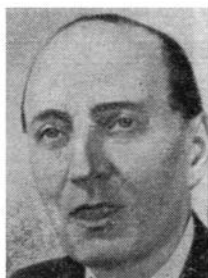
Открытие нейтрона как элементарной частицы и составляющей компоненты ядер указало на существование нового типа сил в природе неэлектромагнитного происхождения, удерживающих протоны и нейтроны тесно связанными в ядре. Это было проявление эффекта сильных взаимодействий, не имеющих аналога в макроскопической физике. Открытие же позитрона обнаружило в явном виде фундаментальную симметрию природы, прояв-



Ф. Жолио-Кюри



И. В. Курчатов



Ю. Вигнер

ляющуюся в существовании двух типов материи — вещества и антивещества. Поэтому 1932, когда физики проникли на новый уровень материи, в область ядра, установив его сложный протонно-нейтронный состав, и был открыт новый тип взаимодействий — сильных, целесообразно считать началом нового этапа в развитии физической науки — этапа ядерной физики.

В последующие годы продолжалось бурное развитие этой области. Были открыты космические ливни (П. Глэкетт, Дж. Оккиалини, 1933), искусственная радиоактивность (Ф. и И. Жолио-Кюри, 1934), явление замедления нейтронов в веществе (Э. Ферми с сотр., 1934), чем положено начало нейтронной физики, разработана теория бета-распада (Э. Ферми, 1933—1934), в которой предсказано существование слабых взаимодействий, заложены основы теории парных ядерных сил (И. Е. Тамм, Д. Д. Иваненко, 1934), открыт эффект Вавилова — Черенкова (1934), предсказаны пи-мезоны (Х. Юкава, 1935), обнаружены мю-мезоны (К. Андерсон, С. Неддермейер, 1936—1937).

В 1938 открыто явление деления ядра урана (О. Ган, Ф. Штрассман) и измерена энергия деления (О. Фриш, Ф. Жолио-Кюри, Дж. Данинг и др.), обнаружены вторичные и запаздывающие нейтроны, обоснована возможность протекания в уране цепной ядерной реакции деления (Л. Сцилард, Э. Ферми, Ф. Жолио-Кюри, Я. Б. Зельдович, Ю. Б. Харитон и др., 1939), открыто спонтанное деление ядер урана-235 (Г. Н. Флеров, К. А. Петржак, 1940), синтезированы первый трансурановый элемент — нептуний (Э. Мак-Миллан, Ф. Абельсон, 1940) и расщепляющие изотопы — плутоний-239 и уран-233 (Г. Сиборг с сотр.). Наконец, создание первого ядерного реактора и осуществление в нем управляемой ядерной реакции деления урана (Э. Ферми и Ю. Вигнер с сотр., 1942), атомных (1945) и водородных (1953) бомб, пуск первой атомной электростанции (И. В. Курчатов, Д. И. Блохинцев, 1954) оказали огромное влияние на все сферы материальной и духовной жизни общества.

К успехам физики этого периода следует отнести также открытие пионов (С. Пауэлл с сотр., 1947), каонов и гиперонов (Дж. Роучестер, К. Батлер, 1947), ряда новых трансурановых элементов (Г. Сиборг с сотр.), создание ядерных моделей: составного ядра (Н. Бор, 1936), капельной (Я. И. Френкель, Н. Бор, 1936), оболочечной (М. Гепперт-Майер, Х. Йенсен, 1948—1950), коллективной (О. Бор, Б. Моттельсон, 1950—1952), создание



С. Томаанага



Ю. Швингер



Р. Фейнман

Соподатели современной квантовой электродинамики

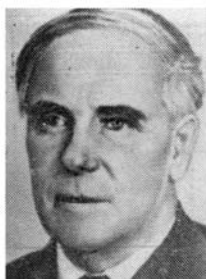
экспериментального ядерного реактора на быстрых нейтронах (В. Зинн, 1951), начало термоядерных исследований на основе идеи термоядерной высокотемпературной плазмы магнитным полем (И. Е. Тамм и др., 1950), возникновение концепции токамака (1950) и стелларатора (1951), дальнейшее развитие квантовой теории поля, в частности построение квантовой мезодинамики (Х. Юкава, 1935), введение понятия матрицы рассеяния, или S -матрицы (В. Гейзенберг, 1943), завершение создания современной квантовой электродинамики (С. Томаанага, Р. Фейнман, Ю. Швингер, Ф. Дайсон, 1946—1949).

Установлены новые законы сохранения, действующие только в микромире, — изотопического спина (1937), странности, лептонного и барионного зарядов (1949—1953), раскрыты их связи с принципами симметрии, выяснены роль и значение симметрий в современной физике, определяющих кинематику и динамику фундаментальных процессов, а также формирование структуры взаимодействия. «Если на миг отвлечься от используемых математических методов и сопоставить их со сложными и далеко идущими физическими следствиями, — отмечал Ч. Янг, — то всегда возникает чувство глубокого уважения к мощи законов симметрии». Именно симметрии, заложенные в природе, находят свое отражение в существовании законов сохранения.

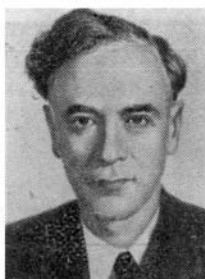
В 1954 была сформулирована первая неабелева калибровочная теория поля (теория Янга — Миллса) и разработан метод дисперсионных соотношений (М. Гелл-Манн, М. Гольдбергер, В. Тирринг). Предложены новые современные методы ускорения частиц — автофазировка (В. И. Векслер, 1944) и сильная фокусировка (Н. Кристофилос, 1950).

В области физики твердого тела открыты антиферромагнетизм (Л. В. Шубников с сотр., 1935), сверхтекучесть гелия II (П. Л. Капица, Дж. Аллен, 1938), ряд резонансов — электронный парамагнитный (Е. К. Завойский, 1944), ферромагнитный (Дж. Гриффитс, 1946), ядерный магнитный (Ф. Блох, Э. Парселл и др., 1946), антиферромагнитный (К. Гортен, 1951), циклотронный (Ч. Киттель и др., 1953), экситоны (А. Ф. Прихотько, А. С. Давыдов, 1946—1948), эффект Оверхаузера (1953), создан транзистор (Дж. Бардин, У. Браттейн, 1948), синтезирован алмаз (Б. Платен, 1953) и т. д.

Построены теории сверхтекучести гелия II (Л. Д. Ландау, 1940—1941, Н. Н. Боголюбов, 1947), фазовых превращений



П. Л. Капица



Л. Д. Ландау



Н. Н. Боголюбов

(Л. Онсагер, 1944), кинетических явлений (Н. Н. Боголюбов, 1946), ферромагнетизма (Л. Нсель, 1948), поглощения света молекулярными кристаллами (А. С. Давыдов, 1948), p - n -перехода (У. Шокли, 1949), ферромагнитного и антиферромагнитного резонанса (Ч. Киттель, 1947—1951) и др.

Многочисленные успехи физики способствовали разрыву научно-технической революции, начавшейся в начале 50-х годов. Ее естественнонаучными основами стали математика, физика (прежде всего физика атомного ядра, твердого тела, элементарных частиц), кибернетика, химия, биология. В 1944—1949 построены первые электронные вычислительные машины, в 1948 положено начало кибернетике и современной полупроводниковой технике, в 1953 — молекулярной биологии, в 1954 — ядерной энергетике (И. В. Курчатов, Д. И. Блохинцев) и квантовой электронике (Н. Г. Басов, А. М. Прохоров, Ч. Таунс) [20]. Интенсивное развитие получили радиоастрономия, космонавтика и ракетная техника, материаловедение, физика твердого тела, космическая физика. Новый уровень производительных сил, новые условия развития общества дали начало новому этапу в развитии самой физики — этапу субъядерной физики и астрофизики.

Третий этап. С начала 50-х годов благодаря появлению современных ускорителей было открыто немало новых элементарных частиц — антипротон (1955), антинейтрон и антинейтрино (1956), ряд гиперонов, явление взаимопревращения частиц, появились доказательства внутренней структуры нуклона, в частности установлено, что нуклон изменяет свое состояние при взаимодействии с частицами высоких энергий. Прямое подтверждение получила гениальная ленинская мысль, что «электрон неисчерпаемый, как и атом» [29]. Физики проникли на новый уровень материи — субъядерный, в области порядка 10^{-14} см. Все это дает основания говорить о новом этапе в развитии физики, начавшемся в 50-х годах (условно возьмем 1955, когда ученые впервые проникли в мир нуклона — опыты Хофштадтера по бомбардировке нуклонов электронами высоких энергий) и продолжающемся и сейчас.

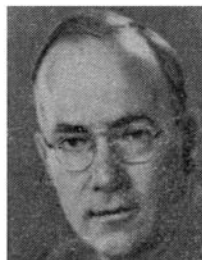
В 1960 экспериментально был открыт новый большой класс элементарных частиц — короткоживущих сильновзаимодействующих частиц с временем жизни 10^{-22} — 10^{-23} с, так называемых резонансов (Л. Альварес). С этого времени количество вновь



Н. Г. Басов



А. М. Прохоров



Ч. Таунс

Создатели квантовой электроники

открываемых частиц начало возрастать и вскоре превысило 200. Они усложнили картину, хотя и нашли определенное место в различных классификационных схемах симметрий частиц и их взаимодействий, в частности в систематике Гелл-Манна — Немана и др. Возникла принципиально новая концепция структуры материальных частиц, согласно которой частицы меньших масс строятся из частиц больших масс, например модель кварков Гелл-Манна — Цвейга (1964), партонная модель Фейнмана (1969).

В 1956 Т. Ли и Ч. Янгом было предсказано удивительное свойство слабых взаимодействий — сопутствующее им нарушение четности. Оказалось, что некоторые принципы симметрии, считавшиеся до того универсальными, не выполняются для всего класса слабых взаимодействий. Иными словами, процессы, протекающие с их участием, в левой и правой системе координат неэквивалентны, т. е. природа «способна отличать» правое от левого в слабых процессах. Вскоре экспериментально было обнаружено нарушение симметрий в слабых взаимодействиях — P -инвариантности (1957) и CP -инвариантности (1964). Открыты векторные мезоны ω , ρ и η (1961), два типа нейтрино — электронное и мюонное (1962), тяжелый омега-минус-гиперон (1964).

Наступившее затем десятилетнее относительно затишье в экспериментальной физике высоких энергий компенсировалось некоторыми успехами в теории: развивалась кварковая модель, были введены новые квантовые числа кварков, например очарование (1964), цвет (1964—1965), аромат, предсказаны глюоны — носители взаимодействия между кварками, развита концепция спонтанного нарушения симметрии и предложен (1964) механизм «появления» масс у векторных бозонов в результате этого нарушения (механизм Хиггса), созданы объединенная теория электромагнитных и слабых взаимодействий (С. Вайнберг, А. Салам, Ш. Глэшоу, 1967—1970), открыто явление асимптотической свободы (1973), положено начало квантовой хромодинамике как теории сильных взаимодействий (1973) и др. [33].

В 1974 были обнаружены принципиально новые тяжелые элементарные частицы — так называемые пси-частицы, представляющие комбинации новых типов кварков (очарованных) (С. Тинг, Б. Рихтер), в 1977 — ипсилон-частицы (Л. Ледерман), в 1975 — тяжелый лептон (М. Перл), нейтральные токи (1973), получены экспериментальные подтверждения существования кварков (1975) и глюонов (1979) [34]. Это стало возможным бла-



Т. Ли



Ч. Янг



М. Гелл-Манн

годаря созданию ускорителей на сверхвысокие энергии (400—500 ГэВ) и ускорителей на встречных e^+e^- и pp -пучках, а также соответствующей регистрирующей аппаратуры.

Благодаря успехам в теории и эксперименте физики добились заметного прогресса на пути адекватного описания частиц и их взаимодействий. Сегодня считается, что материя построена лишь из двух типов элементарных частиц — лептонов и кварков и в природе действуют четыре силы — гравитационные, электромагнитные, слабые и сильные. С помощью этого набора частиц и сил в принципе можно объяснить всю наблюдаемую иерархию материальных структур — от нуклонов и ядер до звезд и галактик.

Лептонов известно шесть: электрон, мюон, тау-мезон (или тяжелый лептон), электронное, мюонное и лептонное нейтрино. Каждому из шести лептонов соответствует своя античастица — антилептон. Кварки являются составляющими адронов — семейства тяжелых элементарных частиц, таких, как протон, нейтрон, пион и более 100 других частиц; в отличие от лептонов они не зарегистрированы в свободном состоянии. Имеются убедительные доказательства существования пяти типов кварков — u , d , s , c и b . Шестой t -кварк предсказан, но пока не обнаружен. Соответственно различают и шесть типов антикварков — $\bar{u}$, $\bar{d}$, $\bar{s}$, $\bar{c}$, $\bar{b}$, $\bar{t}$. Эти разные типы кварков обычно называют ароматами. Кварки характеризуют также цветом. Каждый аромат существует в трех цветах: красном, зеленом и синем. Электрический заряд

Кварковый состав некоторых элементарных частиц

Частица	Кварковый состав	Частица	Кварковый состав	Частица	Кварковый состав	Частица	Кварковый состав
p	uud	Σ^-	dds	π^+	$u\bar{d}$	D^+	$\bar{c}d$
n	udd	Ξ^0	uss	π^-	$\bar{u}d$	F^+	$\bar{c}s$
Λ	uds	Ξ^-	dss	K^+	$\bar{u}s$	Υ	bb
Σ^+	uus	Ω^-	sss	K^0	$\bar{d}s$	Λ_c^+	ude
Σ^0	uds			ψ	$\bar{c}c$		



С. Вайнберг



А. Салам



Ш. Глэшоу

Создатели теории слабого и электромагнитного взаимодействий

кварков дробный: кварки d , s и b имеют заряд, равный $-\frac{1}{3}e$, а кварки u , c и t — равный $+\frac{2}{3}e$. Кварки комбинируются в адроны двумя путями: объединением трех кварков каждого цвета или цветного кварка с антикварком с соответствующим антицветом.

Обычно лептоны и кварки разбивают на три поколения. Каждое поколение состоит из заряженного лептона, соответствующего ему нейтрино и двух кварков, один из которых имеет электрический заряд $-\frac{1}{3}e$, а второй $+\frac{2}{3}e$. Первое поколение включает электрон, электронное нейтрино, u -кварк и d -кварк. Так как кварки существуют в трех цветах, то в первом поколении — восемь частиц. Именно из этих восьми частиц и «сконструированы» все атомы и наша обычная материя. Представители двух других поколений наблюдаются в лабораторных экспериментах с ускоренными частицами.

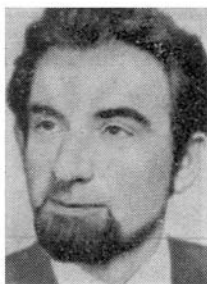
Что касается сил, действующих между частицами, то для каждого типа создана своя модель: для электромагнитных — квантовая электродинамика, слабых — теория Вайнберга — Салама и сильных — квантовая хромодинамика.

Вышеизложенное понимание природы безусловно является большим достижением. Однако физики не удовлетворены, они стремятся построить единую теорию всех сил, в том числе и гравитационных. Они считают, что существование двух принципиально различных типов элементарных частиц (лептонов и кварков) нельзя признать нормальным явлением, достаточно было бы и частиц одного типа. Неоправданно, с их точки зрения, и существование четырех сил. Все взаимодействия в принципе можно было бы объяснить и одной силой. Сегодня мы являемся свидетелями построенной пока модели слабого, электромагнитного и сильного взаимодействий [16].

Среди других областей физики в этот период значительное развитие получили физика твердого тела, физика низких температур, физика лазеров, физика плазмы и управляемый термоядерный синтез. Создана последовательная микроскопическая теория сверхпроводимости (Дж. Бардин, Л. Купер, Дж. Шриффер, 1957; Н. Н. Боголюбов, 1958), открыты явления туннелирования в полупроводниках (Л. Эсаки, 1957) и сверхпроводниках



Дж. Бардин



Л. Купер



Иж. Шрифбер

Создатели микроскопической теории сверхпроводимости

(И. Живер, 1960), на основе которых построены соответственно туннельный диод и сверхпроводящий диод, эффект Мессбауэра (1958), созданы первые МГД-генератор (1959) и лазеры (1960—1961), основаны нелинейная оптика (1961), оптическая голография (1962—1964), лазерная спектроскопия, предсказаны и обнаружены эффекты Джозефсона (1962—1964), эффект Ганна (1963), эффект спиновой памяти (1966), сверхтекучесть гелия III (1972), построена современная электронная теория металлов (И. М. Лифшиц, 1954—1965) и теория квантовых кристаллов, создан ряд сверхпроводящих устройств и приборов и т. д. Современная теория твердого тела может дать детальное описание поведения металлов, полупроводников и кристаллов всех типов.

Обнадеживающие результаты получены в решении проблемы управляемого термоядерного синтеза, в частности сформулирован (1957) критерий для получения критической точки в балансе энергии термоядерного реактора (критерий Лоусона), разработаны методы создания и удержания высокотемпературной плазмы, развит метод лазерного термоядерного синтеза, построен ряд термоядерных установок.

В 1968 Л. А. Арцимовичем на установке «Токамак-4» была осуществлена физическая термоядерная реакция (получены первые термоядерные нейтроны). Исследования, проведенные им и Б. Б. Кадомцевым по магнитному удержанию плазмы (1968), впервые позволили сделать вывод о том, что на основе «токамака» можно создать реактор термоядерного синтеза. Идея «токамака», выдвинутая и развитая советскими учеными, получила широкое признание во всем мире. Удачное сочетание успехов теории, объясняющей происходящие в токамаке физические процессы, и экспериментов, давших возможность разработать хорошие термоядерные установки и получить чистую плазму, с инженерными достижениями, обеспечившими создание всех систем для этих установок, привело к тому, что направление «токамак» заняло с начала 70-х годов лидирующее положение в проблеме управляемого термоядерного синтеза (УТС). На основе «токамака» с участием СССР, США, Японии и Евroatома разработан (1981) международный проект крупнейшего опытного термоядерного реактора ИНТОР. Однако и в настоящее время (1983) проблема УТС еще далека от своего практического завершения — создания энергетического термоядерного реактора как практически неисчерпаемого источника энергии.



И. Е. Тамм



Л. А. Арцимович



А. П. Александров

Здесь следует отметить, что истоки этого перспективного направления как неограниченной энергетической базы ведут к Н. В. Курчатову, много сделавшему для развертывания термоядерных исследований в СССР. Предвидя необычайную трудность решения проблемы УТС и необходимость объединения для этого огромных коллективных усилий ученых многих стран мира, Курчатов в 1956 в Харуэлле (Англия) сделал доклад о советских работах в области «термояда», чем положил начало активному международному сотрудничеству ученых в области мирного атома и снял покров секретности с термоядерных исследований. Глубоко понимая последствия неуправляемого освобождения огромного количества атомной и термоядерной энергии в виде взрывов атомных и водородных бомб, он активно выступал наряду с другими видными прогрессивными физиками, такими как Ф. Жолио-Кюри, Дж. Бернал, С. Пауэлл, за полное и повсеместное запрещение ядерного оружия, за использование атомной энергии только на благо человечества.

«Атомная энергия, — пишет его соратник по решению атомной проблемы А. П. Александров, — очень своевременный дар науки человечеству, величайшее благо, позволяющее на тысячелетия снять вопрос недостатка различных видов сырья и продовольствия. Было бы безумием, величайшим преступлением против человечества обратить этот дар науки на гибель людей» [5, с. 42].

Поэтому сегодня со всей решительностью все прогрессивные ученые и люди доброй воли выступают за применение энергии атома только в мирных целях, против ядерной войны, за ядерное разоружение, за мир во всем мире, за углубление разрядки международной напряженности.

Наряду с разработкой проблемы УТС в 50—70-е годы активно развивалась атомная энергетика, использующая цепные реакции деления тяжелых атомных ядер. Хороших результатов в создании атомных энергетических установок различного назначения добились советские ученые и технологи; под научным руководством А. П. Александрова были созданы мощные атомные электростанции и первое атомное надводное судно — атомный ледокол «Ленин».

Особенно бурно развивались в рассматриваемый период астрофизика и космические исследования, начало которым было положено запуском в СССР первого искусственного спутника

Земли (1957). Открыто немало новых объектов во Вселенной — радиогалактики, рентгеновские источники, квазары, пульсары, нейтронные звезды, реликтовое излучение, космические мазеры, активность ядер галактик и многое другое. Сформировались новые разделы науки о космосе: ядерная астрофизика, рентгеновская, гамма- и нейтринная астрономия, радиоастрономия, космическая физика и др. Очевидно, никакие другие области знания не определяют сегодня в такой мере облик физики, как ее два полярных научных направления: физика элементарных частиц и астрофизика.

Когда же появится новая великая теория, новая физическая картина природы, адекватно отражающая окружающий нас мир? Не теряют надежду на это и сами физики. «Я чувствую глубокую уверенность в том, — пишет один из выдающихся физиков нашей эпохи П. Дирак, — что состояние, достигнутое физикой в наше время, является переходным, то есть представляет собой лишь одну из ступеней эволюции нашей картины природы, и следует ожидать, что эта эволюция не остановится... Нынешняя стадия физической теории представляется просто очередной ступенью к лучшему пониманию природы. Можно быть целиком уверенным в том, что и в физике настанут лучшие времена» [17, с. 129]. Эту фразу Дирака, написанную им в 1963, можно смело отнести к сегодняшней ситуации в физике. Ведь усилия физиков направлены на то, чтобы создать единую теорию всех сил природы, в том числе и гравитационных, и на ее основе построить полную картину мироздания. Очевидно, что новая фундаментальная теория материи откроет качественно новый период в развитии современной физики.

ХРОНОЛОГИЯ

ПРЕДЫСТОРИЯ

ФИЗИКИ.

ПЕРИОД

ВОЗНИКНОВЕНИЯ

ОТДЕЛЬНЫХ

ЭЛЕМЕНТОВ

ФИЗИЧЕСКИХ

ЗНАНИЙ

III—II тыс. до н. э. Создание в Древнем Египте и Вавилоне солнечных и водяных часов. Возникновение понятий год, месяц, день и методов измерения веса и линейных размеров тел, появление простейших весов в виде равноплечного коромысла с подвешенными чашками (рычажные весы).

Э ПО Х А

А Н Т И Ч Н О С Т И

VI в. до н. э. Возникновение представлений о шарообразности Земли (Пифагор).

● Первые наблюдения по акустике. Пифагор устанавливает связь между высотой тона и длиной струны или трубы.

● Первые сведения об электричестве и магнетизме. Открытие свойств натертого янтаря притягивать легкие предметы, а магнита — железные (Фалес Милетский).

V в. до н. э. Аристофан в сочинении «Облака» упоминает о явлении зажигания солнечными лучами, собранными специальными средами. Позже о зажигательном действии стеклянных шаров сообщает Плиний; Сенека отмечает увеличительное действие стеклянного шара, если через него смотреть на мелкие предметы.

V—IV в. до н. э. Возникновение идеи о прерывистом, атомистом строении материи и представления о существовании предела делимости вещества — атома (Демокрит. Эпикур. Лукреций).

● Создание Платоном теории зрения.

IV в. до н. э. Возникновение понятия движения как общего изменения и механического

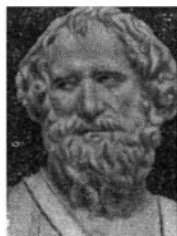
Евклид



движения как пространственного перемещения (Аристотель).

● Зарождение элементов механики. Рассмотрены прямолинейные и криволинейные механические движения. Установлены правила сложения перемещений, перпендикулярных друг к другу, правила равновесия рычага (Аристотель).

Архимед



● Возникновение правильного представления о распространении звука в воздухе (звучащее тело вызывает сжатие и разрежение воздуха). Объяснено эхо как отражение звука от

препятствий. Известно преломление света (Аристотель).

IV—III в. до н. э. Древним китайцам известна камера-обскура. Переоткрыта в XI в. арабами.

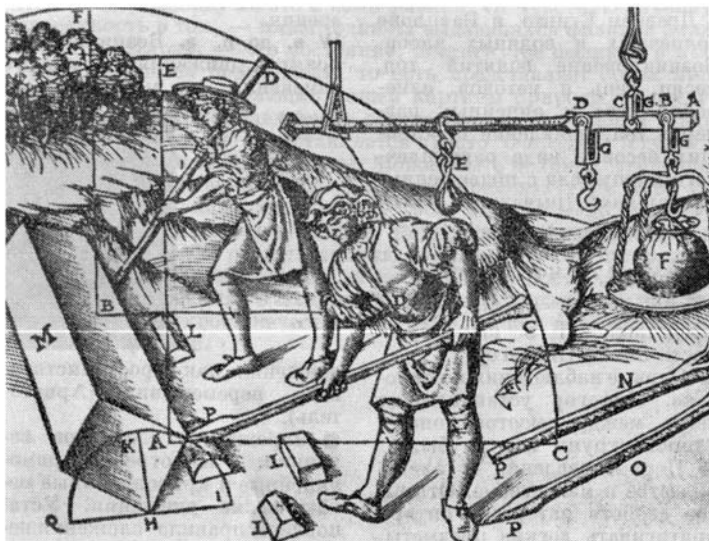
IV—II в. до н. э. Возникновение первой модели мироздания — геоцентрической системы мира (Эвдокс Книдский, Аристотель, Гиппарх).

III в. до н. э. Возникновение идеи гелиоцентрической системы мира (Аристарх Самосский).

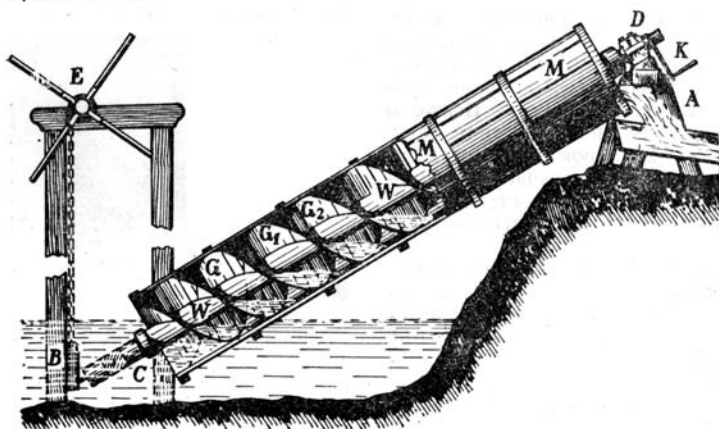
● Первые попытки определения расстояния до Луны и Солнца (Аристарх Самосский).

● Открыты закон прямолинейного распространения света и закон отражения. Получены

Иллюстрация к работам Архимеда



Архимедов винт



изображения предметов при помощи зеркал. Возникновение геометрической оптики (Евклид).

● Известны в общих чертах законы распространения и отражения звука.

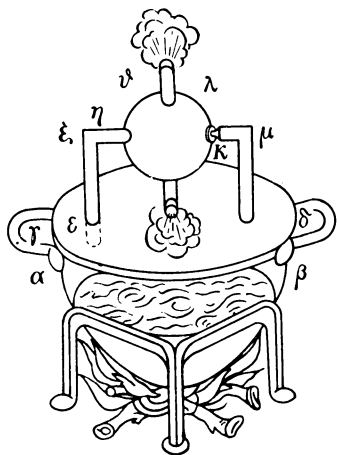
● Архимед разработал научные основы статики, ввел понятие о центре тяжести и моменте сил относительно прямой и плоскости, определил центр тяжести треугольника, дал строгую теорию рычага, сформулировал правило сложения параллельных сил, изобрел водоподъемный винт и полиспаст.

● Архимед открыл основной закон гидростатики:

$$F_v = V\rho g^* \text{ (закон Архимеда).}$$

Здесь F_v — выталкивающая (подъемная) сила; V — объем вытесненной телом жидкости; ρ — ее плотность; g — ускорение свободного падения.

Эолипил Герона



● Архимед установил условия плавания тел.

● Создание евклидовой геометрии (Евклид).

* Здесь и далее дается современная форма записи физических законов.

● Первое измерение дуги меридиана и вычисление радиуса Земли (Эратосфен).

● Объяснение приливов и отливов влиянием Луны и Солнца.

II в. до н. э. Ктесибий построил водяные часы, ставшие прототипом часов, употреблявшихся во многих странах вплоть до XVIII в.

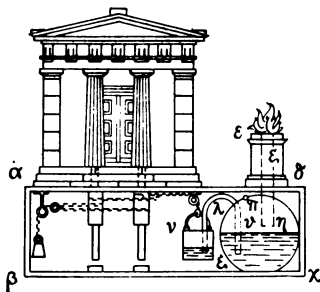
● Гиппарх открыл прецессию земной оси, определил продолжительность тропического года в 365 дней 5 ч 55 мин, расстояние до Луны, ввел географические координаты — широту и долготу.

Около н. э. Витрувий предположил, что звук распространяется в воздухе подобно волнам на воде.

II в. н. э. Герон Александрийский дал детальное описание рычага, ворота, клина, винта и блока, установил правило для рычага и блока, согласно которому выигрыш в силе, полученный при помощи этих механизмов, сопровождается потерей во времени, описал прибор, являющийся прообразом современной паровой турбины, — так называемый эолипил, сделал ряд технических изобретений.

● К. Птолемей экспериментально исследовал явление преломления света, ввел поправку на атмосферную рефракцию

Механизм Герона для открывания дверей



(учет преломления света), объяснил явление прецессии.

● К. Птолемей придал завершennую форму геоцентриче-

Птолемей



ской теории мироздания» (система мира Птолемея).

IV в. Изобретен гидрометр (Гипатия).

СРЕДНИЕ ВЕКА

Конец VI в. Первое упоминание о механических часах. Изобретение их приписывают Пачификусу из Вероны (нач. IX в.). Достоверно известно, что простейшие механические часы (башенные) построены в 1335 в Милане.

XI в. Ибн-Сина (Авиценна) исследует движение свободно брошенного тела и дает его теорию.

● Разложение скорости брошенного тела на две составляющие — параллельную и перпендикулярную (Альхазен).

● Исследования Альхазена по физиологической оптике. На смену теории зрительных лучей древнегреческих мыслителей приходит теория зрения Альхазена, согласно которой зрительные изображения тел создаются лучами, исходящими от видимых тел. Попадая в глаз, эти лучи вызывают зрительные ощущения. Исследовал явления отражения и преломления света, усовершенствовал формулировку закона отражения, впервые установив, что нормаль к поверхности зеркала, падающий и отра-

женный лучи лежат в одной плоскости. Его труд «Сокровище оптики» дошел до нас в латинском переводе, опубликованном в 1572.

● Переоткрытие арабами свойств ориентации магнитной иглы (стрелки), появление компаса (свойство магнитной иглы ориентироваться в определенном направлении было известно китайцам еще в 2700 до н. э.). В Европе компас появился в XII в.

● Ал-Бируни разработал с помощью отливного сосуда способ определения объемов тел неправильной формы, который применял для нахождения удельных весов чистых металлов, некоторых сплавов и драгоценных камней.

● Омар Хайям усовершенствовал способы взвешивания и определения удельных весов (изложены в его трактате «Весы мудростей или об абсолютных водяных весах»).

XII в. Возникают первые представления о различии между кинематическим и динамическим описанием движений.

1121. Ал-Хазини написал трактат «Книга о весах мудрости» — своеобразный курс средневековой физики. Он содержал таблицы удельных весов твердых и жидких тел (для 50 веществ), в нем указывалось также, что закон Архимеда применим и к воздуху, удельный вес воды зависит от температуры, вес тела пропорционален количеству вещества, содержащегося в нем, скорость измеряется отношением пройденного пути ко времени; описано применение ареометра; приводятся описания четырех конструкций применявшихся в то время весов, снабженные схематическими чертежами.

Около 1250. Открытие мышьяка (Альберт Великий).

1269. Появился первый рукописный трактат по магнетизму «Послание о магните» П. Пере-

грино (опубликован в 1558), где дано описание свойств магнитного камня, методов определения полярности магнита, взаимодействия полюсов, намагничивания прикосновением, явления магнитной индукции, применения магнитов и т. п. 1271. Появился рукописный трактат по оптике Э. Вителлия, получивший широкое распространение в средние века (напечатан в 1533). В нем наряду с описанием открытий, сделанных Евклидом и Альхазеном, содержится закон обратимости световых лучей при преломлении, доказывається, что параболические зеркала имеют один фокус, подробно исследуется радуга.

1299. Изобретение в Италии очков (С. Арматти). Очки быстро распространились в странах Западной Европы, а затем в Азии. В России они появились не позже XV в.

XIII в. Р. Бэкон измеряет фокусное расстояние сферического зеркала (ему известен главный фокус вогнутого зеркала) и открывает сферическую аберрацию, выдвигает идею зрительной трубы, один из первых рассматривает линзы как научные приборы, основу познания усматривает в опыте. Является предвестником экспериментального метода.

1310. Т. Теотоникус раскрывает природу радуги, не объясняя, однако, порядка цветов. Первое правильное объяснение радуги приписывают Ал-Фаризи (примерно 1280).

Начало XIV в. Введены понятия мгновенной скорости и ускорения (У. Гейтсбери). Он же впервые рассмотрел вопросы об ускорении и замедлении движения и о пути, пройденном при равномерно-ускоренном движении.

XIV в. Исследуется относительное перемещение, получает развитие теория «движущей силы» — теория «импетуса»

(Ж. Буридан, Н. Орем, А. Саксонский), используется понятие «количество материи» (Ж. Буридан).

● Складывается представление о зависимости «импетуса» от скорости перемещения и «количества материи», заключенной в движущемся теле. Ж. Буридан устанавливает также связь между «импетусом» и упругой деформацией.

● Ж. Буридан впервые ставит вопрос о несоответствии механики Аристотеля опытным фактам.

● А. Саксонский ввел деление движений на поступательное и вращательное, равномерное и переменное.

● Введены понятия равномерно-переменного движения и угловой скорости.

● Н. Орем дал графическое изображение движения, введя метод двумерных координат (это сделал также Дж. ди Казали в 1346), и установил закон равномерно-переменного движения, связывающий путь, пройденный телом, со временем. С этого времени в научных трудах появляются графики скорости движения и кинематические доказательства приобретают геометрический характер.

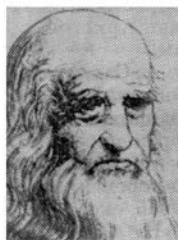
● Переведены труды Аристотеля «Физика» и «О небе».

Э П О Х А В О З Р О Ж Д Е Н И Я

XV в. Исследование свободно-го падения и движения тела, брошенного горизонтально, удара тел, расширение понятия момента сил, определение центра тяжести тетраэдра, изобретение ряда механизмов для преобразования и передачи движений — конусный шарикоподшипник, цепные и ременные передачи, двойное соединение (теперь названное «карданым») и др. (Леонардо да Винчи).

● Зарождение динамики (выяснение природы инерции, установление факта, что действие равно противодействию и противоположно ему). Изучение механизма трения и его влияния на условия равновесия, определение коэффициентов трения и установление закона трения, открытие существования сопротивления среды и подъемной силы (Леонардо да Винчи).

Леонардо
да Винчи



● Исследование отражения звука и формулирование принципа независимости распространения звуковых волн от различных источников (Леонардо да Винчи).

● Леонардо да Винчи исследует законы зрения, описывает камеру-обскуру, выполняет графическое построение хода лучей в линзах.

1440. Н. Кузанский изобретает первый гигрометр (из шерсти). В 1664 Ф. да Поппи конструирует гигрометр из пергаментной бумаги, в 1781 Ж. Делюк — из китового уса, в 1783 Х. де Соссюр — волосяной гигрометр.

1475. Леонардо да Винчи высказал идею о невозможности вечного двигателя.

XV в. Леонардо да Винчи известен закон сообщающихся сосудов для жидкостей различной плотности и закон, открытый впоследствии Б. Паскалем (закон Паскаля).

Около 1490. Леонардо да Винчи открывает явление капиллярности, наблюдая поднятие жидкостей в узких трубках

(это явление установил впоследствии Н. Аджиунти).

XV в. Н. Кузанский развивает мысли о том, что движение является основой всего сущего, неподвижного центра во Вселенной нет (идея относительно-го движения), последняя бесконечна, Земля и все небесные тела созданы из одной и той же первоматерии.

● Известен висмут.

XVI в. Появляются переводы трактатов древнегреческих ученых: Архимеда, Герона. Евклида и др.

1530. Дж. Фракасторо говорит о магнитном полюсе Земли (в 1588 Л. Савуто говорит о двух магнитных полюсах).

XVI в. Н. Тарталья в трактатах «Новая наука» (1537) и «Проблемы и различные изобретения» (1546) описывает траекторию движения снарядов, доказывает, что она криволинейна и наибольшая дальность полета достигается при наклоне ствола пушки под углом 45° к горизонту, чем положил начало баллистике; считает скорость падения тела пропорциональной высоте падения.

1538. Дж. Фракасторо применил линзы для увеличения видимых размеров предметов.

1540. Дж. Кардано пытается определить вес воздуха.

1543. Вышел в свет труд Н. Коперника «Об обращении небесных сфер», содержащий научное обоснование гелиоцентрической системы мира. По словам Ф. Энгельса, с появлением этой книги «...начинает свое летоисчисление освобождение естествознания от теологии...». В 1616 книга была запрещена инквизицией и оставалась под запретом до 1828.

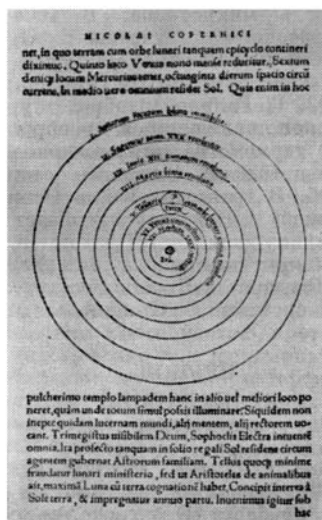
1550—1557. Вышли труды Дж. Кардано «О тонких материях» (1550) и «О разнообразии вещей» (1557), в которых изложено состояние естественных и физических наук того времени.

1558. Дж. Порта совершенст-

вует камеру-обскуру, вводя собирательную линзу.

● Вышел в свет трактат Дж. Порты «Естественная магия», содержащий ряд новых наблюдений, в частности получение прямых изображений при помощи вогнутых зеркал, применение камеры-обскуры для выполнения рисунков и их проектирования (идея проекционного фонаря), объяснение теории зрения, некоторые данные о магнетизме.

Система мира по Копернику



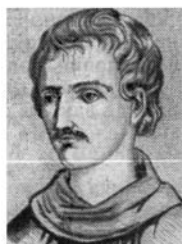
1567. Ф. Мавролик написал трактат «Провещающее о свете» (опубликован в 1611). В нем рассмотрены прямолинейное распространение света, отражение и преломление света, явление радуги, анатомия глаза, механизм зрения. Мавролик объяснил дефекты зрения (дальнозоркость и близорукость) и действие очков, показал, что выпуклые линзы являются собирательными, а вогнутые — рассеивающими, что при прохождении пластинки с плоскопараллельными гранями

световые лучи не изменяют направления распространения, а лишь смещаются параллельно самим себе; первый указал на семь цветов радуги (а не на три, как считали до него долгое время) и начал исследовать преломление света в призмах.

1575. Н. Монардес наблюдает флюоресценцию.
1577. Г. Убальди дель Монте установил закон косога рычага, открыл принцип возможных перемещений, ввел понятие «момента» в современном смысле, сформулировал условие равновесия рычага в виде равенства моментов сил.

1583. Открытие Г. Галилеем изохронности колебаний маятника.

Дж. Бруно



1584. Опубликован диалог Дж. Бруно «О бесконечности, Искленной и мирах», где высказаны идеи о бесконечности Вселенной, существовании в ней, кроме солнечной, других планетных систем, возможности открытия новых планет в нашей солнечной системе, вращении Солнца и звезд вокруг оси, мысли о единстве законов природы.

● П. Сарпи известно, что железный стержень под действием магнита намагничивается и сам становится магнитом.

1585. Опубликован трактат Дж. Бенедетти «Различные математические и физические рассуждения», в котором содержатся принцип инерции, применяемый для объяснения ускорения движения тела, догадка о центробежной силе, дока-

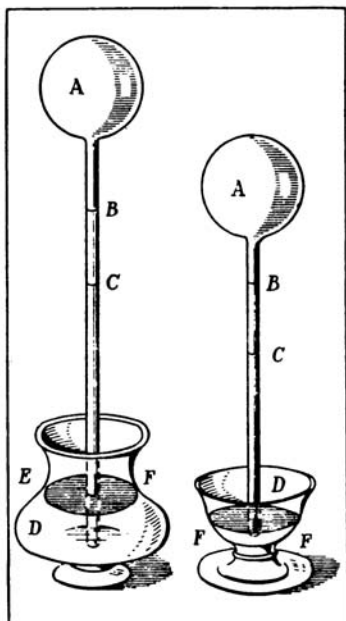
зательство гидростатического парадокса. 1586. Г. Галилей сконструировал гидростатические весы для определения удельного веса твердых тел.

С. Стевин



● Вышел в свет трактат С. Стевина «Начала статики», в котором описан принцип невозможности вечного движения, дано оригинальное доказательство условия равновесия тела на наклонной плоскости, содержатся законы сложения сил (параллелограмм сил) и разложения силы на две составляю-

Термоскоп Галилея



щие, перпендикулярные друг к другу, сформулирован для частного случая принцип возможных перемещений. В этом трактате статика древних получила свое завершение.

Конец XVI в. Изобретение зрительной трубы голландскими мастерами (ее появление связывают с именем Захария Янсена, 1590). Широкое распространение в Голландии коротких зрительных труб, состоящих из выпуклой и вогнутой линз, началось примерно с 1608.

1590. Появилась итальянская модель микроскопа. В 1604 микроскоп построил З. Янсен. В 1610—1614 микроскопы конструирует Г. Галилей. 1592. Г. Галилей изобрел термоскоп, являющийся прообразом термометра (впервые описан в 1620 Ф. Бэконом).

1596. В трактате «Тайна Вселенной» И. Кеплер усматривает причину движения Луны в земном притяжении.

● Введение в Европе десятичной системы (С. Стевин).

ПЕРИОД СТАНОВЛЕНИЯ ФИЗИКИ КАК НАУКИ

1600. Вышел в свет трактат У. Гильберта «О магните, магнитных телах и о большом магните Земле», в котором заложены основы электро- и магнитостатики. В нем Гильберт описал свои исследования (более 600 опытов) магнитных и электрических явлений и построил первую теории электричества и магнетизма. Установил, что магнит всегда имеет два полюса — северный и южный и, распиливая магнит, никогда нельзя получить магнит только с одним полюсом; что одноименные полюсы отталкиваются, а разноименные притягиваются; что железные предме-

ты под влиянием магнита приобретают магнитные свойства; обнаружил явление усиления природного магнетизма с помощью железной арматуры. Изучая с помощью магнитной стрелки магнитные свойства намагниченного шара, пришел

У. Гильберт



к выводу, что они соответствуют магнитным свойствам Земли, т. е. последняя является большим магнитом. Исходя из этого объяснил наклонение магнитной стрелки. Благодаря Гильберту учение об электричестве обогатилось рядом открытий, наблюдений, приборов. С помощью своего версора (первого электроскопа) показал, что способностью притягивать легкие тела (соломинки) обладают не только натертый янтарь, но и алмаз, сапфир, карборунд, опал, аметист, горный хрусталь, стекло, сланцы, сера, сургуч, каменная соль и др. Заметил, что пламя уничтожает электрические свойства тел, приобретенные при трении. После Гильберта электрические и магнитные явления изучались очень медленно и на протяжении более чем 100 лет было получено мало нового. 1603. Открытие фосфоресценции (В. Каскариоло). 1604. Вышел в свет трактат И. Кеплера по оптике «Дополнения к Вителлику», где помещены его теория зрения, теория камеры-обскуры, сформулирован один из основных законов фотометрии — закон обратной пропорциональности между освещенностью и квад-

ратом расстояния до источника света, введены понятия фокуса, оптической оси, дана формула линзы: $1/f = 1/a_1 + 1/a_2$, где f — фокусное расстояние линзы; a_1 и a_2 — соответственно расстояния от предмета и его изображения до линзы.

1604—1609. Г. Галилей установил законы движения тела, брошенного под углом к горизонту, и показал, что движение тел по наклонной плоскости является равноускоренным.

1604. К. Дреббель выполнил опыты по расширению тел от теплоты.

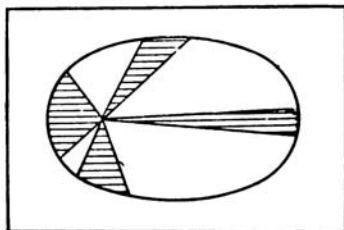
1605. Вышли в свет «Математические мемуары» С. Стевина, где проанализированы условия равновесия в системе твердых тел и жидкости, в частности рассмотрена задача о равновесии замкнутой цепочки, надетой на трехгранную призму. Решение этой задачи основывается на невозможности вечного двигателя.

1607. Г. Галилей осуществил опыт по измерению скорости света.

1609. Вышел в свет труд И. Кеплера «Новая астрономия», в котором помещены первые два закона движения планет и высказана мысль, что тяжесть — свойство, присущее всем небесным телам.

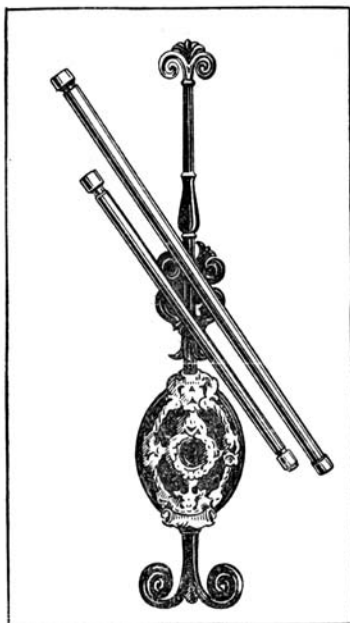
● Г. Галилей сконструировал зрительную трубу и использовал ее как телескоп для астрономических наблюдений (возникновение оптической астрономии). В 1608 такую же трубу изобрел Х. Липпергей.

Второй закон Кеплера



● Изобретен термостат.
1610. Г. Галилей строит микроскоп (в 1610—1614 и 1624 он строит другие конструкции микроскопа). Независимо микроскоп изобретали и строили (1608—1620) также Липперсгей, Я. Мециус, Ханс и Захарий Янсены и в 1621 К. Дреббель.

Телескоп Галилея

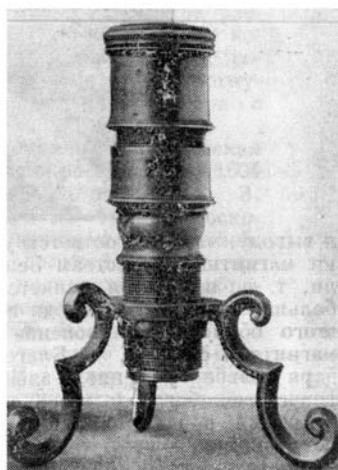


● Вышел в свет труд Г. Галилея «Звездный вестник», где описаны его астрономические открытия гор и впадин на Луне, четырех спутников Юпитера, новых звезд, которые невозможно видеть невооруженным глазом, строение Млечного Пути из бесконечного множества звезд. Вскоре Галилей открыл также фазы Венеры и пятна на Солнце.

1611. Вышел в свет труд И. Кеплера «Диоптрика», в котором рассмотрена конструкция зрительной трубы, состоящей из двух двояковыпук-

лых линз (кеплерова труба). Построена К. Шейнером около 1613—1617 (описана в 1630). В этом труде, как и в предыдущем («Дополнения к Вителлию»), изложена элементарная геометрическая оптика.

Микроскоп Галилея



1619. Вышел в свет трактат И. Кеплера «Гармония мира», содержащий третий закон движения планет:

$$T_1^2/T_2^2 = a_1^3/a_2^3,$$

где T_1 и T_2 — периоды обращения каких-либо двух планет вокруг Солнца; a_1 и a_2 — большие полуоси их эллиптических орбит.

● И. Кеплер для объяснения отклонения хвостов комет в сторону от Солнца высказал идею о давлении света.

1620. Опубликован трактат Ф. Бэкона «Новый органон», где высказана идея, что теплота есть движение (впервые подобную мысль высказал Цицерон). В дальнейшем кинетические воззрения на теплоту развивали Р. Бойль, Р. Гук, Иоганн и Даниил Бернулли и др.

Около 1621. В. Снеллиус экспериментально установил закон преломления света:

$$\sin \alpha / \sin \gamma = n,$$

где α и γ — соответственно углы падения и преломления; n — показатель преломления среды (абсолютный). Выведен теоретически Р. Декартом в 1630 (опубликован в 1637), а также П. Ферма в 1682 в форме $\sin \alpha / \sin \gamma = v_1/v_2$, где v_1 и v_2 — соответственно скорости света в первой и второй средах. Открытием этого закона было завершено построение основ геометрической оптики. Благодаря ему также было введено понятие показателя преломления среды (относительного). В результате закон преломления стал записываться так: $\sin \alpha / \sin \gamma = n_{21}$, где $n_{21} = n_2/n_1$ — относительный показатель преломления второй среды относительно первой (первая среда — вакуум).

1628. Б. Кастелли установил закон обратной пропорциональности скорости течения жидкости в трубах площади поперечного сечения: $v_1/v_2 = S_2/S_1$.

1630. Дж. Бальяни вопреки аристотелевскому утверждению «природа боится пустоты» высказал предположение о существовании пустоты и указал на возможность объяснения ряда явлений атмосферным давлением.

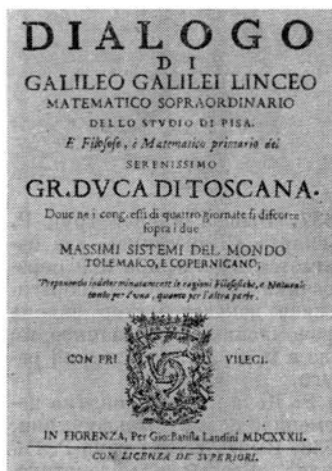
1631. Ж. Рей изобрел жидкостный термометр.

1632. Вышел в свет труд Г. Галилея «Диалог о двух основных системах мира — птолемеевой и коперниковой», где, в частности, введено понятие инерции и впервые сформулирован принцип относительности. Галилеевский принцип относительности устанавливал связь между координатами и временем двух движущихся относительно друг друга механических систем отсчета:

$$\begin{aligned} x' &= x - vt; & y' &= y; & z' &= z, \\ t' &= t \end{aligned} \quad \text{(преобразования Галилея)}.$$

Здесь x' , y' , z' — координаты; t' — время инерциальной системы отсчета, движущейся со скоростью $v \ll c$ относительно другой инерциальной системы.

Титульный лист первого издания «Диалога...» Галилея



1635. Н. Аджиунти установил на опыте, что вода при замерзании не сжимается, а расширяется. В 1667 это также показал Х. Гюйгенс. Предположение об этом высказал еще Г. Галилей.

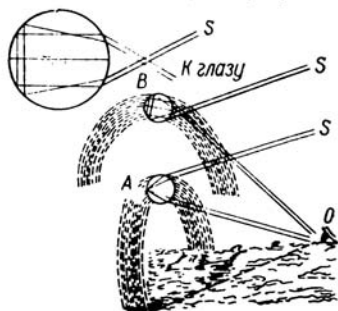
М. Мерсенн



1636. Вышел в свет трактат М. Мерсенна «Универсальная гармония», где изложены его

исследования по акустике, в частности законы колебания струн, явление резонанса, измерение скорости звука. По Мерсенну, скорость звука в воздухе составляла 414 м/с.

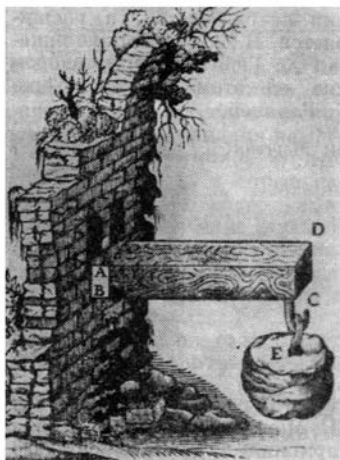
Объяснение Р. Декартом радуги



1637. Вышел в свет труд Р. Декарта «Диоптрика», где излагается идея эфира как переносчика света, дается теоретическое доказательство закона преломления, высказанное им еще в 1630, а также теория радуги.

● Р. Декарт ввел понятие переменной величины и функции. 1638. Вышел в свет труд Г. Галилея «Беседы и математиче-

Испытание балки на изгиб по Галилею



ские доказательства, касающиеся двух новых областей науки...», в котором, в частности, содержатся законы свободного падения тел (пропорциональность скорости падающего тела времени падения и пройденного пути квадрату времени), закон сложения перемещений, учение об упругости и сопротивлении материалов.

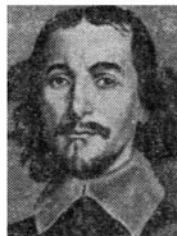
● Г. Галилей установил связь частоты звука с высотой тона.

● Дж. Бальяни впервые четко разграничивает понятие веса и массы тела и указывает на пропорциональность веса массы.

● Изобретение окулярного микрометра (У. Гаскойнь).

1639. Опубликован труд Я. Марци «О соотношении движений, или правила соударений», в котором впервые рассмотрены три вида механических ударов (жесткие, мягкие и упругие) и установлены два правила: при столкновении движущегося тела с одинаковым по весу и материалу другим телом оно останавливается, передавая ему свое движение; при столкновении двух одинаковых тел с равными, но противоположно направленными скоростями, они разлетаются после удара также с равными, противоположными скоростями.

О. Герике

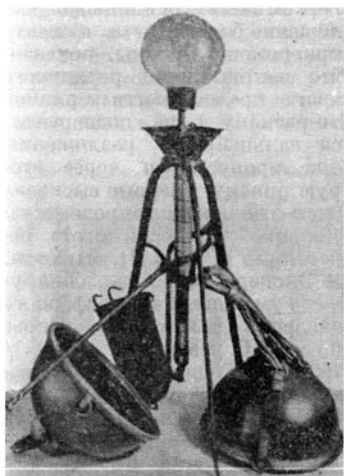


● Дж. Бальяни дал точную формулировку закона инерции (это сделал также Р. Декарт).

1641. П. Гассенди осуществил опыт, подтверждающий принцип относительности Галилея.

● Создан спиртовой термометр. В 1646 спиртовой термометр продемонстрировал Э. Торричелли.

Воздушный насос Герике



● Опубликован труд Э. Торричелли «О движении свободно падающих и брошенных тел», где описаны закон равновесия тела на наклонной плоскости и принцип о движении центров тяжести, рассмотрено движение тела под углом к горизонту и определен параболический характер его траектории, установлены другие теоремы баллистики.

Э. Торричелли

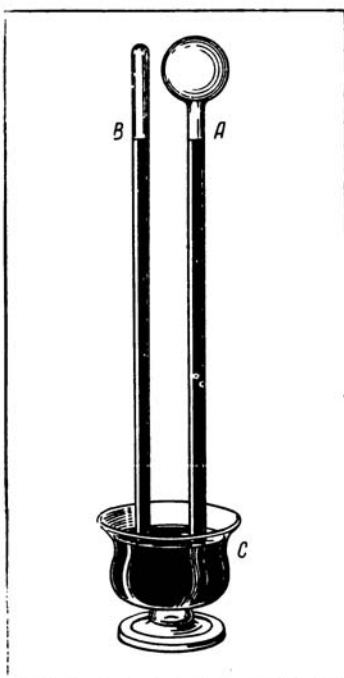


● Э. Торричелли вывел формулу для скорости v истечения жидкости из отверстия в открытом сосуде:

$$v = \sqrt{gh}$$

(формула Торричелли), где h — высота отверстия; g — ускорение свободного падения.

Схема опыта Торричелли



1643. Открытие атмосферного давления (Э. Торричелли). Первый барометрический опыт, доказывающий существование

Р. Декарт



атмосферного давления, выполнил В. Вивiani по указанию Торричелли, объяснен Торричелли в 1644.

1644. Получение вакуума («торричеллиевой пустоты») и создание барометра (Э. Торричелли). Термин «барометр» ввел в 1662—1663 Р. Бойль.

● Вышел в свет труд Р. Декарта «Начала философии», в котором четко сформулирован закон инерции, дана теория магнетизма и изложена первая космогоническая гипотеза. Здесь же помещен и его

Б. Паскаль



закон сохранения количества движения (скорость у Декарта была скалярной величиной). Впервые этот закон Декарт высказал в 1639.

Опыт Герике с магдебургскими полушариями

1646. Б. Паскаль подтвердил существование атмосферного давления, повторив опыт Торричелли, используя воду и вино.

1648. Открытие Я. Марци дисперсии света. Он наблюдал разложение белого света в спектр при помощи призмы, показал, что световые лучи различного цвета преломляются призмой по-разному и не подвергаются дальнейшему разложению при пропускании через вторую призму, впервые высказал идею о волновой природе света. Явление дисперсии света пероткрыл в 1666 И. Ньютон.

● Экспериментально обнаружено уменьшение атмосферного давления с высотой (Ф. Перье по идее Б. Паскаля).

1650. О. Герике изобрел воздушный насос.

1653. Б. Паскалем установлен закон равномерного распределения давления в жидкости (закон Паскаля). Опубликован в 1663 в трактате «О равновесии жидкостей».

1654. О. Герике выполнил демонстрационный опыт с «маг-

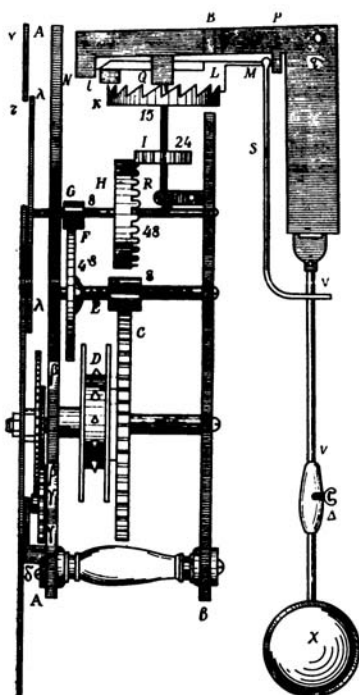


дебургскими полушариями», доказывающий существование атмосферного давления.

1655. Изобретение ртутного термометра.

1657. Х. Гюйгенс сконструировал маятниковые часы со спусковым механизмом, ставшие основой точной экспериментальной техники (проект использования маятника в часах предлагал в 1636 Г. Галилей).

Схема маятниковых часов Гюйгенса



● О. Герике построил водяной барометр.

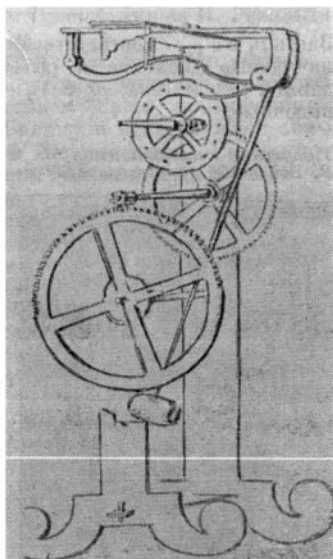
1660. О. Герике построил электрическую машину.

● Р. Бойль и Р. Гук усовершенствовали воздушный насос Герике (насос Бойля).

● Вышел в свет труд Р. Бойля «Новые физико-механические опыты, касающиеся упругости воздуха».

● Р. Гук открыл основной закон упругости твердых тел, выражающий зависимость между напряженным состоянием и

Схема маятниковых часов Галилея



деформацией упругого тела (закон Гука). Установлен экспериментально Гуком для простейшего случая растяжения

Р. Бойль



(сжатия) стержня: $\Delta l/l = \sigma/E$, где $\Delta l/l$ — относительное удлинение стержня; σ — нормальное напряжение; E — модуль упругости, являющийся константой материала. Опубликован в 1676.

1661. Р. Бойль и Р. Тоунли установили обратно пропор-

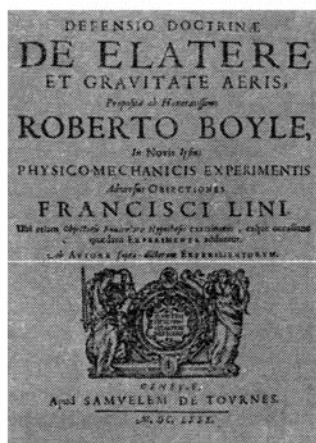
циональную зависимость между объемом газа и его давлением, к которой в 1676 пришел также Э. Мариотт:

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$$

(закон Бойля—Мариотта).

Здесь p_1 и V_1 — соответственно начальные давление и объем данной массы газа; p_2 и V_2 — конечные.

Титульный лист сочинения
Р. Бойля «Об упругости воздуха»



● Р. Бойль в труде «Химик-скептик» сформулировал понятие химического элемента как простейшей составной части тела.

1662. П. Ферма сформулировал основной принцип геометрической оптики (принцип Ферма).

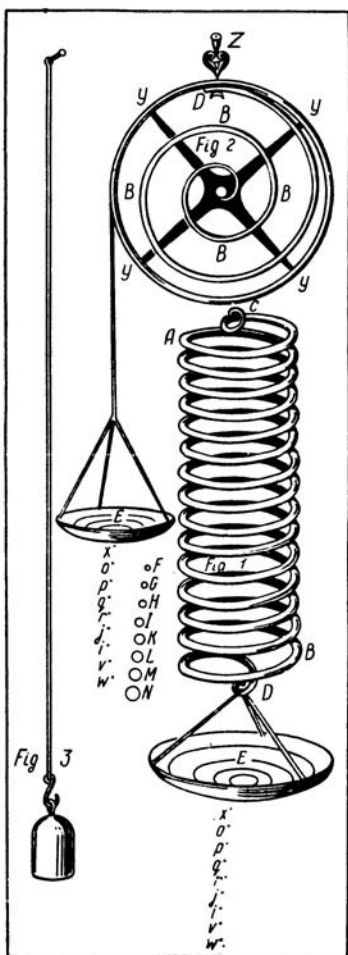
1663. Р. Бойль открыл цветные кольца в тонких слоях, которые впоследствии (1675) исследовал И. Ньютон (кольца Ньютона).

● Ж. Роберваль изобретает весовой ареометр. Усовершенствован Г. Фаренгейтом в 1724 введением тарелочки для весов. Современную форму ему придал (1787) У. Никольсон.

● Э. Сомерсет изобрел водя-

ной насос с паровым приводом, являющийся прообразом паровой машины (построен в 1667 в Лондоне; поднимал воду на высоту 40 футов). В 1705 во-

Опыт Гука с пружиной



доподъемную паровую машину сконструировал Т. Ньюкомен. 1664. В лекции «О ветре» Э. Торричелли показал условия, необходимые для возникновения ветра, и заложил основные представления об об-

щей циркуляции земной атмосферы.

1665. Опубликован труд Ф. Гримальди «Физико-математический трактат о свете, цветах и радуге», в котором содержалось открытие явления дифракции света.

Ф. Гримальди



● Р. Гук усовершенствовал микроскоп.

● Вышел в свет трактат Р. Гука «Микрография», в котором описаны его микроскопические наблюдения, явление дифракции, цвета тонких пленок, содержится гипотеза о свете как поперечных волнах.

● Христиан и Константин Гюйгенсы изобретают диафрагмы к объективам.

1665—1666. И. Ньютон вывел обратно пропорциональную зависимость силы тяготения от квадрата расстояния между

притягивающими телами (в 1680 к такому же выводу пришел Р. Гук).

1665. Х. Гюйгенс и Р. Гук предложили как основные точки термометра точки плавления льда и кипения воды. В 1694 это сделал также К. Ренальдини.

1666. Дж. Борелли объясняет круговое движение планет действием силы притяжения к Солнцу и центробежной силы.

● Переоткрытие И. Ньютоном явления разложения белого света в спектр (дисперсия света) и открытие хроматической аберрации, построение корпускулярной теории света. Свою «Новую теорию света и цветов» Ньютон доложил в 1672, а затем в 1675 на основе этих сообщений появилась в 1704 его «Оптика».

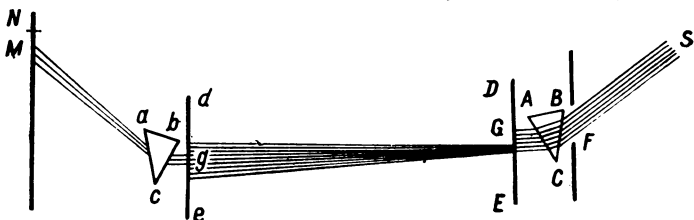
Микроскоп Гука



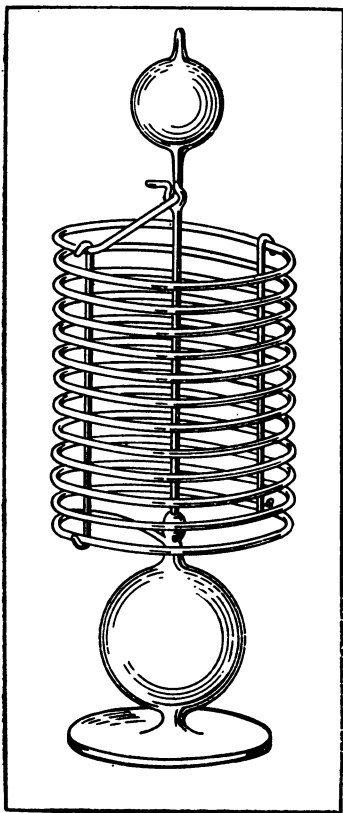
1667. Дж. Борелли вывел законы столкновения неупругих тел.

● Вышел в свет труд Л. Магалотти «Очерки о естественно-

Схема опыта Ньютона по разложению белого света в спектр



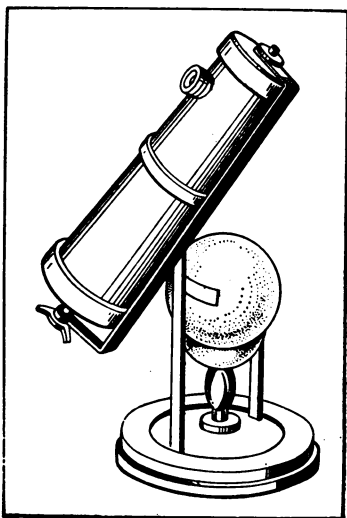
Флорентийский термометр



научной деятельности Академии опытов», в котором изложены результаты коллективной работы, проводимой в 1657—1667 академиками флорентийской Академии опытов. Описаны термометры, ареометр, гигрометр, маятник с бифилярным подвесом, опыты

по тепловому расширению тел, сжимаемости воды и получению вакуума. В Академии были открыты тепловые лучи и их отражение зеркалом, «отрицательные» световые потоки, электропроводность пламени, усовершенствованы термометры, в частности спиртовой. 1668. И. Ньютон сконструировал зеркальный телескоп-рефлектор (независимо предложен в 1663 Дж. Грегори). Длина

Телескоп-рефлектор Ньютона



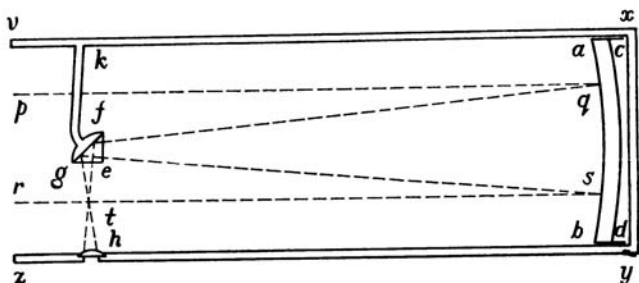
трубы его составляла 15 см, диаметр зеркала — 2,5 см. При помощи этого телескопа можно было наблюдать спутники Юпитера.

● Р. Гук показал, что для всех тел точки кипения и плавления постоянны.

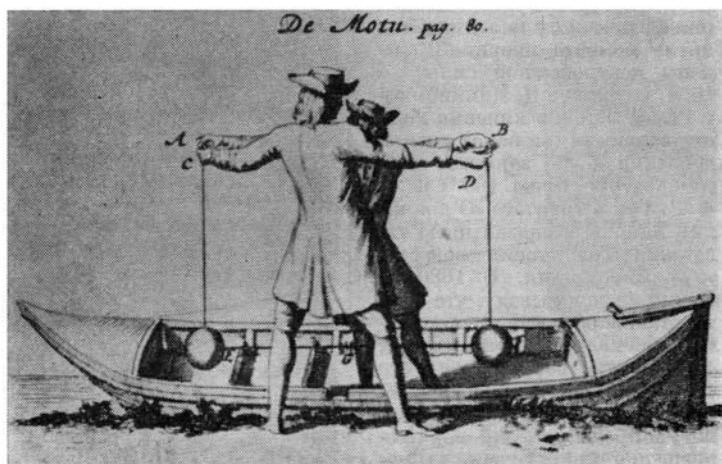
1669. Э. Бартолиа открыл двойное лучепреломление света в кристаллах исландского шпата. В 1678 это явление обнаружено также в кварце (Х. Гюйгенс).

● Открытие хемилюминесценции фосфора (Х. Бранд).

Схема телескопа-рефлектора Ньютона с призмой полного внутреннего отражения



К закону соударения тел по Гюйгенсу



● В мемуаре «О движении тел под влиянием удара» Х. Гюйгенс дал теорию центрального удара упругих тел, установил законы сохранения количества движения (mv) и «живых сил» (mv^2). Понятие «живой силы» (кинетической энергии) как меры механического движения ввел в 1686 Г. Лейбниц, открыв также закон сохранения «живых сил».

Около 1669. Х. Гюйгенс впервые рассмотрел вопрос о центробежной силе. В частности, в его выводах в неявном виде содержалась формула центробежной силы:

$$F_{\text{цб}} = mv^2/R,$$

где m — масса тела; v — его скорость движения по окружности радиуса R .

1669. И. Бехер выдвинул гипотезу флогистона, развитую Г. Шталем.

1670. Дж. Борелли открыл обратно пропорциональную зависимость высоты подъема жидкости в капиллярах от их диаметра.

1670—1671. В сочинении «Метод флюксий» (опубликовано в 1735) И. Ньютон наиболее полно разработал дифференциальное и интегральное исчисления (основные результаты получил еще в 1665—1666). В 1684 систематическое изложение дифференциального исчисления, а в 1686 — интегрального опубликовал Г. Лейбниц.

1672. Вышел в свет труд О. Герике «Новые, так называемые магдебургские опыты с пустым пространством». Опыты Герике были описаны до этого Г. Шоттом в сочинении «Гидравлико-пневматическая механика» (1657).

● Впервые с приемлемой точностью измерено расстояние до Солнца (Дж. Кассини, Ж. Рише, Ж. Пикар).

1673. Вышел в свет труд Х. Гюйгенса «Маятниковые часы», в котором приведены теории физического маятника, понятие момента инерции и законы центробежной силы.

1674. Открытие Д. Папином зависимости точки кипения воды от давления (при более низком давлении вода закипает при температуре ниже 100°C).

● Р. Гук в трактате «О движении Земли» высказал идею тяготения и представил свою систему мироздания. В 1680 Р. Гук пришел к выводу, что сила тяготения обратно пропорциональна квадрату расстояния.

● Открытие обертонов.

1675. Р. Бойль высказал свои кинетические воззрения на теплоту и продемонстрировал превращение упорядоченного ме-

ханического движения в беспорядочное тепловое.

● Сконструирован саморегистрирующий барометр (С. Морленд).

1676. О. Ремер в результате наблюдений спутников Юпитера сделал вывод о конечности скорости распространения света и по данным наблюдений впервые определил ее величину — $214\,000\text{ км/с}$ (до этого Дж. Порты, И. Кеплер, Р. Декарт и др. считали скорость света бесконечной).

● Э. Мариотт установил обратно пропорциональную зависимость объема газа от давления (закон Бойля — Мариотта) и предложил рассчитывать высоту по данным барометра.

1677. И. Конради открыл явление переохлаждения воды. В 1721 его наблюдал и описал также Г. Фаренгейт.

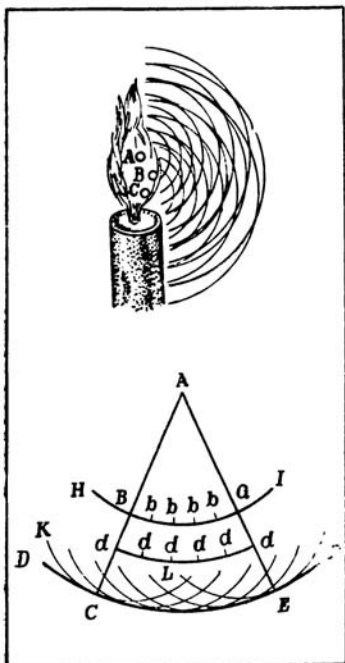
1678. Создание Х. Гюйгенсом волновой теории света и объяс-

Э. Мариотт проводит опыт с расширением воздуха

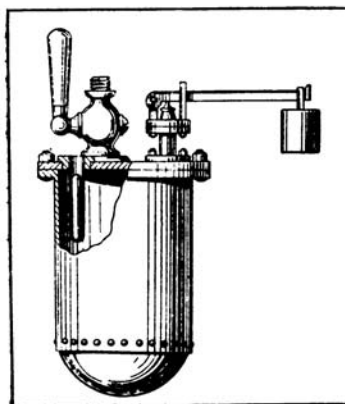


нение на ее основе всех известных тогда явлений. Впервые идею волновой природы света высказали в 1648 Я. Марци и в 1665 Р. Гук.

Распространение света от источника и построение огибающей волны по Гюйгенсу



Котел Папина



● Х. Гюйгенс обнаружил явление поляризации света (опубликовал в 1690) — разложение колебаний естественного света в кристалле по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Понятие о поляризации света на основе корпускулярных представлений ввел в 1704—1706 И. Ньютон. Согласно Ньютону, поляризация — свойство света, объясняемое определенной ориентацией световых частиц по отношению к образуемому ими лучу. Термин «поляризация света» предложил в 1808 Э. Малюс.

● Опубликован труд Э. Мариотта «Трактат об ударе или соударении тел», где обобщены исследования соударения тел.

● Х. Гюйгенс впервые опытным путем определил величину ускорения силы тяжести для Парижа ($g = 979,9 \text{ см/с}^2$).

1680. Д. Папин изобрел паровой котел (котел Папина). В 1681 он снабдил его предохранительным клапаном.

1681. Х. Гюйгенс объяснил изменение периода колебаний маятника изменением ускорения силы тяжести, выдвинул идею об измерении силы тяжести при помощи секундного маятника, первый пришел к выводу о сферичности Земли у полюсов.

Г. Лейбниц



● Р. Норман установил, что стрелка компаса указывает местоположение магнитных полюсов Земли и направляется земным шаром как большим природным магнитом.

1682. Э. Мариотт наблюдает лучистую теплоту, изучает пропускаемость ее стеклом.

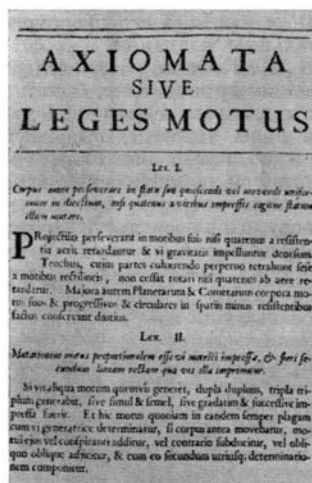
1686. Г. Лейбниц ввел понятие «живой силы» (кинетической энергии) как меры движения (произведение массы на квадрат скорости) и установил в общем виде закон сохранения «живых сил».

ПЕРИОД КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ПЕРВЫЙ ЭТАП

1687. Вышел в свет труд И. Ньютона «Математические начала натуральной философии» («Начала»), содержащий основные понятия и аксиоматику механики, в частности три

Страница из «Начал» Ньютона, где помещены его первые два закона механики



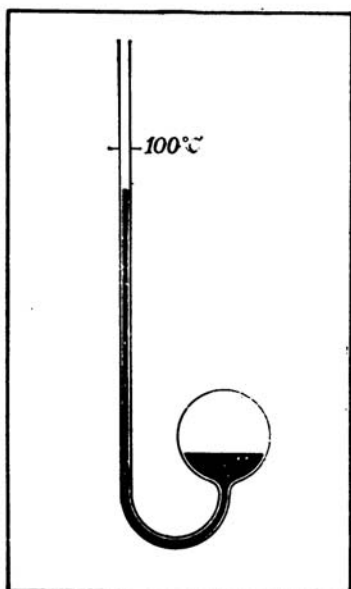
основных ее закона: $F = 0$; $F = ma$, $F_1 = -F_2$ (законы Ньютона) и закон всемирного тяготения: $F = \gamma m_1 m_2 / r^2$, где F — сила, с которой два тела с массами m_1 и m_2 притягиваются друг к другу; r — расстояние

между центрами масс тел: γ — гравитационная постоянная. Созданное И. Ньютоном независимо от Г. Лейбница дифференциальное исчисление позволило ему сформулировать законы механики в строгой математической форме, в частности, второй закон дал возможность описывать любое движение. Выход в свет «Начал» открыл новый период в истории физики, так как в них впервые содержалась законченная система механики, законы которой управляют большим количеством процессов в природе.

● П. Вариньон в книге «Проект новой механики» формулирует понятие момента силы и дает в общей геометрической форме теорему о моменте равнодействующей.

1690. Вышел в свет «Трактат о свете» Х. Гюйгенса (завершен в 1678), в котором изложена волновая теория света (световые возбуждения являются упругими импульсами в эфире),

Воздушный термометр Амонтона



сформулирован принцип построения огибающей волны (принцип Гюйгенса) и описано открытое им явление поляризации света.

● Г. Лейбниц первый указывает на связь колебаний показаний барометра с погодой и в 1702 высказывает идею барометра-анероида.

1697. Г. Шталь разработал теорию флогистона. Идею флогистона выдвинул в 1669 И. Бехер.

1698. Открытие электрической искры (Волл).

1699. Г. Амонтон открыл законы внешнего трения твердых тел. Впервые закон для трения скольжения между двумя твердыми поверхностями сформулировал в 1518 Леонардо да

Атмосферная машина Ньюкомена

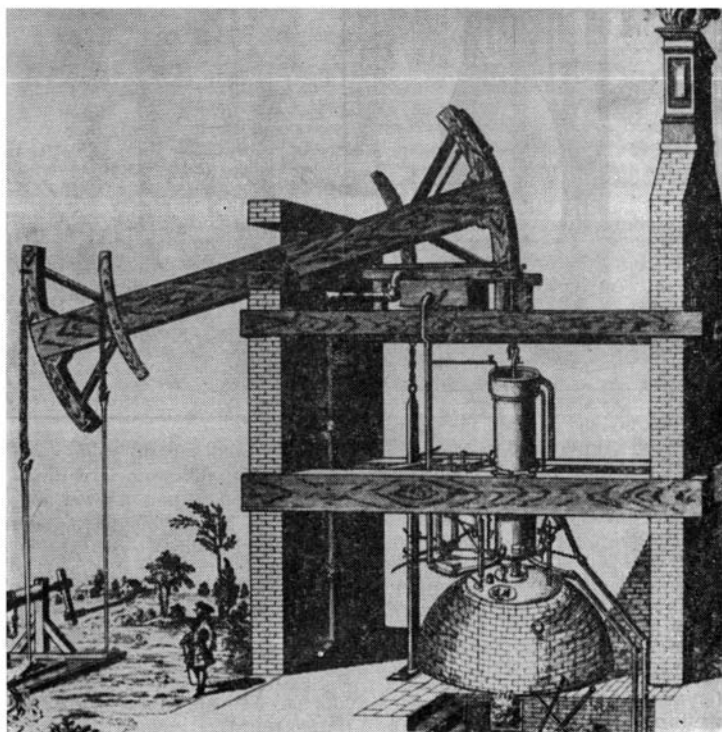
Винчи: $F_{\text{тр}} = 0,25 P$, где $F_{\text{тр}}$ — сила трения; P — вес тела; 0,25 — коэффициент трения, одинаковый для всех тел.

1701. Ж. Савёр ввел представление о стоячих волнах.

1702. Г. Амонтон усовершенствовал термоскоп Галилея, сконструировав воздушный термометр, в основном похожий на современный газовый. Этот термометр дал возможность Амонтону предположить существование самой низкой температуры (абсолютного нуля температуры).

1703. Вышел в свет труд Х. Гюйгенса «О центробежной силе», где приводится выражение для центробежной силы.

● Голландские ювелиры наблюдают пирозлектричество у турмалина. Электризацию тур-



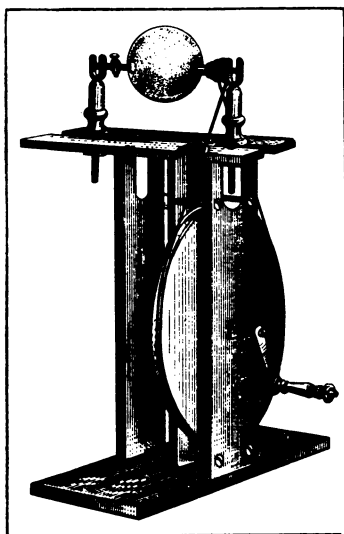
малина при нагревании в 1754 установили Дж. Кантон и Ф. Эпинус.

1704. Вышел в свет труд И. Ньютона «Оптика».

1705. Т. Ньюкомен изобрел практически пригодную паровую машину (атмосферная машина Ньюкомена). В 1711 начала использоваться для откачки воды в шахтах.

1706. Ф. Гауксби показал, что стекло при трении шерстью подобно янтари приобретает электрические свойства и светится.

Светящийся шар Гауксби

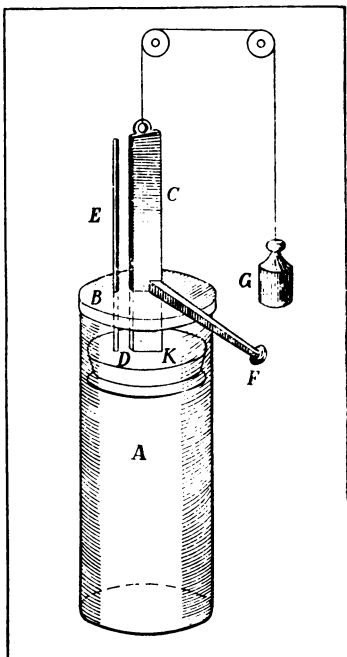


● Построена первая стеклянная электрическая машина (Ф. Гауксби). В 1745 электрическую машину со стеклянными пластинами сконструировал И. Винклер, в 1755 — М. Планта и в 1766 — Дж. Рамсен (машина Рамсдена). Первую «электрическую машину» построил О. Герике (опубликовал в 1672); она представляла собой свободно вращающийся большой шар из серы, насаженный на ось. Вращая шар

вокруг оси, Герике наэлектризовывал его ладонью руки.

● Начало исследований разрядов в газах (Ф. Гауксби). 1707. Д. Папин дал описание своего парового двигателя (машина Папина). В 1690 он первый использовал водяной пар для поднятия поршня в цилиндре и описал замкнутый термодинамический цикл парового двигателя.

Первая паровая машина Папина



1709. Опубликовано сочинение Ф. Гауксби «Физико-механические опыты по различным вопросам, содержащие обзор некоторых удивительных явлений, относящихся к свету и электричеству, вызываемых посредством взаимного трения тел».

1710 (или 1714.) Появился термометр Г. Фаренгейта со шкалой в 212 градусов (шкала Фаренгейта). Идею этого тер-

мометра выдвинул О. Рёмер. 1713. Б. Тейлор дал формулу основного тона струны.

1717. И. Бернулли сформулировал в общей форме принцип возможных перемещений.

1718. Дж. Жюрен открыл закон подъема жидкости в капиллярных трубках (закон Жюрена).

● Э. Галлей открыл собственное движение звезд, чем разрушил давние представления об их неподвижности.

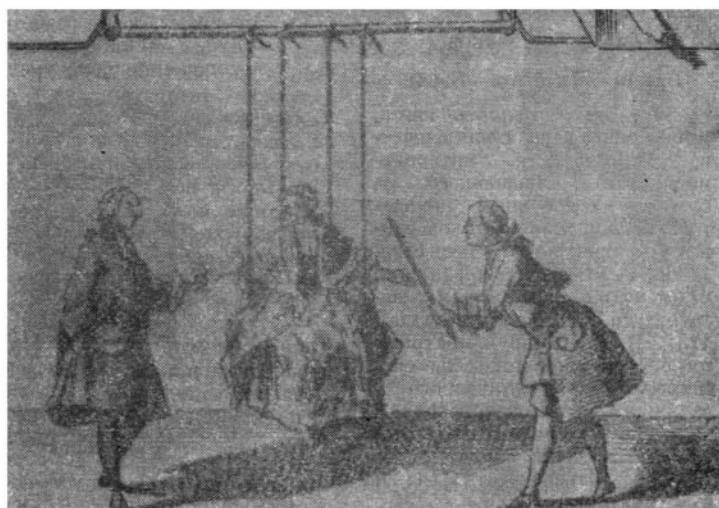
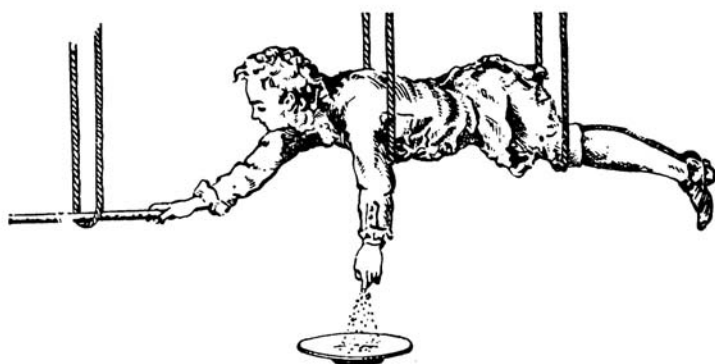
1721. Вышла книга К. Вольфа «Физические эксперименты,

или всевозможные полезные опыты, которыми прокладывается путь к точному познанию природы и искусства»; в ней дано систематическое изложение теории теплорода.

1723. Б. Тейлор впервые применил в калориметрии метод смешения, усовершенствованный впоследствии Г. Рихманом.

1725. Дж. Брайлей открыл aberrацию света и в 1728 дал ей правильное объяснение, чем окончательно подтвердил факт конечности скорости распространения света.

Опыты Грея с электричеством



● Вышел труд П. Вариньона «Новая механика...», где дается систематическое изложение учения о сложении и разложении сил, о моментах сил и правилах оперирования с ними.

1729. Открыто явление электропроводности (С. Грей).

● С. Грей показал, что электрический заряд в проводнике распределяется по его поверхности.

П. Бугер



● Вышел в свет «Оптический трактат о градации света» П. Бугера, в котором изложены основы фотометрии, в частности, помещен открытый им закон ослабления света в поглощающей среде, детально рассмотренный в 1760 И. Ламбертом и проверенный в 1852 на опыте в отношении концентрации А. Бэрм:

$$I = I_0 e^{-\kappa c l} \quad (\text{закон}$$

Бугера—Ламберта—Бэра),

где I — интенсивность света, прошедшего через слой вещества толщиной l ; I_0 — интенсивность света, падающего на слой; κ — удельный показатель поглощения света на единицу концентрации c вещества.

1730. Р. Реомюр предложил применять в термометрах шкалу от 0 до 80° (шкала Реомюра).

1731. П. Мушенбрук построил пирометр, основанный на расширении металлического стержня. Усовершенствован в 1736 Дж. Элликоттом. Первые пирометры были сконструированы И. Ньютоном (1701) и Г. Амонтоном (1703).

1733. Введено представление о двух электрических флюидах (двух видах электричества) — «стеклянном» и «смоляном» (флюидная гипотеза электричества), установлено притяжение разноименных электрических зарядов и отталкивание одноименных (Ш. Дюфе).

П. Мушенбрук



1735. Ш. Дюфе впервые высказал мысль об электрической природе молнии и грома.

1736. Вышел в свет труд Л. Эйлера «Механика», положивший начало превращению механики из геометрической науки в аналитическую. Здесь же содержится определение массы как меры инертности (у Ньютона масса была мерой количества материи).

1737. Открытие Дж. Брадлеем явления нутации земной оси.

1738. Вышла в свет работа Д. Бернулли «Гидродинамика», в которой помещено урав-

Д. Бернулли



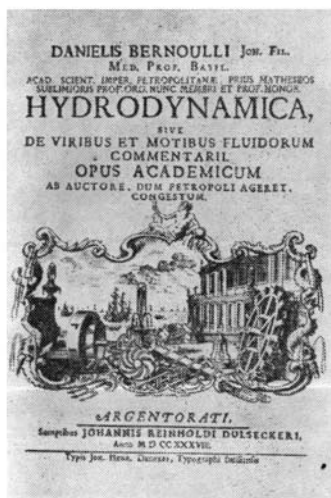
нение стационарного движения идеальной жидкости:

$$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}$$

(уравнение Бернулли),

где p — статическое давление в жидкости; ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения; h — высота столба жидкости; v — скорость потока жидкости. Здесь же содержались элементы кинетической теории теплоты (теплоту

Титульный лист «Гидродинамики» Д. Бернулли



Бернулли считал движением частиц, газ рассматривал как совокупность мельчайших частиц, а давление газа на стенки — как результат совокупного действия этих частиц).

● Вышел в свет «Курс физики» П. Мушенбрука.

1740. П. Мопертюн сформулировал механический принцип наименьшего действия (независимо этот же принцип развил в 1744 Л. Эйлер).

● Изобретен фотометр (П. Бугер).

1742. Введены понятия «проводник» и «непроводник» электричества (Ж. Дезагюлье).

● А. Цельсий предложил столбическую шкалу термометра (шкала Цельсия).

● К. Маклорен впервые применил метод разложения сил,

скоростей и ускорений по трем взаимно перпендикулярным неподвижным осям.

А. Цельсий

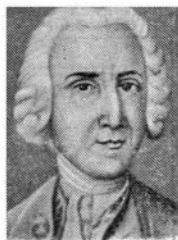


1743. Вышел в свет «Трактат о динамике» Ж. Д'Аламбера, где впервые сформулированы общие правила составления дифференциальных уравнений движения любых материальных систем и дан принцип, сводящий задачи динамики к задачам статики (принцип Д'Аламбера).

● Вышел в свет «Курс экспериментальной физики» Ж. Нолле.

● Д. Бернулли придал магнитам подковообразную форму. 1744. Г. Крафт предложил эмпирическую формулу для температуры смеси горячей и холодной воды. Обобщена (1744—1746) Г. В. Рихманом на случай

Г. В. Рихман



любого числа смешиваемых однородных жидкостей с различными массами и температурами:

$$\Theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + \dots + m_n t_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

(калориметрическая формула Рихмана).

1745. Э. Клейст и П. Мушенбрук создают первый электрический конденсатор (лейденская банка).

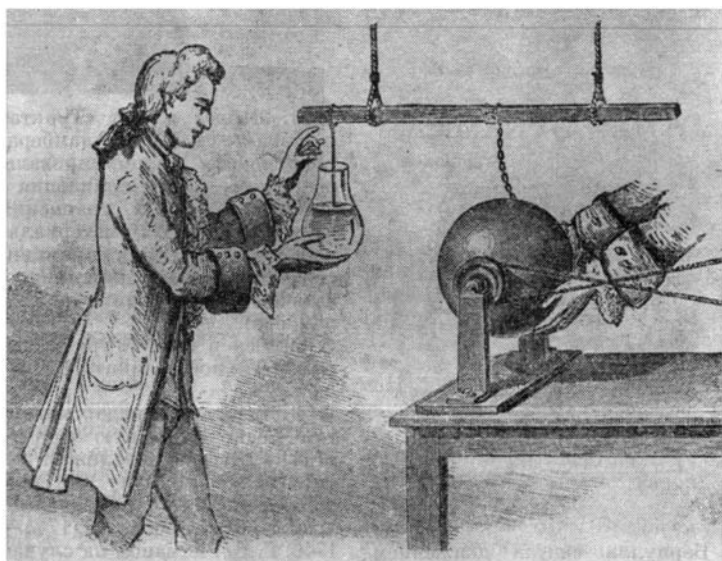
● Г. В. Рихман построил электрический указатель — первый электроизмерительный прибор.

Опыт в Лейдене

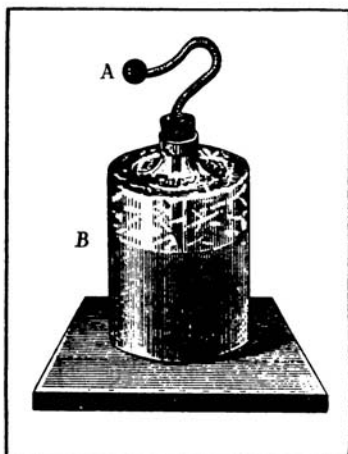
1746. Дж. Элликотт сконструировал электрометр, основанный на принципе весов.

● Установлен закон сохранения момента количества движения (Л. Эйлер, Д. Бернулли).

● Вышел в свет труд Л. Эйлера «Новая теория света и цве-



Лейденская банка



тов», в которой он развивает волновую теорию света и считает различную длину волны причиной различия цветов, выводит уравнение плоской гармонической волны.

● Начало опытов Б. Франклина по электричеству. Свои исследования он изложил в письмах (1747—1754) к члену Лондонского королевского общества П. Коллинсону, который опубликовал их. Письма стали широко известны в Европе и имели огромный успех.

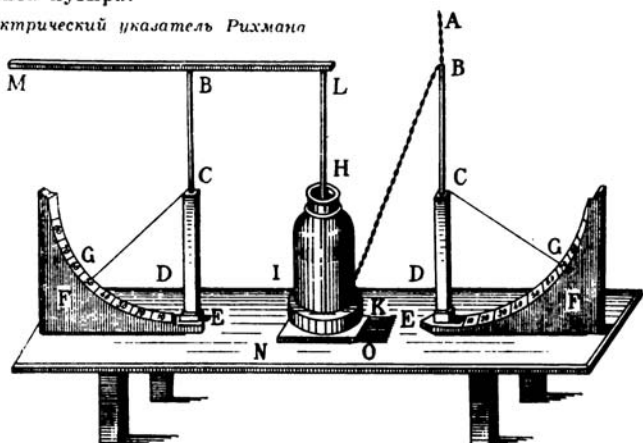
1747. Изобретение Ж. Нолле электроскопа.

1748. М. В. Ломоносов сформулировал положение, что материя и движение неуничтожимы и несотворимы (закон сохране-

пия материи и движения Ломоносова).

● Ж. Нолле открывает диффузию жидкостей, разделенных перегородкой, наблюдая диффузию воды и спирта сквозь свиной пузырь.

Электрический указатель Рихмана



● Ж. Нолле открыл осмос.

● Вышел в свет труд В. Грамезанда «Элементы математической физики».

Л. Эйлер



1749. Выдвинута гипотеза корпускулярного механизма электрического тока (Б. Франклин). В 1845 электрический ток в проводниках как поток точечных частиц рассматривал Г. Фехнер, в 1848 о токовых частицах говорил также В. Вебер.

1750. Опубликована работа М. В. Ломоносова «Размышления о причине теплоты и холода», где изложена его теория теплоты. Теплота, по Ломоно-

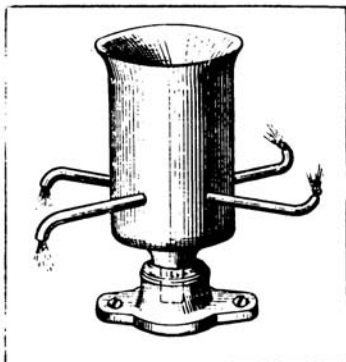
сову, обусловлена вращательными движениями частиц вещества. Здесь же содержится идея о существовании абсолютного нуля температур.

● Я. Сегнер изобрел одну из первых реактивных гидравлических турбин («сегнерово колесо»).

● Изобретение молниеотвода (Б. Франклин). В 1753 молниеотвод построил также И. Винклер, а в 1754 — П. Дивинш.

● Б. Франклин сформулировал унитарную теорию электричества, ввел понятия положительного и отрицательного

Сегнерово колесо



заряда, установил закон сохранения электрического заряда.

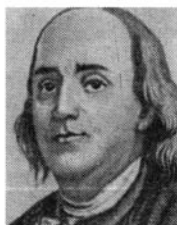
1752. Л. Эйлер выдвинул утверждение, что максимальная длина световой волны соответствует красным лучам, а минимальная — фиолетовым.

● Открытие спектральных линий (Т. Мелвилл).

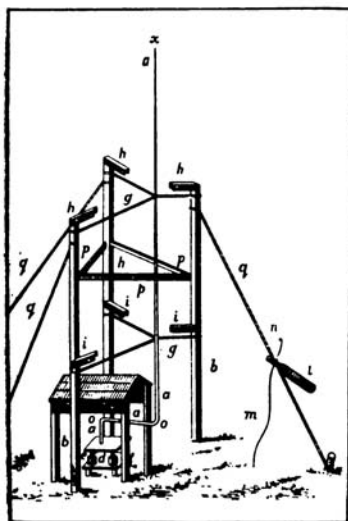
1753. Б. Франклин выполнил «опыт со змеем», явившийся прямым доказательством электрической природы молнии. Впервые мысль об электрической природе молнии и грома высказал в 1735 Ш. Дюфе.

● Дж. Кантон сконструировал электрометр.

Б. Франклин



Опыты Франклина с атмосферным электричеством



1754. Дж. Блэк открыл углекислый газ.

1755. В мемуарах «Общие принципы движения жидкостей» и «Общие принципы состояния равновесия жидкостей» Л. Эйлер разработал аналитическую механику жидкостей, вывел основные уравнения движения идеальной жидкости. Совместно с Д. Бернулли является создателем теоретической гидродинамики.

● Ж. Делюк впервые установил, что для расплавления льда недостаточно нагреть его до температуры плавления, требуется еще некоторое количество теплоты, необходимое для перехода его в другое, агрегатное состояние (скрытая теплота плавления).

● Разработка И. Кантом гипотезы происхождения солнечной системы.

1756. Открытие М. В. Ломоносовым закона сохранения массы вещества в химических реакциях.

Этот закон установил также в 1774 А. Лавуазье.

● Наблюдение «животного» электричества (Л. Кальдани).

1757. Ф. Эпинус изобрел электрофор. Усовершенствован в 1775 А. Вольта.

● Дж. Доллонд сконструировал ахроматический объектив, соединив двояковыпуклую линзу из кронгласа с выпуклой линзой из флинтгласа. Идею его выдвинул в 1695 Д. Грегори и в 1747 независимо развил Л. Эйлер. Первую ахроматическую линзу создал в 1733 Ч. Холл.

1758. Вышел в свет труд Р. Бошковича «Теория натуральной философии, приведенная к единому закону сил, существующих в природе», в которой сделана попытка объяснить все физические явления.

● Открыто явление диэлектрической поляризации (И. Вильке). Переоткрыто М. Фарадеем в 1837,

● Дж. Доллонд построил ахроматический телескоп, получивший широкое распространение.

1759. Разработка математической теории электрических и магнитных явлений (Ф. Эпинус).

1760. Вышел в свет труд И. Ламберта «Фотометрия, или об измерениях и сравнениях света, цветов и тени», в котором приведены основные понятия и законы фотометрии, в частности, детально рассмотрен закон ослабления света в среде, открытый в 1729 П. Бугером (закон Бугера — Ламберта — Бэра).

1762. Введение понятия скрытой теплоты, измерение теплоты плавления льда и парообразования воды (Дж. Блэк). Впервые внимание на скрытую теплоту плавления обратил в 1755 Ж. Делюк.

● Дж. Кантон доказал сжимаемость воды.

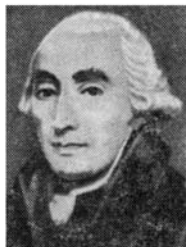
● Вышел в свет двухтомник «Введение в натуральную философию» П. Мушенбрука,

Электрическая машина Рамсдена

представляющий собой физическую энциклопедию того времени.

1763. И. И. Ползунов разработал проект паровой машины (в 1765 машина была построена, а в 1766 начала эксплуатироваться).

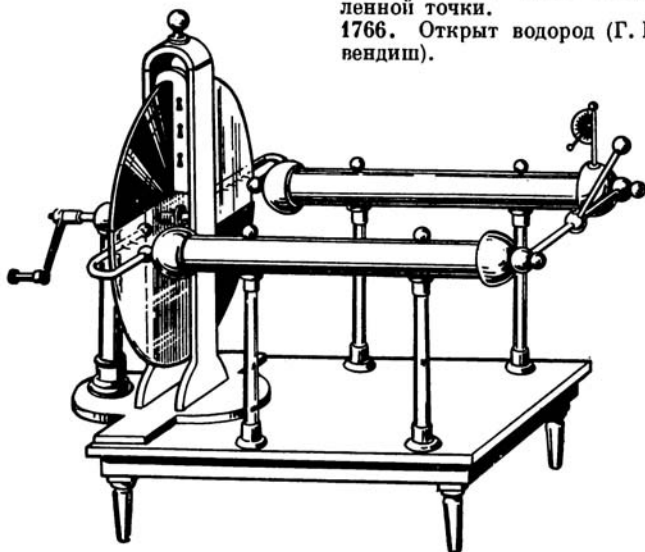
Дж. Блэк



1765. Вышли в свет «Письма к одной немецкой принцессе» Л. Эйлера, в которых изложены его физические и философские взгляды. «Письма» пользовались большой популярностью, выдержав свыше 40 изданий на 10 языках.

● Вышел в свет «Трактат о движении твердых тел» Л. Эйлера (закончен в 1760), в котором развита теория вращения твердого тела около закрепленной точки.

1766. Открыт водород (Г. Кавендиш).



● Дж. Рамсден построил электрическую машину со стеклянными пластинками (машина Рамсдена).

1767. Опубликована «История электричества» Дж. Пристли.

1770. Дж. Уатт предложил первую единицу мощности — лошадиную силу, равную 76 кг·м/с.

● Дж. Блэк ввел понятие «теплоемкость» тела и термин.

1771. Дж. Пристли открыл фотосинтез.

1772. Ж. Делюк установил аномалию в расширении воды, максимальная плотность кото-

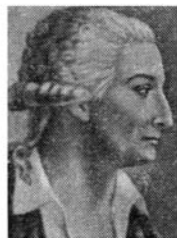
рой достигается не при температуре замерзания, а при $+4^{\circ}\text{C}$.

● И. Вильке выполнил первые измерения теплоемкости твердых тел.

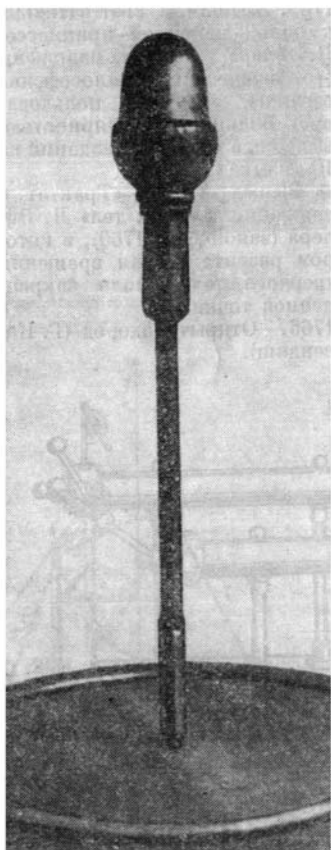
● И. Вильке определил теплоту плавления льда, смешав воду и снег, и пришел к заключению, что для превращения 1 кг снега в воду при 0°C нужно 72 тепловые единицы.

А. Лавуазье и П. Лаплас тем же методом нашли (1775), что для этого необходимо 75 тепловых единиц.

А. Лавуазье



Электрофор Вольта



● Открыт азот (Д. Рутерфорд).

● Опубликован труд Дж. Пристли «История и современное состояние открытий, относящихся к зрению, свету и цветам».

1774. Открыт кислород (Дж. Пристли).

● Открыты хлор и марганец (К. Шееле).

1775. Усовершенствование электрофора (А. Вольта). Изобретен в 1757 Ф. Эпинусом.

1775—1777. А. Лавуазье разработал основные положения кислородной теории, доказал сложный состав воздуха, объяснил горение, показал, что при дыхании поглощается кислород и образуется углекислый газ. Тем самым была доказана несостоятельность теории флогистона.

1777. К. Шееле в «Химическом трактате о воздухе и огне» ввел понятие теплового излучения («лучистой теплоты») и описал свои наблюдения и экс-

перименты над тепловым излучением, в частности «собрал» идущую от печи теплоту при помощи вогнутого зеркала. Тепловые лучи и их отражение зеркалом были открыты еще в 1657—1667 флорентийскими учеными в Академии опытов. Первые эксперименты по концентрации лучистой теплоты с помощью параболических зеркал описал в 1769 К. Вольф, в 1774 их повторил и развил Ж. Бюффон.

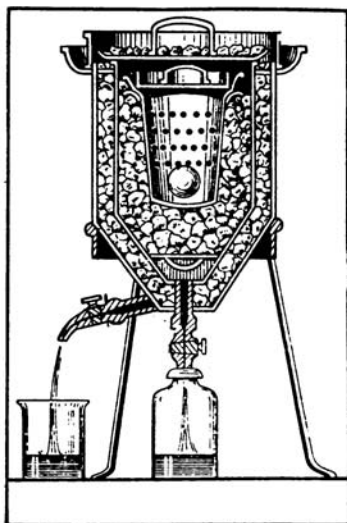
1778. Дж. Валлис, А. Бругманс и Ш. Кулон развили двухфлюидную теорию магнетизма.

1779. Вышел в свет труд И. Ламберта «Пирометрия» (посмертно), в котором описаны опыты над тепловым излучением, в частности доказано, что тепловые лучи распространяются прямолинейно и их интенсивность уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния.

● И. П. Кулибин сконструировал прожектор.

1780. Создан ледяной калориметр (А. Лавуазье, П. Лаплас).

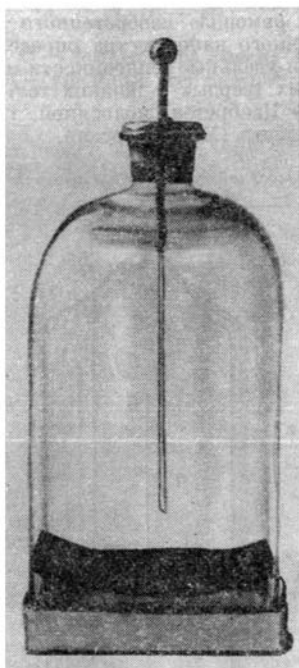
Ледяной калориметр



Усовершенствован в 1870 Р. Буэнзеном (калориметр Бунзена).

1781. А. Вольта изобрел чувствительный электроскоп с соломинками.

Электроскоп Вольты



● Ж. Делюк построил гигрометр из китового уса (гигрометр Делюка), который усовершенствовал в 1787.

● Установлены законы трения качения и скольжения (Ш. Кулон).

● Г. Кавендиш устанавливает состав воды (одновременно с Дж. Уаттом), показывая, что при пропускании электрической искры через смесь водорода и кислорода образуется вода.

● Открыт теллур (М. Рейхенштейн).

● У. Гершель открыл планету Уран.

1782. Р. Гаюи открывает пьезоэлектричество (у двойникового шпата).

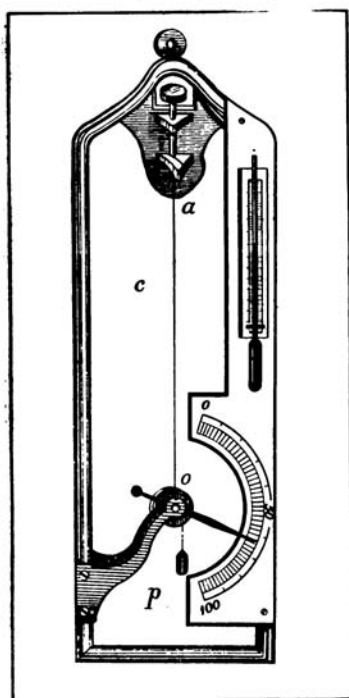
● Дж. Сикс сконструировал термограф (усовершенствован в 1794 Д. Рутерфордом).

1783. А. Вольта построил электрический конденсатор.

● А. Лавуазье и П. Лаплас с помощью изобретенного ледяного калориметра определили удельные теплоемкости многих твердых и жидких тел.

● Изобретен волосяной гигрометр (Х. де Соссюра).

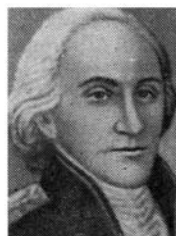
Волосяной гигрометр Соссюра



● Ж. и Э. Монгольфье построили воздушный шар («монгольфьер»), наполненный теплым воздухом, на котором 21 ноября Ж. Пилатр де Розье и Д'Арланд в Париже совершили 25-минутный полет. В этом же году воздушный шар,

наполненный водородом («шарльер»), построил Ж. Шарль и осуществил на нем 1 декабря полет длительностью 2,5 ч. Еще в 1709 подъем на воздушном шаре, наполненном нагретым воздухом, до высоты почти 60 м осуществил патер Л. де Гусмао. В России попытка подъема на воздушном шаре, наполненном дымом, относится к 1731.

Ш. Кулон



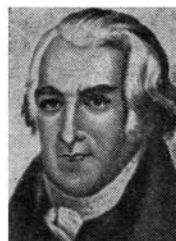
● Вышел в свет «Мемуар о теплоте» А. Лавуазье и П. Лапласа.

● Открыт вольфрам (Ж. и Ф. Эльгуйары).

1784. Ш. Кулон осуществил исследование упругого кручения нитей и построил крутильные весы.

● Вышел в свет трактат Дж. Атвуда по механике, в котором описан прибор, изобретенный им для проверки законов свободного падения тел (машина Атвуда).

Дж. Уатт



● Дж. Уатт создал паровую машину двойного действия с непрерывным вращательным движением (машина Уатта) — универсальный паровой двигатель (в 1774 пост-

роил паровую машину простого действия, усовершенствовав машину Ньюкомена). Паровая машина Уатта получила широкое применение и сыграла значительную роль в переходе к капиталистическому машинному производству.

● Х. де Соссюр установил, что величина испарения зави-

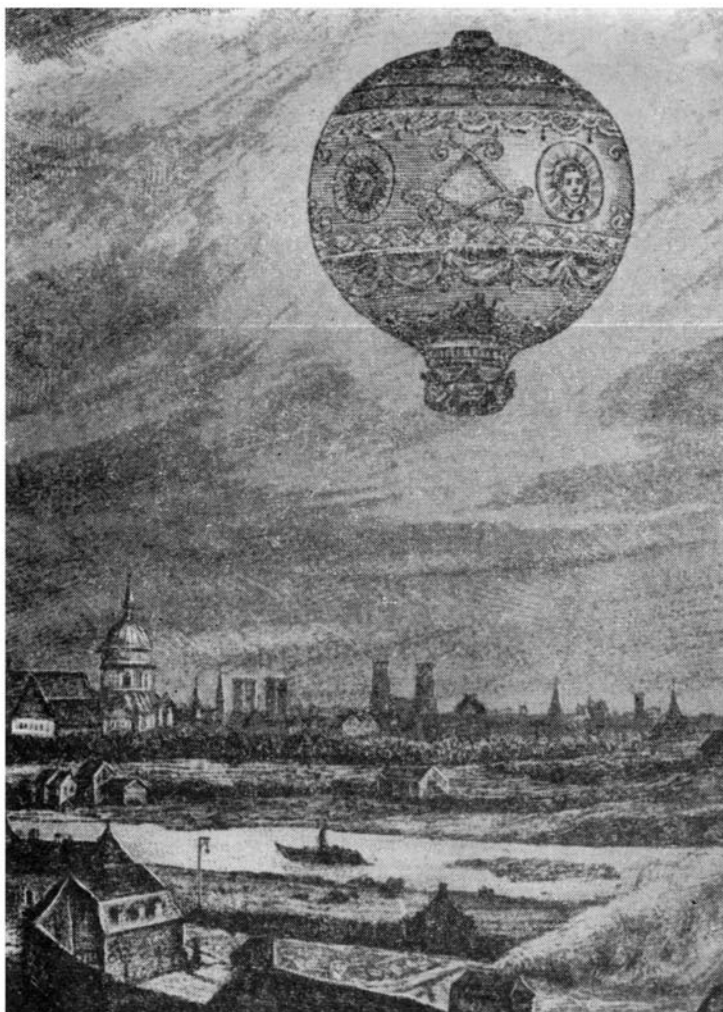
Первый полет на монгольфьере

сит от степени влажности воздуха.

● Ю. Гадолли предложил формулу для температуры смеси двух различных веществ:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{m_2 (\Theta - t_2^0)}{m_1 (t_1^0 - \Theta)},$$

где Θ — температура смеси; c_1 и c_2 — удельные теплоемкости



веществ. образующих смесь; t_1^0 и t_2^0 — их температуры.

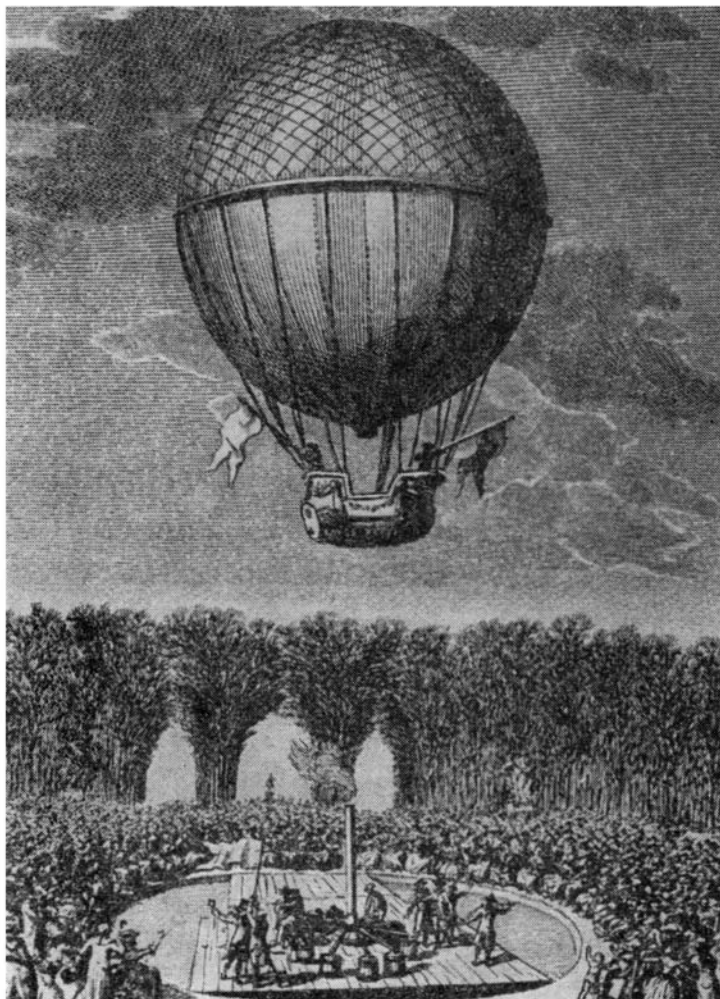
● Ж. Лесаж построил механическую теорию тяготения (теория Лесажа).

● Р. Гаюи устанавливает закон симметрии кристаллов.
1785. Открытие Ш. Кулоном основного закона электрического взаимодействия:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \quad (\text{закон Кулона}),$$

где F — сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами q_1 и q_2 ; r — расстояние между ними; ϵ — диэлектрическая проницаемость среды; k — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы

Первый полет на шарльере



единиц. Обратно пропорциональную зависимость силы электрического взаимодействия от квадрата расстояния открыли также в 1760 Д. Бернулли, в 1766 Дж. Пристли и в 1771 Г. Кавендиш.

● Ш. Кулон построил магнитометр.

1786. Открытие Л. Гальвани электрического тока при исследовании движений мышц лягушки (опубликовал в 1791). Начало его электрофизиологических опытов относится к 1780.

● Д. Риттенгаус создал дифракционную решетку. С 1821 широкое использование дифракционные решетки получили у И. Фраунгофера, что дало повод некоторым исследователям считать его изобретателем дифракционной решетки.

● А. Беннет сконструировал электроскоп с золотыми листочками.

● А. Беннет установил проводимость пламени (в 1787 это сделал также А. Вольта).

● Обнаружена связь теплоты

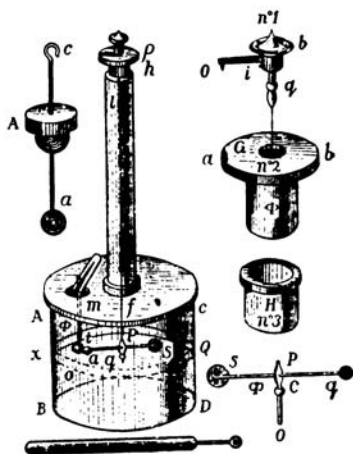
с электрической искрой (М. Ван Марум).

1786—1787. Разработка новой химической номенклатуры (А. Лавуазье).

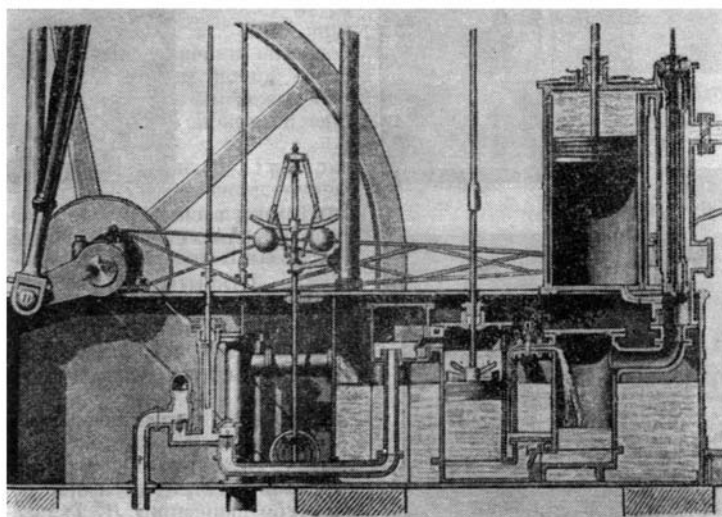
1787. Э. Хладни открыл продольные колебания струн и стержней.

● Э. Хладни осуществил опыты по изучению колебаний пластин с образованием аку-

Крутильные весы Кулона



Машина Уатта низкого давления (разрез)



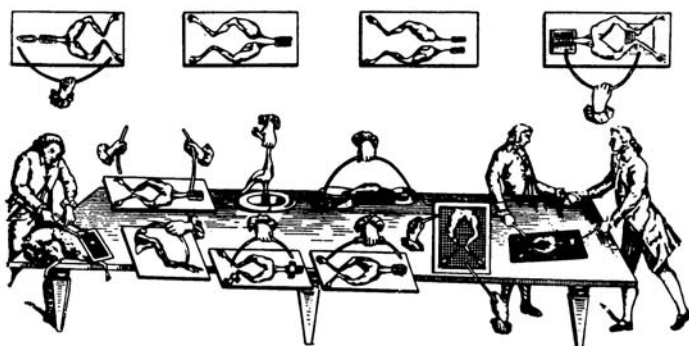
стических фигур (фигуры Хладни).

● Ж. Шарль установил один из газовых законов, выражающий зависимость давления газа от температуры:

$$p_t = p_0 (1 + \beta t^0) \text{ (закон Шарля),}$$

где p_t и p_0 — соответственно давления газа при температуре t и начальной; β — термический коэффициент сжатия.

Опыты Гальвани с лягушками



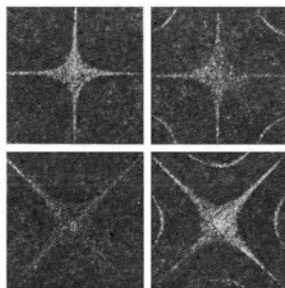
Д. Хладни



Ж. Шарль



Фигуры Хладни



● Вышел в свет труд Ж. Лагранжа «Аналитическая механика».

1789. Открыты цирконий и уран (М. Клапрот).

1790. Ж. Монгольфье впервые высказал мысль об эквивалентности теплоты и механической работы.

● М. Пикте осуществил опыт с «отражением холода».

1791. Опубликован «Трактат о силах электричества при мышечном движении» Л. Гальва-

ни, в котором содержалось его открытие электрического тока (1786).

● П. Прево выдвинул теорию подвижного теплового равновесия — теорию обмена радиацией между телами.

● Во Франции Комиссия, назначенная Парижской Академией наук, в составе Ж. Борда, Ж. Лагранжа, П. Лапласа, Г. Монжа, М. Кондорсе и А. Лавуазье приняла за единицу длины одну сорокамиллионную часть парижского меридиана, названную в 1795 метром. Идея естественной основной меры (минута градуса меридиана) была высказана в 1670 французским геологом Г. Мутоном. В 1872 Международной метрической комиссией взамен естественного эталона принят архивный метр как исходная мера длины. По нему был изготовлен 31 эталон в виде бруса из сплава платины (90 %) и иридия (10 %). Размер метра был определен на основе геодезических и астрономических измерений Ж. Деламбра и П. Мешена, которые произвели измерение градуса между Дюнкирхеном и Барселоной. Первый эталон метра был изготовлен в 1799 в виде платиновой линейки шириной около 25 мм и толщиной около 4 мм с расстоянием между концами, равными принятой единице длины.

● Открыт титан (У. Грегор). 1794. Б. Румфорд сконструировал фотометр, представляющий собой усовершенствованный теневой фотометр Ламберта — Бугера.

● Д. Резерфорд изобрел максимальный и минимальный термометр.

● Открыт иттрий (Ю. Гадоллин).

1795. А. Вольта открыл контактное электричество.

● Установлен электрический пробой твердого тела (М. Ван Марум).

● Во Франции декретом введения метрическая система мер, в основу которой положена единица длины — метр, принята в 1791. В 1785 17 стран, в том числе Россия, подписали Метрическую конвенцию для обеспечения международного единства и усовершенствования метрической системы. В России допущена к применению (в необязательном порядке) в 1899, введена в качестве обязательной в 1918.

1796. Ш. Кулон исследует опытным путем трение жидкостей.

● Э. Хладни измерил скорость звука в твердых телах по отношению к скорости звука в воздухе.

1796. Изобретен гидравлический пресс (Дж. Брам). Предложен Б. Паскалем.

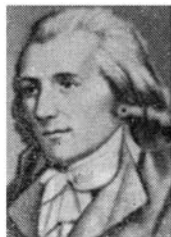
● Вышел в свет труд П. Лапласа «Изложение системы ми-

П. Лаплас



ра», в котором содержится его гипотеза образования солнечной системы.

Б. Румфорд



1797. Открыты бериллий и хром (Л. Вокелен).

1798. Б. Румфорд осуществил опыты со сверлением металли-

ческих заготовок, подтверждающие механическую теорию теплоты.

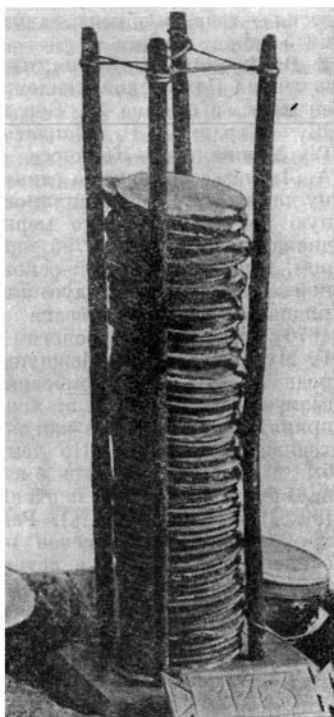
● Г. Кавендиш впервые в лабораторном опыте при помощи крутильных весов измерил гравитационное притяжение двух масс и определил величину гравитационной постоянной, подтвердив тем самым закон всемирного тяготения; вычислил среднюю плотность Земли, получив значение $5,18 \text{ г/см}^3$. 1799. Г. Дэви осуществляет опыт по превращению двух кусков льда трением друг о друга в воду (опыт Дэви), тем самым доказывая возможность получения теплоты за счет выполнения механической работы.

● А. Вольта сконструировал первый источник постоянного электрического тока — «вольтов столб» (прототип гальванического элемента).

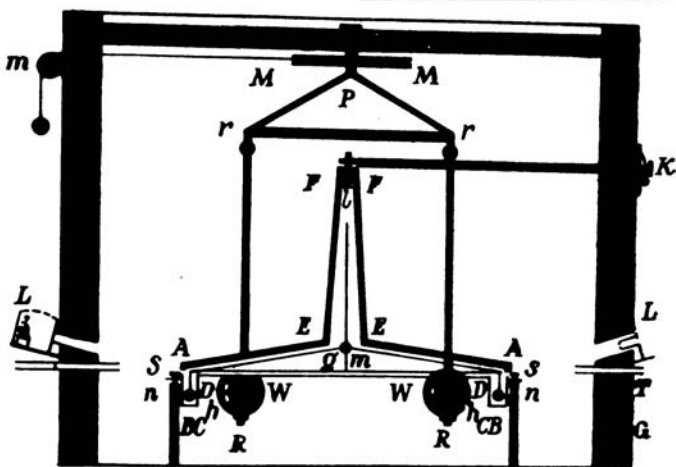
● Э. Хладни открыл вращательные колебания стержней. 1800. Открытие явления разложения воды электрическим током (У. Никольсон, А. Карлейль, И. Риттер). Выделение

из воды водорода и кислорода при пропускании через нее

Первый гальванический элемент Вольта



Прибор, с помощью которого Г. Кавендиш определил гравитационную постоянную



электрических искр наблюдали в 1789 А. Труствик и И. Дейман.

● Открытие теплового действия электрического тока (А. Фуркруа).

● У. Гершель открыл инфракрасные лучи.

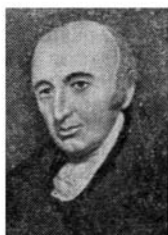
● Открытие Т. Юнгом явления интерференции звука и установление принципа суперпозиции волн.

● Ж. Борда конструирует металлический термометр. В 1817 биметаллический термометр создал А. Бреге.

1801. Т. Юнг сформулировал принцип интерференции света, который переоткрыл в 1815 О. Френель.

● Открытие ультрафиолетовых лучей (У. Воластон, И. Риттер).

У. Воластон



● Наблюдение сильных искр от электрического тока (И. Риттер, П. Саймон).

● Дж. Дальтон открыл диффузию газов.

● И. Риттер предложил химическую теорию электричества.

● Открытие закона парциальных давлений (Дж. Дальтон).

● Открыт ванадий (А. дель Рио).

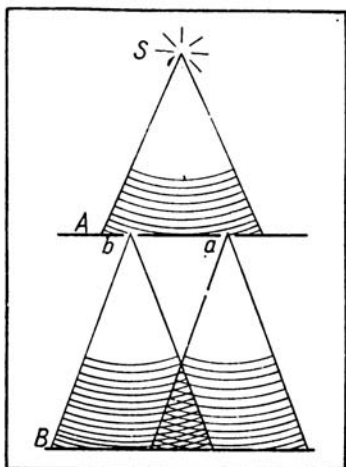
● Открыт ниобий (Ч. Гатчетт). 1802. У. Никольсон открыл световое действие электрического тока.

● Установление химического действия электрического тока (У. Воластон).

● Наблюдение Н. Готро поляризации химического элемента. Факт быстрого окисления металлов при контакте открыл в 1792 Дж. Фабброни.

● Осуществление Т. Юнгом опыта по получению интерференции света от двух отверстий.

Схема опыта Юнга по интерференции света



● У. Воластон разработал метод определения показателя преломления твердых тел.

● Исследование Ж. Гей-Люссаком расширения газов и открытие им зависимости изменения объема газа от температуры: $V_t = V_0 (1 + \alpha_V t)$ (закон Гей-Люссака), где V_t и

Ж. Гей-Люссак

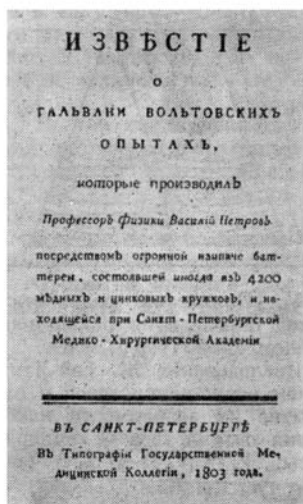


V_0 — соответственно объемы газа при температуре t и начальной; α_V — термический коэффициент объемного расширения, равный $1/273 \text{ град}^{-1}$. Этот закон независимо открыл в этом же году и Дж. Дальтон

(в 1787 эту зависимость установил также Ж. Шарль, но своих результатов не опубликовал).

● Открытие В. В. Петровым электрической дуги и осуществление с ней ряда опытов (плавление металлов, сжигание различных веществ). Электрическую дугу и подобные опыты осуществил в 1810 также Г. Дэви.

*Титульный лист книги
В. В. Петрова «Сообщения
о гальвановольтовых опытах»*



● Вышел в свет труд Э. Хладви «Акустика».

1803. И. Риттер построил первый «сухой столб». В 1812 это сделал также Дж. Замбони («замбониевый столб»).

● Измерение Т. Юнгом длины волн разных цветов. Он получил для длины волны красного света значение — 0,7 микрона, для фиолетового — 0,42 микрона.

● Т. Юнг ввел термин «интерференция».

● Дж. Дальтон ввел понятие атомного веса и составил первую таблицу атомных весов элементов.

● Открытие Дж. Дальтоном закона зависимости растворимости газов от их парциального давления (закон Дальтона).

Дж. Дальтон



1804. Т. Юнг выдвинул идею неподвижного, не увлекаемого Землей эфира (в 1818 идею частично увлекаемого эфира высказал О. Френель).

● У. Волластон открыл дихроизм.

● Дж. Лесли впервые попытался сравнить излучательные способности различных тел. Более точные опыты выполнили в дальнейшем М. Меллони (1835), К. Кноблаух (1847) и Г. Магнус (1848).

● Л. Пуансо ввел понятие пары сил и установил условие равновесия тела.

1805. Б. Румфорд определил максимальную плотность воды.

● Открыто явление термоупругости (А. Гаух).

1806. Д. Араго и Ж. Био выполнили измерения показателя преломления различных газов.

● К. Гротгус, исходя из атомистических представлений, высказал идею о заряженности частиц вещества, переносимых в электрическом токе. В 1807 Г. Дэви предположил, что в растворе нейтральная молекула под действием электрического поля разделяется на части, заряженные разноименно.

1806—1807. Разработка П. Лапласом теории капиллярности (здесь впервые использовано представление, что молекулярное притяжение прояв-

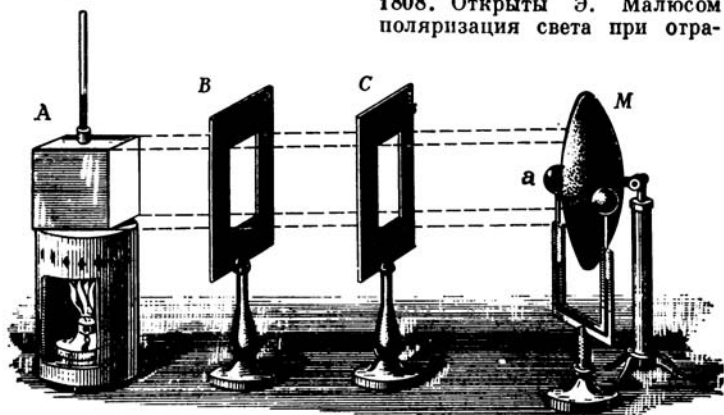
ляется лишь на малых расстояниях).

1806. П. Лаплас дал формулу для определения капиллярного давления:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \varepsilon \sigma$$

(формула Лапласа),

*Измерения Дж. Лесли
поглощательной способности тел*



где Δp — перепад гидростатического давления на поверхности раздела двух сред; p_1 — давление с вогнутой стороны поверхности; p_2 — давление с выпуклой стороны; $\varepsilon = 1/R_1 + 1/R_2$; R_1 и R_2 — радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных нормальных сечений поверхностей; σ — поверхностное натяжение жидкости.

1807. Установлено понижение температуры при адиабатическом расширении газа и повышение при его сжатии (Ж. Гей-Люссак). Это явление отмечали также Э. Дарвин (1788) и Дж. Дальтон (1800).

● Ж. Гей-Люссак производит опыт, соединяя два баллона, в одном из которых выкачан воздух. При пропускании воздуха из пустого баллона в заполненный температура в последнем настолько же повышается, насколько в первом па-

дает. Независимо этот опыт выполнил в 1845 Дж. Джоуль, показав, что внутренняя энергия данной массы газа при постоянной температуре не зависит от объема.

● Введение Т. Юнгом модуля упругости (модуль Юнга).

● Открыты натрий и калий (Г. Дэви).

1808. Открыты Э. Малюсом поляризация света при отра-

жении и закон, названный его именем (закон Малюса).

● Ж. Гей-Люссак установил закон объемных отношений.

Г. Дэви



● Открыт бор (Ж. Гей-Люссак, Л. Тенар).

● Открыты магний, кальций, стронций и барий (Г. Дэви).

1809. Изменение скорости звука в твердых телах (Ж. Био).

● У. Волластон изобретает отражательный гониометр для точного измерения углов кристаллов.

1810. С. Пуассон ввел характеристику упругости — отноше-

шение продольного растяжения к поперечному сжатию (коэффициент Пуассона).

1811. Разработка А. Авогадро молекулярной гипотезы строения вещества и установление закона, согласно которому в равных объемах вещества при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул (закон Авогадро). Это число называют постоянной Авогадро: $N_A = 6,022045 \cdot 10^{23}$.

А. Авогадро



● С. Пуассон распространил теорию потенциала на явления электростатики, сформулировав теорему, согласно которой напряженность поля в точке у поверхности проводника пропорциональна плотности заряда на проводнике (теорема Пуассона), и решив задачу о распределении электричества на поверхности различных проводников и систем проводников, в частности проводящего эллипсоида и двух заряженных сфер.

С. Пуассон



● Обнаружение поляризации света при преломлении (Э. Малюс, Ж. Био).

● Открытие Д. Араго круговой поляризации света (в 1815 ее обнаружили также Ж. Био и Д. Брюстер).

Д. Араго



● Д. Араго обнаружил оптическую активность у кварца (в 1815 оптическую активность открыл Ж. Био у скипидара).

● Вышел в свет двухтомный «Курс механики» С. Пуассона.

● Открыт йод (Б. Куртуа), 1812. Ж. Берар открыл двойное преломление тепловых лучей.

1813. Ф. Деларош и Ж. Берар выполнили первые точные измерения удельных теплоемкостей газов.

1814—1815. И. Фраунгофером обнаружены в солнечном спектре темные линии поглощения (фраунгоферовы линии). Эти линии наблюдал еще в 1802 У. Волластон, однако неверно их интерпретировал.

И. Фраунгофер



1814. И. Берцелиус опубликовал таблицу атомных весов 41 химического элемента, взяв за основу атомный вес кислорода и введя обозначения элементов (химическую символику, применяемую и сейчас).

1815. Ж. Био установлен закон

вращения плоскости поляризации света:

$$\varphi = [\alpha] d c \quad (\text{закон Био}),$$

где φ — угол поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света, проходящего через слой вещества толщиной d ; $[\alpha]$ — постоянная вращения; c — концентрация вещества. Открытие им существования правовращательных и левовращательных веществ.

Ж. Био



Призмный спектральный аппарат Фраунгофера

● Д. Брюстер установил связь между показателем преломления n и углом падения света α_B , при котором отраженный от поверхности свет полностью поляризован:

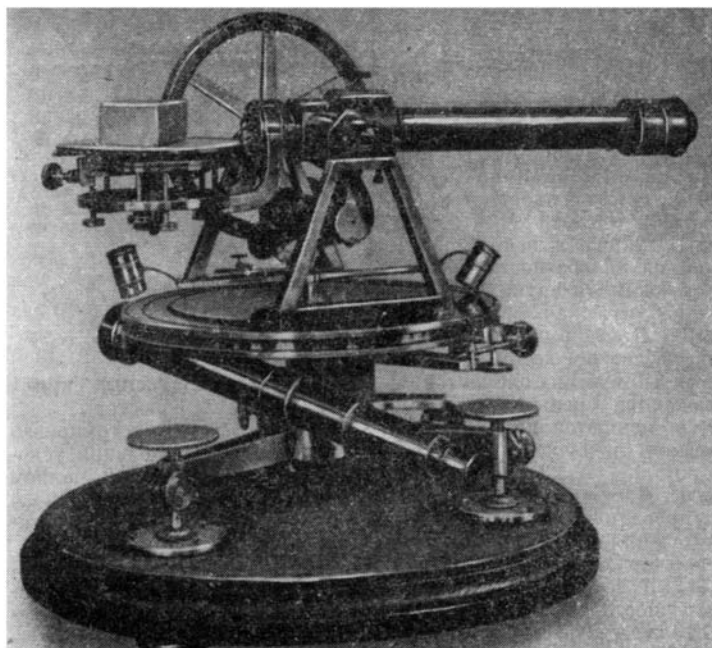
$$\operatorname{tg} \alpha_B = n$$

(закон Брюстера).

Д. Брюстер



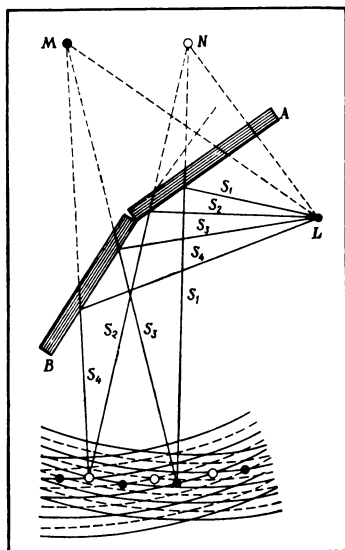
● О. Френель переоткрыл принцип Гюйгенса и дополнил его (1816) представлением о когерентности элементарных волн и их интерференции



(принцип Гюйгенса — Френеля).

1816. О. Френель осуществил опыт с двумя зеркалами (зеркала Френеля) для получения интерференции света.

Схема опыта с зеркалами Френеля



● О. Френель и Д. Араго обнаружили, что лучи, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях, не интерферируют.

● П. Лаплас вывел с поправкой на адиабатность формулу для скорости звука в воздухе (адиабатическая формула).

● У. Прютт выдвинул гипотезу, согласно которой атомы всех химических элементов выражаются целыми числами, т. е. являются комбинациями атомов водорода (гипотеза Прюта).

● П. Дюлонг и А. Пти сконструировали калориметр для определения коэффициента теплового расширения жидкостей.

1817. Т. Юнг предположил поперечность световых лучей (в 1819 это сделал также О. Френель). Впервые идею о попе-

речности световых волн высказал в 1672 Р. Гук.

● Создан биметаллический термометр (А. Бреге).

● Открыт литий (Й. Арфведсон).

● Открыт кадмий (Ф. Штрёмейер).

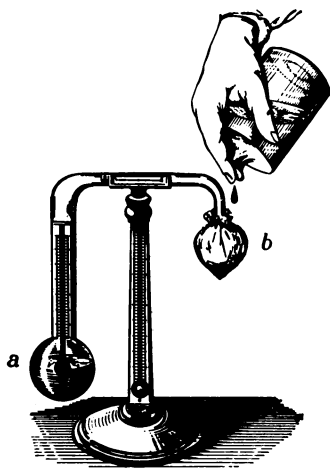
1818. Создание О. Френелем теории дифракции света в форме построения зон (зоны Френеля).

● О. Френель положил начало оптике движущихся тел.

● О. Френель выдвинул идею эфира, слабо связанного с телами, построив теорию «эфирного ветра».

● Дж. Даниель построил гигрометр (гигрометр Даниеля).

Гигрометр Даниеля



● Открытие двуосных кристаллов (Д. Брюстер).

● Г. Катер сконструировал прибор для определения ускорения силы тяжести в данном месте (оборотный маятник).

● Открыт селен (Й. Берцелиус).

1819. Проведение О. Френелем опыта с бипризмой (бипризма Френеля) для получения интерференции света.

● Вышел в свет труд О. Френе-

ля «Мемуар о дифракции света».

● П. Дюлонг и А. Пти установили, что произведение удельной теплоемкости и атомного веса для простых веществ есть величина постоянная (закон Дюлонга и Пти).

П. Дюлонг



● Н. Клемаи и Ш. Дезорм впервые экспериментально определили отношение удельных теплоемкостей при постоянном давлении и объеме (c_p/c_v).

● Открыто явление изоморфизма (Й. Берцелиус, Э. Митчерлих).

1820. Х. Эрстедом открыто магнитное действие тока (предположение о «влиянии электрических сил на магнит» он высказал в 1812), чем положено начало электромагнетизму.

● А. Ампер открыл взаимодей-

ствие электрических токов и установил закон этого взаимодействия (закон Ампера).

● А. Ампер ввел термин «электрический ток».

● А. Ампер установил правило, определяющее зависимость между направлением электри-

Х. Эрстед



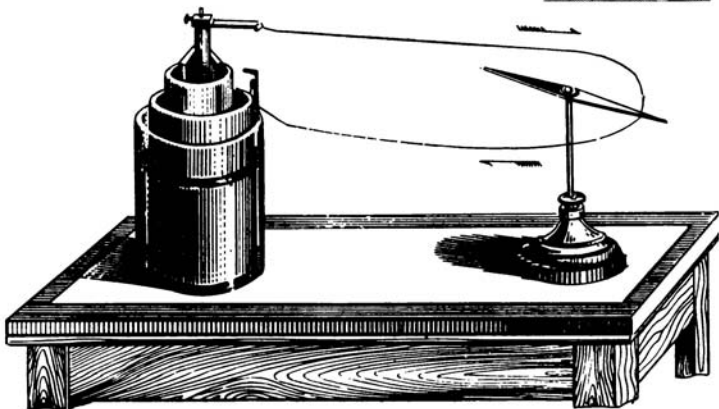
ческого тока и направлением магнитного поля, создаваемого этим током (правило Ампера).

● А. Ампер высказал гипотезу молекулярных токов, положив в ее основу теорему эквивалентности токов и магнитов (теорема Ампера).

А. Ампер



*Схема опыта Эрстеда
по отклонению магнитной
стрелки током*



● Ж. Био и Ф. Савар открыли закон, определяющий напряженность магнитного поля прямого тока:

$$\Delta H = k \frac{I \Delta l \sin \alpha}{r^2}$$

(закон Био—Савара),

где ΔH — напряженность магнитного поля тока в точке; I — сила тока, протекающего по проводнику; Δl — малый элемент проводника; r — расстояние от Δl до точки, где рассматривается напряженность; α — угол между направлением тока в элементе проводника Δl и радиусом-вектором, проведенным от Δl к точке; k — коэффициент пропорциональности. Обобщен П. Лапласом.

● Д. Араго обнаружил намагничивание железных опилок электрическим током (намагничивание железа и стали вблизи проводника с током наблюдал также Т. Зеебек).

● Изобретен гальванометр

Прибор Ампера для доказательства существования взаимодействия токов

(И. Швейггер). Представлял собой прибор, в котором подвешенная магнитная стрелка помещалась внутри катушки из медной проволоки с шелковой обмоткой (мультипликатор Швейггера). Давал возможность фиксировать магнитное действие слабых токов.

● П. Барлоу построил первую модель электромотора (колесо Барлоу).

● А. Ампер высказал идею использования электромагнитных явлений для передачи сигналов.

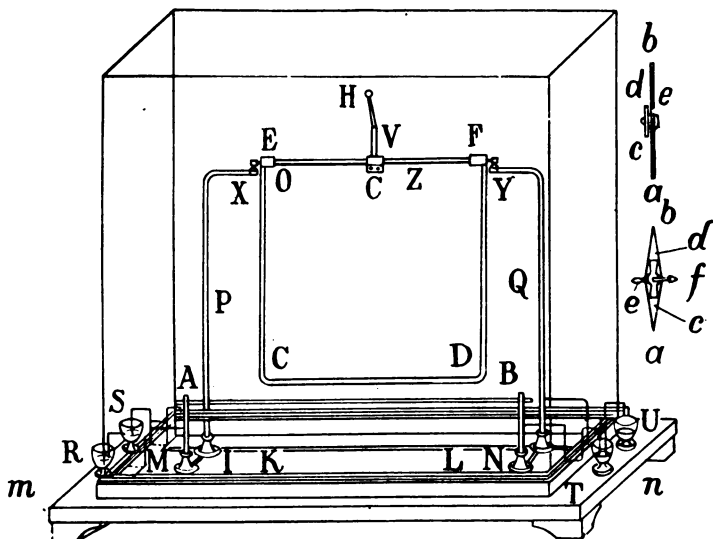
1821. Установлена зависимость сопротивления проводника от его длины и поперечного сечения (Г. Дэви).

● М. Фарадей получил вращение проводника с током в магнитном поле.

● Т. Зеебек открыл термоэлектричество (эффект Зеебека).

● Х. Эрстед впервые высказал мысль о том, что свет представляет собой электромагнитное явление.

● П. Лаплас установил закон изменения давления воздуха с



высотой, учитывающий влияние влажности и изменение ускорения свободного падения (барометрическая формула):

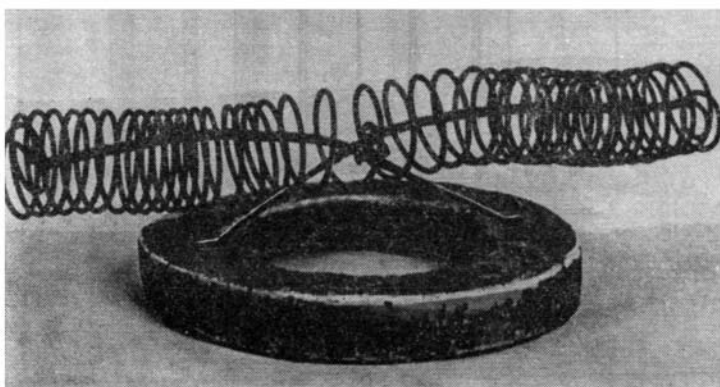
$$p_h = p_0 e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}}$$

где p_h и p_0 — атмосферное давление соответственно на высоте h над Землей и у ее поверхности; g — ускорение свободного падения; ρ_0 — плотность воздуха у поверхности Земли. Впервые зависимость атмосферного давления от высоты рассмотрел (1686) Э. Галлей (без учета изменения температуры).

● Л. Навье предложил феноменологическую молекулярную модель среды и вывел уравнения теории упругости изотропного тела. В 1822 О. Коши создал математический аппарат механики сплошной среды, а в 1828 Коши и 1829 С. Пуассон обобщили уравнения теории упругости на случай анизотропного тела. В результате трудами Навье, Коши и Пуассона в 20-х годах были заложены основы теории упругости.

● Д. Араго и Ж. Био определили величину ускорения свободного падения $9,80896 \text{ м/с}^2$.

Первый соленоид



1821—1822. Й. Фраунгофер получил дифракцию света от дифракционной решетки (дифракция Фраунгофера). Первую подробную теорию дифракции разработал в 1835 М. Шверд. Это дало возможность измерять длину световой волны с точностью до 10^{-7} и положило начало спектроскопии.

1822. А. Ампер построил соленоид.

● А. Гумбольдт и Д. Араго измерили скорость звука в воздухе, получив величину $331,2 \text{ м/с}$ (в 1825 для нее было получено значение $332,77 \text{ м/с}$).

● Вышла в свет «Аналитическая теория теплоты» Ж. Фурье.

Ж. Фурье



● Л. Навье впервые вывел уравнения движения несжимаемой вязкой жидкости. Обобщены в 1829 С. Пуассоном, который, в частности, построил систему уравнений движения сжимаемой вязкой жидкости с

учетом теплопередачи. В 1845 математическую теорию движения вязкой жидкости разработал Дж. Стокс (отсюда и название уравнения Навье — Стокса), завершив построение гидродинамики вязкой жидкости.

● Х. Эрстед изобрел пьезометр.

1823. О. Френель установил законы преломления и отражения света на плоской неподвижной поверхности раздела двух сред (формулы Френеля).

● С. Пуассон вывел уравнение адиабаты:

$$pV^K = \text{const}$$

(уравнение Пуассона),

где $K = c_p/c_v$ — коэффициент Пуассона.

● Открыт кремний (Й. Берцелиус).

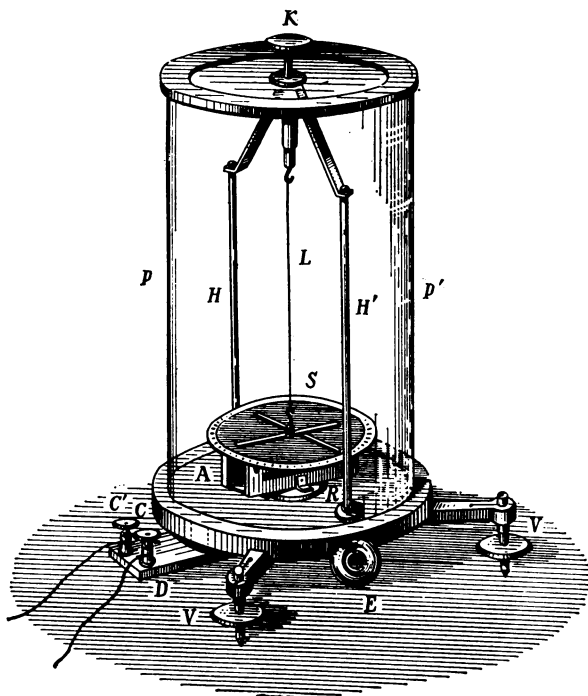
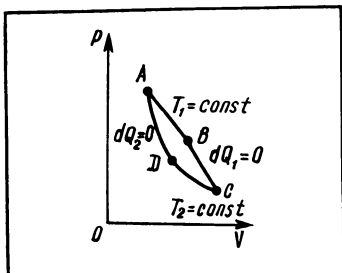
Гальванометр Нобили

1824. Открыто действие вращающейся металлической пластинки на магнитную стрелку — магнетизм вращения (Д. Араго).

● С. Пуассон применил теорию потенциала к магнитостатике и развил математическую теорию магнитной индукции, впервые дав выражение для магнитного потенциала.

● Вышел в свет труд Н. Карно

Цикл Карно



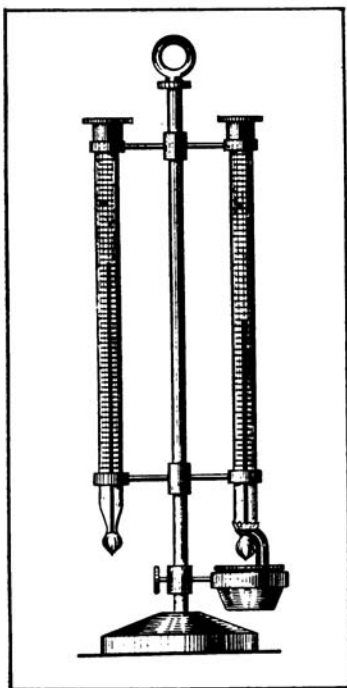
«Рассуждения о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу», в котором приведена формулировка второго начала термодинамики, рассматриваются обратимый круговой процесс превращения теплоты в работу (цикл Карно) и теорема о коэффициенте полезного действия тепловых двигателей (теорема Карно).

● Л. Зеебер предположил, что пространственная решетка кристалла образована атомами. 1825. Л. Нобили построил первый чувствительный гальванометр, соединив астатическую систему Ампера с мультипликатором Швейггера.

● Создание У. Стерджемом электромагнита. В 1828 Дж. Генри сконструировал электромагнита значительной силы.

● Обнаружено, что магнитные

Психрометр Августа



свойства мягкого железа ухудшаются при нагревании (А. Купфер).

● Открыта анизотропия кристаллов (Э. Митчерлих).

● Вышел в свет труд братьев Э. и В. Веберов «Учение о волнах, основанное на опыте».

● Э. Август изобрел психрометр (психрометр Августа).

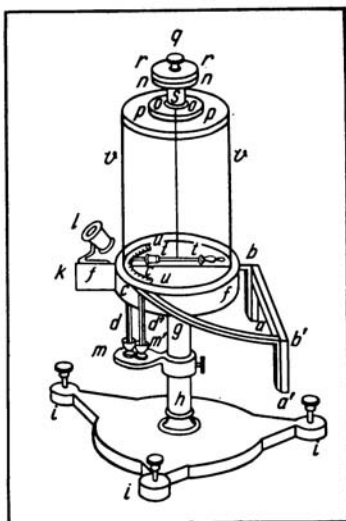
● Открыт бром (К. Левиг).

1826. Г. Ом экспериментально установил основной закон электрической цепи, связывающий силу тока I в цепи, ее сопротивление R и напряжение U : $I = U/R$ (закон Ома для участка цепи). В 1827 вывел его теоретически.

Г. Ом



Прибор, с помощью которого Г. Ом открыл свой закон



● А. С. Беккерель построил дифференциальный гальванометр.

● Опубликован труд А. Ампера «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта».

● И. Поггендорф предложил зеркальный отсчет с использованием зрительной трубы. Зеркальный гальванометр построил в 1846 В. Вебер.

● Ж. Гей-Люссак установил уравнение газового состояния, объединив свой закон с законом Бойля — Мариотта: $pV/T = \text{const}$, где p — давление данной массы идеального газа; V — его объем; T — абсолютная температура.

● Ф. Савар установил, что характер распространения звука в жидкостях такой же, как и в твердых телах.

● Ж. Понселе и независимо Г. Кориолис ввели понятие работы как произведение силы на путь, пройденный точкой ее приложения.

● Создание Н. И. Лобачевским новой геометрии, отличной от евклидовой (геометрия Лобачевского).

1827. Введены понятия электродвижущей силы, падения напряжения в цепи и проводимости (Г. Ом).

● Открытие Р. Броуном хаотического движения мелких частиц, взвешенных в растворе (броуновское движение).

● Ж. Колладон и Я. Штурм провели опыт на Женевском озере по определению скорости звука в воде, получив значение 1435 м/с.

● Б. Фурнерон изобрел реактивную турбину.

● Открыт алюминий (Ф. Велер).

1828. Вышел в свет труд Дж. Грина «Опыт применения математического анализа в теориях электричества и магнетизма», содержащий понятие потенциальной функции. Здесь же впервые употреблен термин

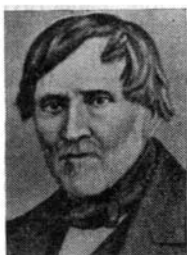
«потенциал». Фактически понятие потенциала использовали уже Л. Эйлер (1744), получивший в 1767 так называемое «уравнение Лапласа», к которому П. Лаплас пришел в 1786, Ж. Лагранж (1777) и С. Пуассон (1812).

● У. Николь изобрел поляризующую призму для получения линейно-поляризованного света, представляющую комбинацию двух призм из известкового шпата (призма Николя).

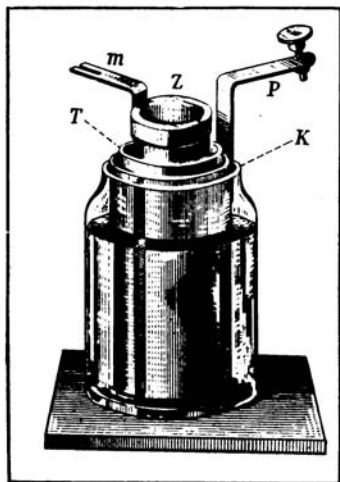
● У. Гамильтон теоретически предсказал явление конической рефракции, открытое экспериментально в 1832 Х. Ллойдом.

1829. А. С. Беккерель изобрел слабо поляризующийся гальванический элемент. В 1836 по-

А. С. Беккерель

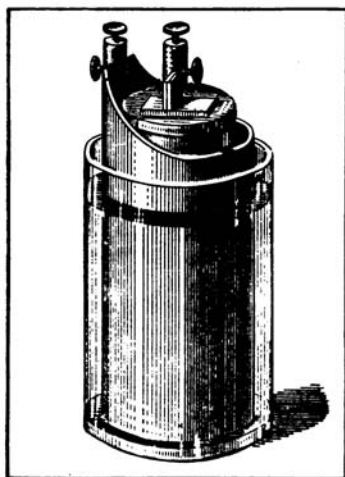


Гальванический элемент Даниэля



стоянный химический элемент с деполяризатором построил Дж. Даниель (элемент Даниеля), а в 1839 — У. Гроув (элемент Гроува).

Гальванический элемент Гроува



● Ж. Бабине предположил, что определенная длина волны света может быть эталоном длины.

● Г. Кориолис ввел понятие о дополнительном ускорении (ускорение Кориолиса), возникающем при сложном движении: $a_K = 2\omega_{\text{пер}} v_{\text{отн}} \sin \alpha$, где a_K — ускорение Кориолиса; $\omega_{\text{пер}}$ — угловая скорость поворота подвижной системы отсчета относительно неподвижной; $v_{\text{отн}}$ — скорость относительно движения; α — угол между $v_{\text{отн}}$ и $\omega_{\text{пер}}$.

● К. Гаусс сформулировал принцип наименьшего принуждения (действия), согласно которому для механической системы с идеальными связями из всех допускаемых связями движений при заданных начальных положениях и скоростях истинным будет то движение для которого «принуждение» (действие) в каждый мо-

мент времени наименьшее (принцип Гаусса). Является одним из вариационных принципов.

● Т. Грэхем показывает, что скорости диффузии различных газов неодинаковы.

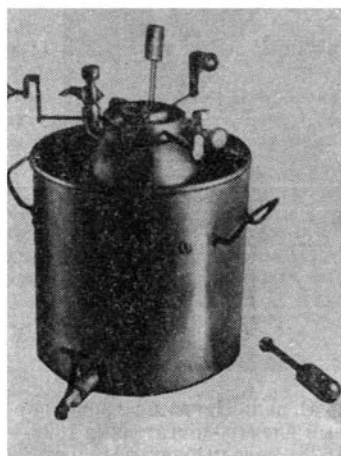
1830. Г. Ом выполнил первые измерения электродвижущей силы источника тока.

● Л. Нобили построил термопару.

● Л. Нобили сконструировал термомультипликатор.

● П. Дюлонг сконструировал водяной калориметр.

Калориметр Дюлонга



1830—1831. Ф. Савар установил пределы слышимости нормального уха человека: 24 000 Гц (верхний предел) и 14—16 (нижний).

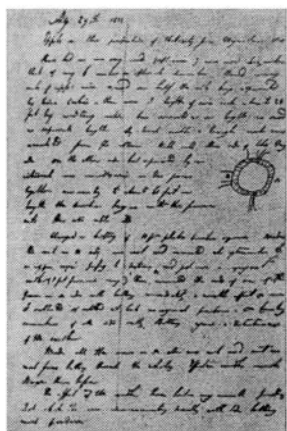
1831. Открытие М. Фарадеем электромагнитной индукции — явления возникновения электродвижущей силы в проводящем контуре при изменении магнитного потока через площадь, ограниченную этим контуром:

$\epsilon_i = -k \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$, где ϵ_i — ЭДС индукции; $\Delta \Phi$ — изменение магнитного потока за время Δt ; k — коэффициент

пропорциональности. Принцип индукции был известен также в 1831 Дж. Генри, но Фарадей первый опубликовал свое открытие.

Явление электромагнитной индукции лежит в основе работы генераторов и электродвигателей электрического тока, трансформаторов и др.

Автограф страницы рабочей тетради М. Фарадея с описанием электромагнитной индукции



● С. даль Негро построил первый электродвигатель (в 1827—1828 модели электродвигателя сконструировал А. Йедлик).

Дж. Генри

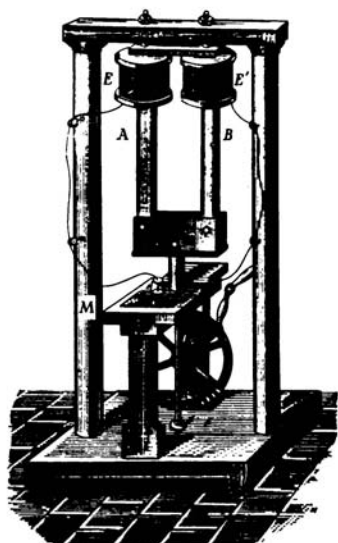


● Л. Нобили впервые получил искру от индукционных токов.

● Л. Нобили и М. Мелони провели исследование теплового спектра Солнца.

1832. И. Пикси построил первый генератор переменного тока, использующий принцип электромагнитной индукции.

Машина Пикси



● Дж. Генри открыл явление самоиндукции.

● Создание П. Л. Шиллингом клавишного телеграфного аппарата (в 1829 электромагнитный телеграф предложил А. Ампер).

● Открытие конической рефракции (Х. Ллойд). Предсказана У. Гамильтоном в 1828.

К. Гаусс



● К. Гаусс предложил абсолютную систему мер, в которой за единицу длины принял миллиметр, массы — миллиграмм, времени — секунду.

1833. Наблюдение интерференции тепловых лучей (К. Маттеучи).

● Э. Х. Ленц сформулировал правило для определения направления электродвижущей силы индукции (закон Ленца),

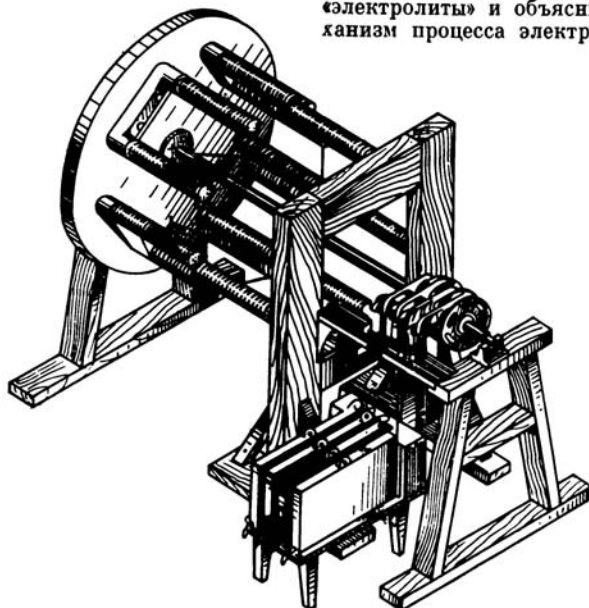
Э. Х. Ленц



● М. Фарадей заметил падение электрического сопротивления сернистого серебра с ростом температуры, что является признаком полупроводников.

● М. Меллони, соединив последовательно несколько термпар, построил термостолбик (вслед за Л. Нобили).

Электрический двигатель Якоби



● М. Фарадеем установлены законы электролиза.

● В. Вебер и К. Гаусс построили электромагнитный телеграф (в 1837 это сделали также Ч. Уитстон и У. Кук).

● М. Фарадей отметил, что некоторые кристаллы электризуются при деформации и расщеплении.

1834. Ж. Пельтье открыл явление выделения или поглощения тепла в местах спаев двух различных проводников при протекании через них тока (эффект Пельтье).

● Введение М. Фарадеем понятия о силовых линиях (идея поля). Теория силовых линий Фарадея — это теория поля в своей первоначальной форме.

● М. Фарадей постулировал существование ионов, экспериментальное доказательство их дал в 1853 И. Гитторф.

● М. Фарадей сконструировал вольтметр.

● М. Фарадей предложил термины «электрод», «анод», «катод», «анионы», «катионы», «электролиты» и объяснил механизм процесса электролиза.

● Б. С. Якоби построил один из первых практических электромоторов постоянного тока — электродвигатель с вращающимся рабочим валом.

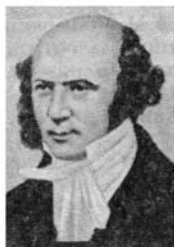
Б. С. Якоби



● Наблюдение поляризации теплового излучения (Дж. Форбс).

● У. Гамильтон установил аналогию между классической механикой и геометрической оптикой, придав уравнениям механики каноническую форму.

У. Гамильтон



● Ч. Уитстон предложил метод быстро вращающегося зеркала для определения скорости распространения электричества и получил значение, равное 460 000 км/с.

● Б. Клапейрон вывел уравнение состояния идеального газа:

$$pV = BT$$

(уравнение Клапейрона),

где p — давление газа; V — его объем; T — абсолютная температура; B — коэффициент пропорциональности, зависящий от массы газа. Обобщено в 1874 Д. И. Менделеевым.

● Б. Клапейрон получил уравнение для конденсирующегося пара, находящегося в тепловом равновесии с жидкостью, распространенное в 1850 Р. Клаузиусом на другие фазовые переходы (уравнение Клапейрона — Клаузиуса).

● Б. Клапейрон разработал теорию обратимого кругового процесса Карно.

1835. Разработка Г. Кориолисом теории относительного движения.

● М. Фарадей открыл экстра-токи при замыкании и размыкании цепи и определил их направление.

● Э. Х. Ленц экспериментально доказал уменьшение сопротивления металлов при охлаждении.

● М. Меллони предположил, что тепловые и световые лучи имеют одну природу и отличаются лишь длиной волны (подобную мысль высказал в 1807 и Т. Юнг).

● В. Вебер открыл упругое последствие в металлических стержнях и стеклянных нитях. 1836. К. Гаусс разрабатывает математическую теорию земного магнетизма.

1837. Обнаружена М. Фараде-ем поляризация диэлектриков. Он же высказал мысль о распространении электрического и магнитного действия через промежуточную среду (в 1758 поляризацию диэлектрика наблюдал И. Вильке).

● Э. Дэви изобрел электрическое реле.

● К. Пуйе построил тавгенс-буссоль для измерения силы тока.

● С. Морзе изобрел электро-магнитный телеграфный аппарат (аппарат Морзе), для которого в том же году разработал телеграфный код (код Морзе). В этом же году электромагнитный телеграф изобрели Ч. Уитстон и У. Кук. В 1850 буквопечатающий телеграфный аппарат построил Б. С. Якоби.

● К. Пуйе сконструировал пирометр для измерения высоких температур.

● П. Рис изобрел электрический воздушный термометр.

● Ч. Уитстон установил, что тембр звука определяется относительной интенсивностью обертонов.

1838. Изобретение гальванопластики (Б. С. Якоби).

● К. Пуйе измеряет с помощью построенного им пиргелиометра излучаемую Солнцем теплоту и вычисляет температуру Солнца в 5958 °С.

● Ч. Уитстон изобрел стереоскоп (с зеркалами). Стереоскоп с призмами построил в 1849 Д. Брюстер.

● Впервые измерено расстояние до звезды — 61 Лебедя (Ф. Бессель).

Схема аппарата Морзе

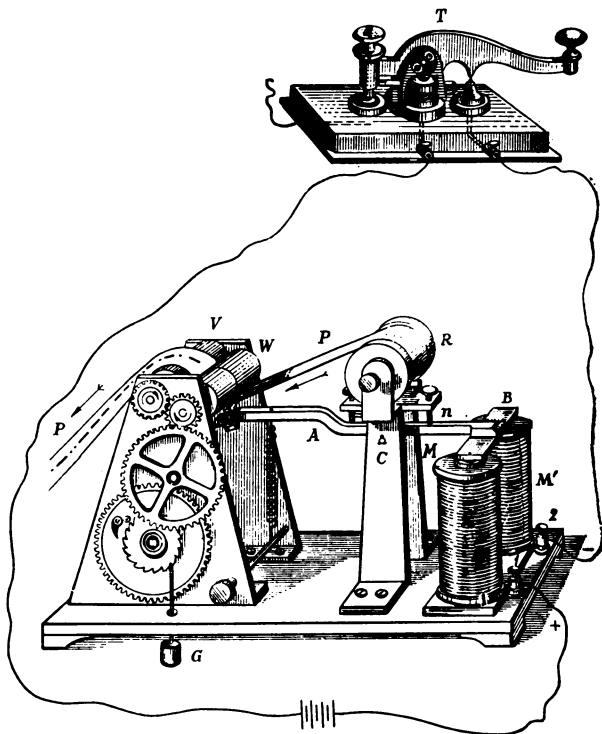
1839. К. Гаусс в сочинении «О силах, действующих обратно пропорционально квадрату расстояния» заложил основы теории потенциала. В частности, здесь содержится его теорема, связывающая величину потока N индукции электрического поля D через произвольную замкнутую поверхность с величиной заряда q , находящегося внутри этой поверхности:

$$N = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n q_i \text{ или}$$

$$\operatorname{div} D = 4\pi q = \rho \text{ (теорема}$$

Гаусса—Остроградского).

где D_n — составляющая вектора индукции, нормальная к участку поверхности dS ; ρ — объемная плотность заряда в



данной точке поля. В 1828 М. В. Остроградский дал формулу, связывающую интеграл по объему, ограниченному некоторой поверхностью, с интегралом, взятым по этой поверхности. Отсюда и название — «теорема Гаусса — Остроградского».

● М. Фарадей предсказал электреты как электростатические аналоги постоянного магнита (термин ввел в 1892 О. Хевисайд). Получены М. Эгучи в 1919 (названы впоследствии термоэлектретами). В 1938 Г. Наджаков открыл фотоэлектреты, а в 1958 Б. Гросс — радиоэлектреты.

● К. Пуйе с высокой точностью проверил закон Ома.

● У. Гамильтон ввел понятие групповой скорости, которое получило дальнейшее развитие в трудах Дж. Рэлея (долгое время этот факт приписывался Дж. Рэлею и Дж. Стоксу).

● Дж. Грин вывел основное уравнение теории упругости.

● Ж. Бабинье для преодоления астигматизма в спектроскопах применил для наблюдения спектра линзу коллиматора со щелью в ее фокальной плоскости и телескоп, придав тем самым спектроскопу современную форму.

● Изобретение фотографии (Л. Дагер). В разработку фотографического способа на раннем этапе внесли вклад также Ж. Ньепс и У. Тальбот.

1840. Ж. Пуазейль установил закон истечения жидкости через тонкую цилиндрическую трубку:

$$Q = k \frac{p - p_0}{l} d^4$$

(закон Пуазейля),

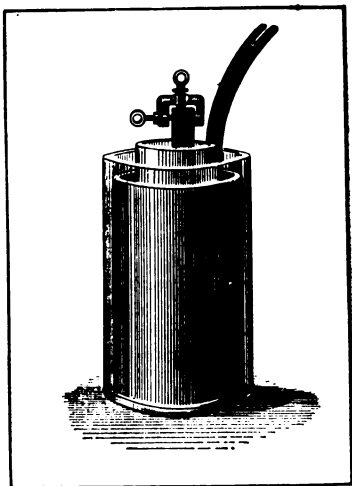
где Q — объем жидкости, протекающей через поперечное сечение трубки за секунду; p — давление в жидкости у входа в трубку; p_0 — давление на выходе из трубки; d — диаметр

трубки; l — ее длина; k — коэффициент пропорциональности. Как позднее установил Дж. Стокс, $k = \pi/128\mu$, где μ — коэффициент вязкости.

● Обнаружена противоЭДС в электрических машинах (Б. С. Якоби).

● Р. Бунзен построил угольно-цинковый гальванический элемент, обладавший наибольшей в то время ЭДС (около 1,7 В) (элемент Бунзена).

Гальванический элемент Бунзена



● Дж. Джоуль открыл явление магнитного насыщения.

● Дж. Гершель обнаружил фраунгоферовы линии в инфракрасной области спектра.

● Разработка теории построения изображений в сложных оптических системах (К. Гаусс).

● Изобретение полярископа (Ф. Савар).

1841. Дж. Джоуль открыл закон теплового действия тока, установленный в 1842 также Э. Х. Ленцем:

$$Q = \alpha I^2 R t$$

(закон Джоуля — Ленца), где I — ток; R — сопротивление проводника; t — время;

α — коэффициент пропорциональности.

● М. Меллони показал, что тепловые лучи отражаются и преломляются и в зависимости от отражающей поверхности отражение может быть правильным (зеркальным) или диффузным (рассеивающим).

1842. Открытие Ю. Майером закона сохранения энергии и определение механического эквивалента теплоты (независимо от него к открытию этого закона также пришли в 1843 Дж. Джоуль и в 1847 Г. Гирн и Г. Гельмгольц; последний расширил границы применения этого закона, взяв для рассмотрения не только механическую и тепловую энергию, но и другие виды энергии).

● К. Доплер установил влияние относительного движения на высоту звука (эффект Доплера). В 1848 А. Физо распространил этот принцип на опти-

ческие явления (эффект Доплера — Физо).

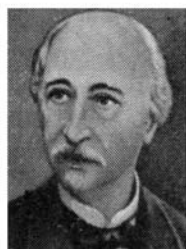
● Установлен колебательный характер разряда конденсатора (Дж. Генри). В 1847 колебательный характер разряда лейденской банки отмечал и Г. Гельмгольц.

● И. Поггендорф сконструировал реохорд.

● Дж. Джоуль открыл магнитострикционный эффект, обнаружив изменение формы железа при намагничивании. В 1882 У. Барретт наблюдал изменение объема образца при намагничивании.

● А. Э. Беккерель получил первую удачную фотографию солнечного спектра.

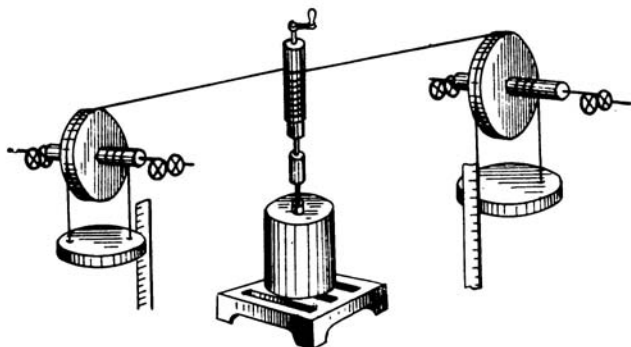
А. Э. Беккерель



К. Доплер



Схема опыта Джоуля по определению механического эквивалента теплоты

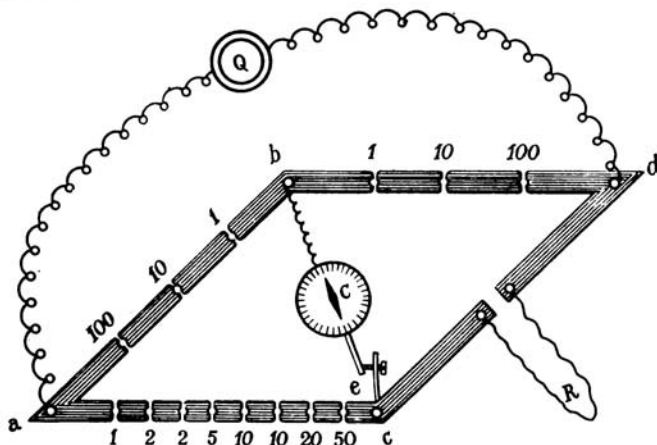


1843. Дж. Джоуль измерил механический эквивалент теплоты (460 кГм/ккал). В 1860—1861 Г. Гирн получил значение 425, а в 1880 Г. Роуланд — 427 кГм/ккал.

● М. Фарадей экспериментально доказал закон сохранения электрического заряда.

● Ч. Уитстон изобрел способ измерения сопротивления (мостик Уитстона).

Мостик Уитстона



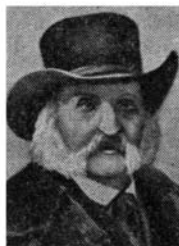
1844. Создан барометр-анероид (Л. Види). Идею его высказал в 1702 Г. Лейбниц.

1845. Разработана первая математическая теория электро-

● Ж. Абрия впервые наблюдал стоячие страты (ионизационные волны). В 1876 движущие страты описал А. Вюльнер.

● Ж. Плато осуществил опыт, доказывающий действие сил поверхностного натяжения на форму поверхности жидкости (опыт Плато).

Ф. Нейман



магнитной индукции и установлен закон электромагнитной индукции для замкнутых проводников (Ф. Нейман).

● В. Вебер разработал теорию электромагнитных явлений, установив закон взаимодействия двух движущихся зарядов.

В. Вебер



● Установлен акустический закон Ома.

● Открыты А. Э. Беккерелем фотографический эффект и фосфоресценция под действием инфракрасного излучения.

● А. Э. Беккерель открыл фраунгоферовые линии в ультрафиолетовой части спектра.

● Р. Бунзен изобретает фотометр (фотометр Бунзена).

1845—1847. Г. Кирхгофом установлены закономерности в распределении электрического тока в разветвленных электрических цепях:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \text{ (первое правило)}$$

Кирхгофа, или правило узлов), где I_k — алгебраическая сумма

сил токов, сходящихся в любой точке разветвления проводников (узле); n — число проводников, сходящихся в узле;

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^n \varepsilon_k \quad (\text{второе правило Кирхгофа,}$$

или правило контуров).

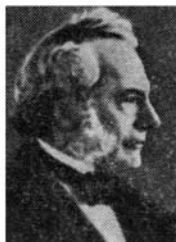
где R_k — сопротивление соответствующих участков контура; ε_k — алгебраическая сумма электродвижущих сил в контуре. Правила Кирхгофа дают возможность рассчитывать сложные электрические цепи. 1845. В. Ханкель установил возрастание электропроводности жидкостей с повышением температуры.

● Открытие М. Фарадеем диамагнетизма. Намного ранее А. Бругманс экспериментально установил (1778) притяжение парамагнетиков и отталкивание диамагнетиков (не вводя этих понятий), в 1827 диамагнетизм наблюдал также А. С. Беккерель.

● М. Фарадей открыл магнитное вращение плоскости поляризации света (эффект Фарадея).

● Дж. Стокс разработал теорию эфира, жестко связанного с телами.

Дж. Стокс



1845—1846. Дж. Стокс разработал теорию абберации.

1845. Х. Бейс-Баллот экспериментально обнаружил эффект Доплера для акустических волн.

● Дж. Джоуль установил независимость внутренней энергии идеального газа от объема (опыт Джоуля).

● Дж. Стокс построил теорию вязкости жидкостей и теорию движения вязкой несжимаемой жидкости (уравнения Навье — Стокса).

● Ж. Дюамель в своем «Курсе механики» предложил определять массу тела как отношение приложенной к телу силы к приобретенному им ускорению. 1846. М. Фарадей высказал идею об электромагнитной природе света.

● К. Кноблаух опытами по интерференции, дифракции и поляризации тепловых лучей показал, что они отличаются от световых только большей длиной волны.

● У. Гроув экспериментально доказал электролитическую диссоциацию воды.

● Разработка О. Моссоти теории диэлектриков, получившей дальнейшее развитие в работах Р. Клаузиуса (1879).

● А. Реньо производит классические исследования плотности газов, их теплового расширения и отступления от закона Бойля — Мариотта.

● И. Галле по расчетам У. Леверье открыл новую планету — Нептун, что было триумфом механики Ньютона (существование Нептуна в этом же году предсказал и Дж. Адамс).

● Созданы первые университетские физические лаборатории (У. Томсон, Ф. Жолли). 1847. Вышел в свет труд Г. Гельмгольца «О сохранении силы», в котором сформулирован закон сохранения энергии, показан его всеобщий характер.

● Дж. Герпатт предложил рассматривать частички газа как упругие шары, постоянно перемещающиеся с большой скоростью по отрезкам прямых и сталкивающиеся друг с другом (модель идеального газа).

Исходя из этого он объяснил газовые законы, явления диффузии и распространения звука в газах, давление газа. В 1856 подобную модель построил А. Крёниг.

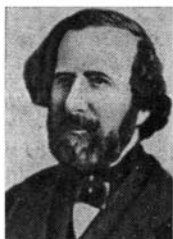
● М. Фарадей и Ю. Плюккер одновременно устанавливают магнитные свойства кислорода (все прочие газы, водяной пар и ртутный пар — диамагнитны).

● У. Сван изобрел коллиматор — зрительную трубу со щелью, чем достиг значительного улучшения наблюдения спектральных явлений.

● Ж. Солейль сконструировал сахариметр.

1848. А. Физо распространил принцип Доплера на оптику (эффект Доплера — Физо).

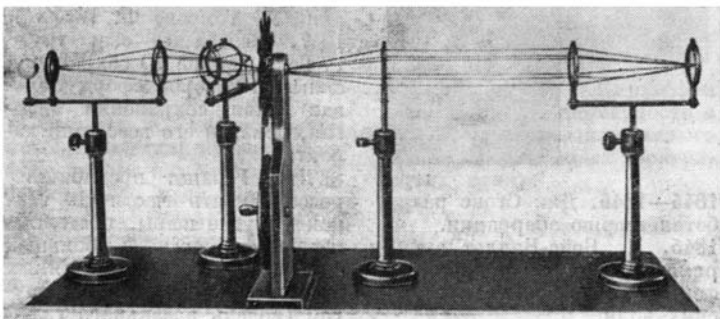
А. Физо



● Введение У. Томсоном понятия абсолютной температуры и абсолютной шкалы температур (шкала Кельвина).

● Возникновение идеи сверх-

Определение скорости света методом Физо



легкой частицы (В. Вебер). В 1879 идею заряженной микрочастицы (электрона) выдвинули также независимо У. Крукс и Х. Лоренц.

● Дж. Джоуль вычислил скорость движения молекул газа (водорода) (опубликовал в 1851).

● В. Вебер построил электродинамометр.

1849. А. Физо выполнил первое измерение скорости света в лабораторных условиях при помощи метода зубчатого колеса, получив значение 313274,3 км/с.

1849—1850. У. Ранкин и Р. Клаузиус получили общие

У. Ранкин



соотношения между теплотой и механической работой:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A$$

(первое начало термодинамики),

где ΔQ — подведенная к системе тепловая энергия; ΔA — совершенная системой работа; U — внутренняя энергия системы.

1850. Р. Клаузиус сформулировал второе начало термодинамики (в 1851 свою формулировку второго начала предложил У. Томсон).

● Р. Клаузиус независимо от У. Ранкина разработал идеальный термодинамический цикл паровой машины (цикл Ранкина — Клаузиуса).

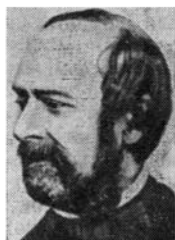
● Введение понятия внутренней энергии (Р. Клаузиус).

● Дж. Джоуль в работе «О механическом эквиваленте теплоты» дает сводку своих исследований, начиная с 1842, доказывающих, что выделяемая при трении тел теплота пропорциональна работе и что механический эквивалент теплоты равен 424 кгм/ккал.

● Г. Гирн определяет механический эквивалент теплоты, измеряя механическую работу паровых машин и нагревание сплюснутого ударом свинца.

● Измерение скорости света в воздухе и воде при помощи вращающегося зеркала (Л. Фуко). Скорость света в воде, по данным Фуко, составляла 3/4 от скорости света в воздухе.

Л. Фуко



● Р. Бунзен изобрел газовую горелку, служившую источником света в ранних исследованиях по спектральному анализу (горелка Бунзена).

● О. Браве предположил, что атомы в кристаллах упорядочены в кристаллическую решетку (теория Браве).

● Создан первый физический институт (К. Доплер).

1851. А. Физо обнаружил влия-

ние движения среды на скорость распространения света в ней, измерив скорость световых лучей, прошедших в разных направлениях через текущую воду (опыт Физо).

● А. Э. Беккерель открыл фотогальванический эффект — изменение ЭДС гальванического элемента под действием света (эффект Беккереля).

● Дж. Стокс установил закон, определяющий силу сопротивления, испытываемую твердым шаром при его медленном поступательном движении в вязкой жидкости:

$$F_{\text{тр}} = 6\pi\eta r v$$

(закон Стокса).

Здесь $F_{\text{тр}}$ — сила трения в жидкости; v — скорость шара относительно жидкости; r — радиус шара; η — динамическая вязкость.

● Л. Фуко при помощи маятника экспериментально доказал вращение Земли вокруг оси (опыт Фуко).

● Г. Румкорф построил индукционную катушку (катушка Румкорфа). В 1836 индукционную катушку изобрел Н. Каллан, а в 1838 Ч. Пейдж, однако об их работах долго ничего не знали.

● У. Томсон открыл изменение удельного сопротивления ферромагнетиков при намагничивании (эффект Томсона).

● У. Томсон высказал мысль, что температура тела пропорциональна энергии молекулярного движения составляющих его мельчайших частиц и при температуре -273° (температуре абсолютного нуля) это движение прекращается.

● Открыто явление рассеяния света малыми частицами вещества (Э. Брюке). В дальнейшем известно как эффект Тиндаля.

1852. М. Фарадей отчетливо сформулировал концепцию

поля (понятие поля ввел в 30-х гг.).

● Установлен Дж. Стоксом факт, что длина волны света люминесценции больше длины волны возбуждающего света (правило Стокса).

● Г. Магнус открыл явление возникновения поперечной силы, действующей на вращающееся тело в набегающем на него потоке жидкости или газа (эффект Магнуса).

Г. Магнус



● Усовершенствован гироскоп (Л. Фуко). Изобретен в 1765 Боненбергером.

● Введен термин «калория» (П. Фавр, И. Зильберман).

● У. Томсон выдвинул ошибочную гипотезу тепловой смерти Вселенной, поддержанную Р. Клаузиусом.

1853. Установлена Г. Видеманом и Р. Францем температурная зависимость отношения теплопроводности металлов к их электропроводности

$$\kappa/\sigma = cT$$

(закон Видемана—Франца),

где κ — теплопроводность; σ — электропроводность; c — константа, одинаковая для всех металлов.

● У. Томсон развил теорию электрических колебаний в электрическом контуре, состоящем из конденсатора и катушки, и вывел формулу для периода собственных колебаний T в зависимости от емкости C и индуктивности L :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$

(формула Томсона).

● Создана термодинамическая теория термоэлектричества (Р. Клаузиус).

● А. Ангстрем установил, что источником некоторых линий в спектре электрической искры является металл электродов, а других — газ.

1853—1854. Дж. Джоуль и У. Томсон открыли явление охлаждения газа при его медленном стационарном адиабатическом протекании через пористую перегородку (эффект Джоуля — Томсона).

1853. И. Гитторф установил движение ионов в электролитах.

1854. Р. Клаузиус дал математическое выражение второго начала термодинамики для обратимых процессов (в 1862 он это сделал и для необратимых процессов).

● В. Вебер разработал теорию магнитных диполей.

● Опубликована книга Г. Гирна «Механическая теория тепла».

● Г. Риман создал геометрию, отличную от евклидовой (риманова геометрия).

1855. А. Фик установил элементарный закон диффузии (для соляных растворов).

● Ж. Лиссажу разработал оптический метод наблюдения сложения колебаний (фигуры Лиссажу).

● Разработан способ уменьшения индукционных токов в сплошных телах (токов Фуко) путем деления последних на части (Л. Фуко).

● У. Томсон сконструировал квадрантный электрометр.

1856. У. Томсоном открыт эффект выделения (поглощения) тепла в объеме проводника, по которому течет ток, при условии, что по длине проводника поддерживается перепад температур (эффект Томсона).

● Р. Клаузиус дал формулу для коэффициента полезного действия η паровой машины через температуру нагревателя

T_1 и холодильника T_2 : $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$ (это сделали также У. Ранкин и У. Томсон).

● В. Вебер и Р. Кольрауш определили отношение электромагнитных и электростатических единиц (скорость распространения электрического импульса) и обнаружили ее совпадение со скоростью света.

● У. Томсон установил связь между коэффициентами Пельтье и Томсона (первое обнаружение симметрии кинетических коэффициентов).

● Ж. Жамен построил интерференционный рефрактометр (интерферометр Жамена).

1857. Р. Клаузиусом разработаны основы кинетической теории газов. В ее создании принимали также участие Д. Бернулли (1738), Дж. Герепат (1847), Дж. Джоуль (1848), А. Крёниг (1856), Дж. Максвелл (1859—1860).

Фигуры Лиссажу

● Построен первый спектрометр (М. Мейерштейн).

● Сконструирован болометр (А. Сванберг).

● Г. Гейсслер изобрел ртутный вакуумный насос (насос Гейсслера).

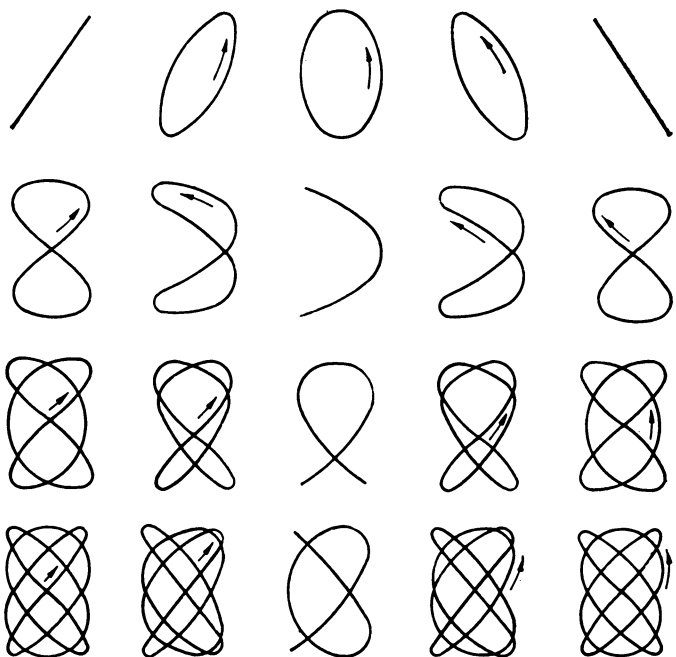
● У. Томсон обнаружил гальваномагнитный эффект — изменение электропроводности при намагничивании.

● Г. Кирхгоф построил общую теорию движения тока в проводниках.

1858. Г. Видеман открыл эффект закручивания ферромагнитного стержня с током при его намагничивании вдоль оси (эффект Видемана).

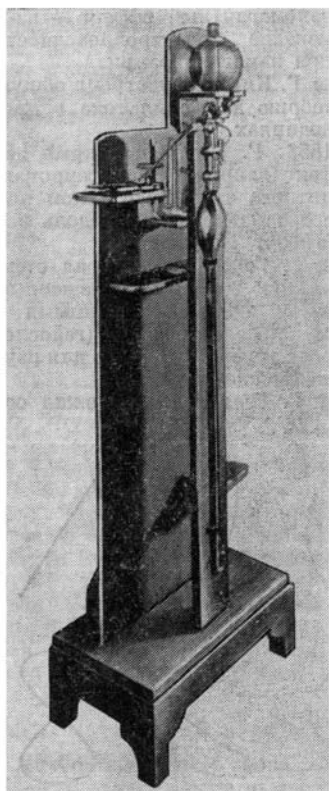
● Г. Гейсслер построил стеклянную трубку с разреженным газом и двумя впаянными в стекло электродами (гейсслерова трубка), удобную для изучения спектра газа.

● Г. Гельмгольц заложил ос-



новы теории вихревого движения жидкости.
1859. Открытие Г. Кирхгофом и Р. Бунзеном спектрального анализа.

*Ртутный воздушный насос
Гейсслера*



● Г. Кирхгоф установил один из основных законов теплового излучения, согласно которому отношение испускательной способности тела к поглощательной не зависит от природы излучающего тела:

$$\varepsilon(\lambda, T)/A(\lambda, T) = \varepsilon_0(\lambda, T)$$

(закон Кирхгофа).

Здесь $\varepsilon_0(\lambda, T)$ — испускательная способность абсолютно черного тела.

● Открытие Г. Кирхгофом явления обращения спектральных линий.

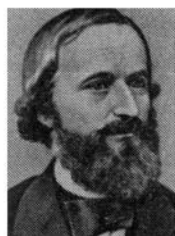
● Открыты катодные лучи (Ю. Плюккер). В 1869 их наблюдал также И. Гитторф и описал их свойства.

Р. Бунзен



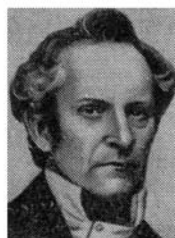
● Ю. Плюккер высказал мысль, что флюоресценция стекла в стеклянных вакуумных трубках вызвана катодными лучами.

Г. Кирхгоф



● Ю. Плюккер установил, что спектр электрического разряда в газе характеризует природу газа.

Ю. Плюккер

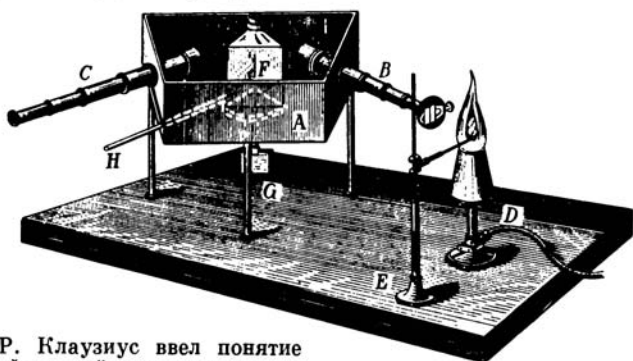


● А. Э. Беккерель изобрел фосфороскоп.

● Вышло «Руководство к паровым машинам». У. Ранкина — первый труд по технической термодинамике.

● Дж. Максвелл установил статистический закон распределения молекул газа по скоростям (распределение Максвелла). В 1866 он дал новый вывод функции распределения молекул по скоростям, основанный на рассмотрении прямых и обратных столкновений молекул.

Первый спектроскоп Кирхгофа



● Р. Клаузиус ввел понятие о сфере действия молекул и вычислил среднюю длину их свободного пробега.

● Создан фонограф (впервые идею записи звука высказал в 1830 В. Вебер).

● Введен нормальный камертон (435 Гц).

ВТОРОЙ ЭТАП

1860—1865. Создание Дж. Максвеллом теории электромагнитного поля. Законы электромагнитного поля Максвелл выразил в виде системы уравнений, являющихся фундаментальными уравнениями классической электродинамики и описывающих электромагнитные явления в произвольной среде. Они обобщили известные в то время эмпирические закономерности электрических и магнитных процессов на основе концепции поля Фарадея. Первые дифференциальные уравнения поля записаны им в 1855—1856. Тем са-

мым Максвелл перевел идеи Фарадея о поле на язык математики. Современную форму уравнениям Максвелла придали Г. Герц и О. Хевисайд. Теория Максвелла явилась первой калибровочной теорией с локальной симметрией.

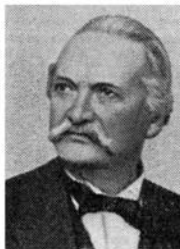
1860. Дж. Максвелл изучает взаимосвязи между коэффициентами преломления элект-

рических и световых волн в различных средах и их диэлектрической константой и устанавливает соотношение $\varepsilon = n^2$.

● Дж. Амичи предложил комбинированную призму, являющуюся основой спектроскопа прямого зрения (улучшена в 1865 Л. Резерфордом).

● Построен двигатель постоянного тока с коллектором (кольцевой электродвигатель) и

А. Пачинотти



показана возможность его преобразования в динамомашину (А. Пачинотти). Усовершенствован в 1869 З. Граммом. В 1873 Ф. Хейфнер-Альтевек

заменял кольцевой якорь барабанным, упростив конструкцию и увеличив мощность.

● Г. Планте изобрел свинцовый аккумулятор. Усовершенствован в 1881 К. Фором. Первую попытку создания вторичного элемента предпринял в 1803 И. Риттер (зарядный столб Риттера).

● Э. Сименс создал ртутный эталон сопротивления.

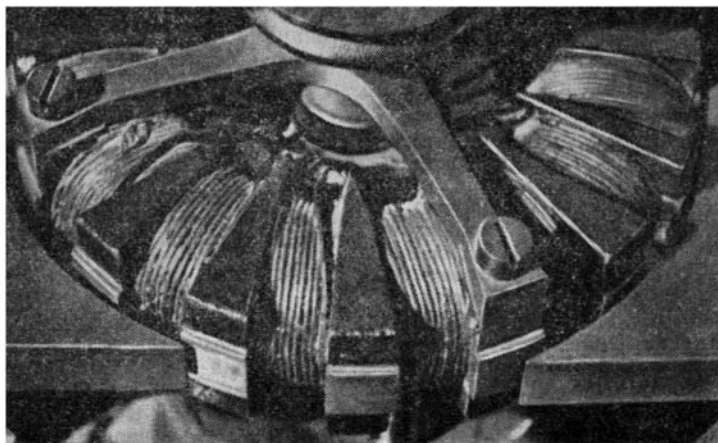
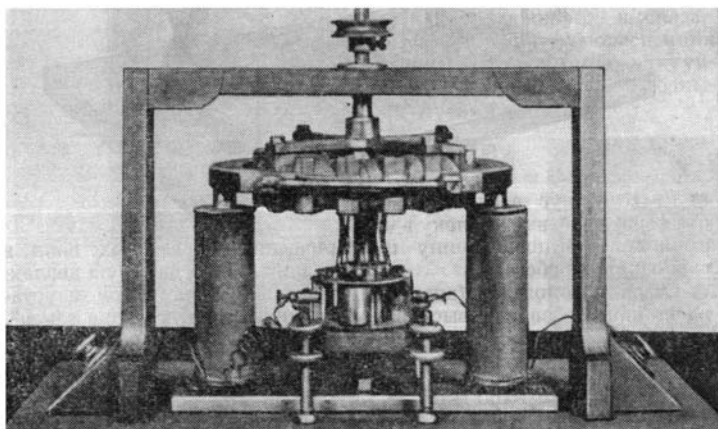
● Сконструирован первый практически пригодный газовый двигатель внутреннего

сгорания (Э. Ленуар). В 1867 Н. Отто совместно с Э. Лангеном разработал атмосферный двигатель, а в 1876 создал более совершенный четырехтактный двигатель внутреннего сгорания с КПД 22 %, в 1897 Р. Дизель предложил двигатель внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия.

● Г. Магнус высказал заключение о теплопроводности газов. Теплопроводность воздуха измеряет (1872) Й. Стефан.

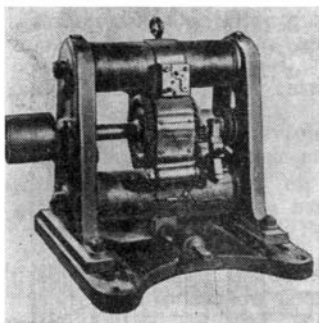
1861. Введение Дж. Максвеллом понятия о токе смещения.

Динамомашин Пачинотти

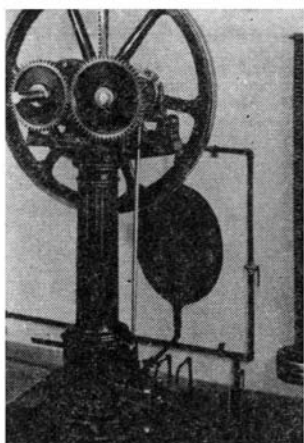


● Ю. Плюккер исследует спектры различных газов (водорода, кислорода, йода), состоящих из ярких линий, и азота, дающего спектр с полосами. Он же изучает световые явления в гейсслеровых трубках при действии магнитов.

Электрическая машина Грамма



Первый газовый двигатель
Отто и Лангена



● Т. Эндрюс открыл критическую температуру углекислого газа (критическое состояние наблюдал в 1822 Ш. Каньяр де Латур, существование критической температуры в 1860 предсказал Д. И. Менделеев).

1862. Открытие аномальной дисперсии света (Ф. Леру), ее наблюдали также в 1870 К. Кристиансен и в 1871 А. Кундт.

● Г. Кирхгоф выдвинул концепцию черного тела и дал его модель.

● А. Физо сконструировал интерференционный спектроскоп.

● Р. Клаузиусом установлено неравенство:

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$$

(неравенство Клаузиуса).

Здесь Q/T — приведенное количество теплоты.

1864. В статье «Динамическая теория электромагнитного поля» Дж. Максвелл дал общее определение электромагнитного поля.

1865. Дж. Максвелл постулировал существование электромагнитных волн.

● Дж. Максвелл выдвинул концепцию об электромагнитной природе света (идею электромагнитной природы света высказал в 1846 М. Фарадей). Электромагнитную теорию света в 1867 разработал также Л. Лоренц.

● Ю. Плюккер и И. Гитторф ввели деление спектров на полосатые и линейчатые.

● Р. Клаузиусом введено понятие энтропии и установлен принцип, согласно которому энтропия в замкнутой системе постоянна (обратимые процессы) или возрастает (необратимые процессы):

$$dS \geq dQ/T,$$

где S — энтропия; Q — количество теплоты; T — абсолютная температура.

● И. Лошмидт рассчитал диаметр молекулы воздуха ($1,18 \times 10^{-6}$ мм) и определил число молекул в 1 см³ газа при нормальных условиях ($2,1 \cdot 10^{19}$) (число Лошмидта).

● Э. Виллари открыл явление, обратное магнитострикции, — изменение намагниченности ферромагнетика при деформации (магнитоупругий эффект, или эффект Виллари).

● А. Тёплер построил вакуумный насос с ртутным поршнем (насос Тёплера). Усовершенствован Э. Хагеном.

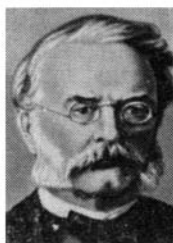
1866. Л. Больцман обобщил закон распределения молекул по скоростям Максвелла на более общий случай идеального газа, находящегося во внешнем поле (закон распределения Максвелла — Больцмана).

А. Кундт



● Дж. Максвелл развил теорию переноса в общем виде и применил ее к процессам диффузии, теплопроводности и внутреннего трения.

В. Сименс

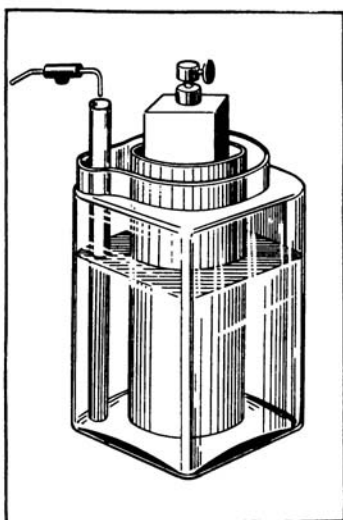


● Дж. Максвелл ввел понятие времени релаксации.

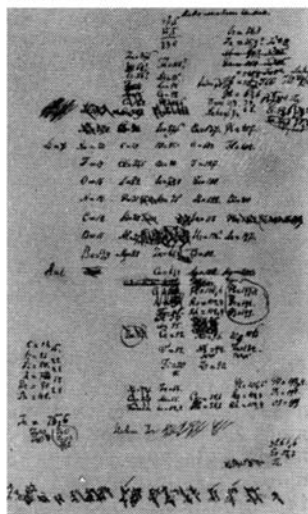
● А. Кундт разработал метод пылевых фигур для определения длины звуковой волны и скорости звука. В этом же году Г. Квинке изобрел прибор для измерения длины звуковых волн, основанный на использовании явления интерференции (трубка Квинке).

1867. Открыт принцип самовозбуждения электрических машин (Э. Сименс). Его установили также в 1838 Н. Каллан, в 1854 Хиорт, в 1858

Гальванический элемент Лекланше



Автограф раннего варианта периодической системы Д. И. Менделеева



А. Йедлик и в 1867 Ч. Уитстон.
 ● У. Хеггинс обнаружил эффект Доплера для света.
 ● Дж. Максвелл показал статистическую природу второго начала термодинамики («демон Максвелла»).

● Ф. Леру открыл тепловой эффект Томсона.
 1868. Ж. Лекланше сконструировал сухой цинко-угольный гальванический элемент с порошкообразным деполяризатором (элемент Лекланше).

● А. Кундт наблюдает спектр молнии.

● Измерение А. Ангстремом длин волн света. Он же ввел единицу, равную 10^{-8} см (1 ангстрем). Более точные измерения провел в 1883 Г. Роу-ланд.

1869. Открытие Д. И. Менделеевым периодического закона

*Страница из книги
 Д. И. Менделеева
 «Опыт системы элементов»*

химических элементов и создание им периодической системы элементов. Независимо периодическую систему установил также Л. Мейер.

● Создание Г. Гельмгольцем колебательного контура из индуктивности и емкости.

● Э. Сименс построил электрический пирометр.

● И. Гитторф переоткрыл катодные лучи и описал их свойства, в частности прямолинейность распространения и отклонение в магнитном поле.

● Дж. Тиндаль открыл рассеяние света малыми частицами (меньшими длины световой волны) при прохождении через оптически неоднородную среду (эффект Тиндаля). Проявлялось в «посинении» рассеянного белого света. Это явление наблюдал в 1851 Э. Брюке.

● Введение в термодинамику характеристической функции (Ф. Массье).

ОПЫТ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ, ОСНОВАННОЙ НА ИХ АТОМНОМ ВЕСЕ И ХИМИЧЕСКОМ СХОДСТВЕ

H = 1			Ti = 50	Zr = 90	? = 180,
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.
			Ni = Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199.
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.
			Zn = 65,2	Cd = 112	
			? = 68	Ur = 116	Au = 197?
			? = 70	Sn = 118	
Be = 9,4	Mg = 24		As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	B = 11		Se = 79,4	Te = 128?	
	C = 12		Br = 80	J = 127	
	N = 14		Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
	O = 16		Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
	F = 19		Ce = 92		
	Li = 7		La = 94		
	Na = 23		Di = 95		
			Th = 118?		
	Al = 27,4				
	Si = 28				
	P = 31				
	S = 32				
	Cl = 35,5				
	K = 39				
	Ca = 40				
	? = 45				
	? Er = 56				
	? Yt = 60				
	? In = 75,6				

Д. Менделеев.

Отдельное издание 1 марта 1869 г.

1870. Развитие Г. Гельмгольцем теории электродинамических процессов в проводящих неподвижных телах.

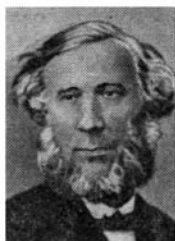
И. Гитторф



● Р. Клаузиус сформулировал теорему вириала.

1871. В. Вебер, используя свою идею сверхлегкой заряженной частицы, построил первую электронную модель атома, показав его планетарную структуру.

Дж. Тиндаль



● К. Варли предположил, что катодные лучи несут отрицательный электрический заряд.

● Дж. Рэлей установил зависимость интенсивности рассеянного света на независимых друг от друга диэлектрических частицах от длины волны:

$$I \sim 1/\lambda^4$$

(закон Рэлей).

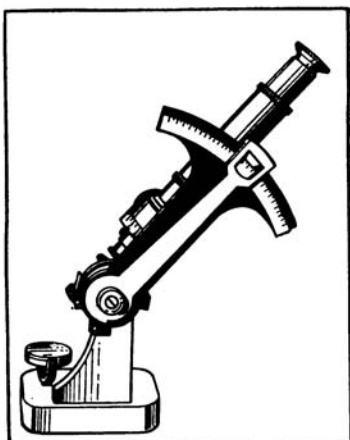
Теория рэлеевского рассеяния света просто объяснила эффект Тиндаля и голубой цвет неба.

● Э. Аббе konstruiрует рефрактометр для определения коэффициента преломления жидкостей (рефрактометр Аббе).

● Й. Стефан разработал теорию диффузии газов.

1872. Изобретение А. Н. Лодыгина электрической лампы накаливания. В 1879 Т. Эдисон создал лампу накаливания с угольной нитью достаточно долговечной конструкции и удобную для промышленного изготовления, получившую широкое распространение.

Рефрактометр Аббе



● У. Томсон изобрел электрический счетчик.

● Э. Аббе разработал теорию образования изображения в микроскопе.

А. Н. Лодыгин

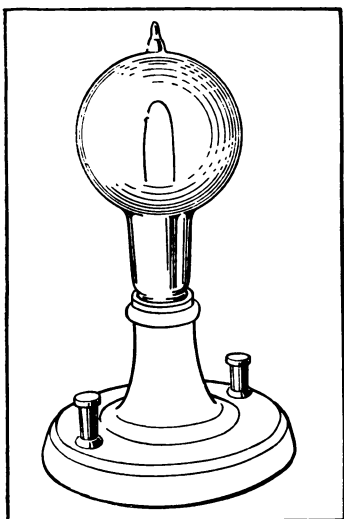


1872—1873. Дж. Локьер высказал идею количественного спектрального анализа, установив связь между концентрацией элемента и характером спектральных линий.

1872. Л. Больцман установил связь энтропии S физической

системы с вероятностью w ее состояния: $S = k \ln w$, где k — постоянная Больцмана.

Лампа Эдисона



● Л. Больцман сформулировал H -теорему, представляющую одно из основных положений физической кинетики, и доказал статистический характер второго начала термодинамики.

● Л. Больцман вывел основное кинетическое уравнение для идеального газа.

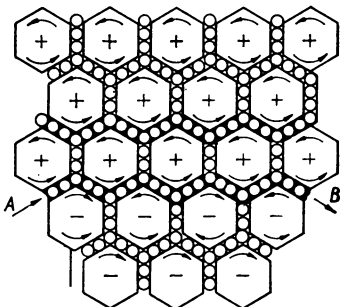
● К. Нейман предсказал явление термодиффузии, открытое в 1873 Б. Феддерсеном.

● Л. Дюфор открыл изменение температуры при диффузии газов через пористые перегородки — явление, обратное термодиффузии (эффект Дюфора). 1873. Дж. Максвелл теоретически определил величину давления света (идея светового давления была выдвинута И. Кеплером в 1619 и Л. Эйлером в 1748).

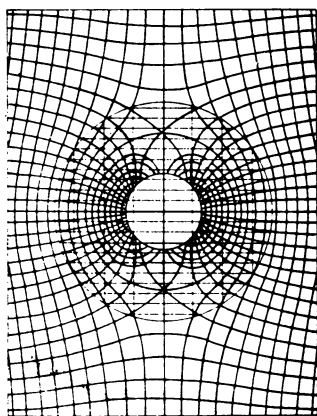
В 1876 А. Бартолл, а в 1884 Л. Больцман сделали это исходя из термодинамических соображений,

● Опубликован «Трактат об электричестве и магнетизме» Дж. Максвелла, в котором теория электрических и магнитных явлений изложена на основе представлений об электромагнитном поле.

Механическая модель электромагнитного поля (из «Трактата» Дж. Максвелла)



Картина силовых линий электромагнитного поля (из «Трактата» Дж. Максвелла)



● У. Крукс изобрел радиометр (радиометр Крукса).

● Открытие внутреннего фотоэффекта — изменения проводимости селена под влиянием освещения (Дж. Мэй). Описан в 1873 У. Смитом.

● Открытие оптической сенсibilизации (Г. Фогель).

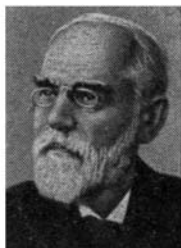
● Й. Ван дер Ваальс вывел уравнение состояния реального газа:

$$(p + a/V^2)(V - b) = RT$$

(уравнение Ван дер Ваальса),

где a и b — постоянные.

Й. Ван дер
Ваальс



● Б. Феддерсен открыл термодиффузию, предсказанную в 1872 К. Нейманом.

● Вышла в свет работа Дж. Гиббса «Графические методы в термодинамике», положившая начало геометрической термодинамике.

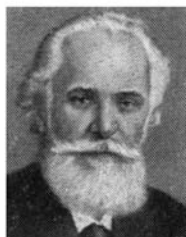
1873—1878. Дж. Гиббс заложил основы химической термодинамики, в частности разработал общую теорию термодинамического равновесия и метод термодинамических потенциалов, сформулировал правило фаз, построил общую теорию поверхностных явлений и др. 1873. Начало систематического изучения магнитных свойств ферромагнетиков и получение первой кривой магнитной проницаемости ферромагнетика (А. Г. Столетов).

1874. Введение Н. А. Умовым понятия о скорости и направлении движения энергии и потоке энергии. Применительно к электромагнитной энергии это сделал в 1884 Дж. Пойнтинг. Отсюда название «вектор Умова — Пойнтинга».

● Дж. Стоней высказал мысль о дискретности электричества и впервые дал количественную оценку минимального электрического заряда, получив величину $\sim 10^{-20}$ Кл, что пример-

но в 15 раз меньше значения, принятого ныне (опубликовал в 1881), в 1891 он предложил для постулированного элементарного электрического заряда название «электрон». Идеи об атомизме электричества высказывали Б. Франклин (1749), И. Риттер (1801), М. Фарадей (1833), В. Вебер (1845, 1871), Дж. Максвелл (1873), Г. Гельмгольц (1881) и др.

Н. А. Умов



● Обнаружена односторонняя проводимость у кристаллов некоторых сульфидов — серного цинка, перекиси свинца, карборунда и др. (К. Браун). Одностороннюю проводимость наблюдал в 1835 еще П. Мунк.

● Разработка Г. Гельмгольцем теории аномальной дисперсии света. В 1876 аналогичную теорию построил Э. Кеттелер. Отсюда название «теория Гельмгольца — Кеттелера».

● Д. И. Менделеев, обобщив уравнение Клапейрона, вывел уравнение состояния идеального газа:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

(уравнение

Менделеева—Клапейрона),

где p — давление данной массы m газа; V — ее объем; T — абсолютная температура; R — универсальная газовая постоянная; μ — молекулярный вес газа.

● Г. Маклеод изобрел манометр для измерения низких давлений (манометр Маклеода).

1875. Открытие Дж. Керром явления возникновения двойного лучепреломления в оптически изотропных веществах, помещенных в однородное электрическое поле (электрооптический эффект Керра).

● Г. Липпман вывел основное уравнение теории электрокапиллярности.

● Изобретен капиллярный электрометр (Г. Липпман).

● Дж. Гиббс устанавливает правило фаз.

● Дж. Эверетт предложил новую абсолютную систему единиц, в которой основными были сантиметр, грамм, секунда (СГС-система).

1876. Дж. Керром открыт магнитооптический эффект.

● Г. Роуланом обнаружено магнитное поле конвекционных токов (опыт Роуланда).

Г. Роуланд



● Э. Гольдштейн указал на отклонение катодных лучей в электрическом поле.

● Э. Гольдштейн ввел термин «катодные лучи».

● П. Н. Яблочковым изобретен первый практически пригодный источник электрического освещения (свеча Яблочкова).

● П. Н. Яблочков изобрел трансформатор (в 1882 трансформатор также построили И. Ф. Усагин и Л. Голар и в 1887 Дж. Вестингауз).

● А. Беллом изобретен телефон.

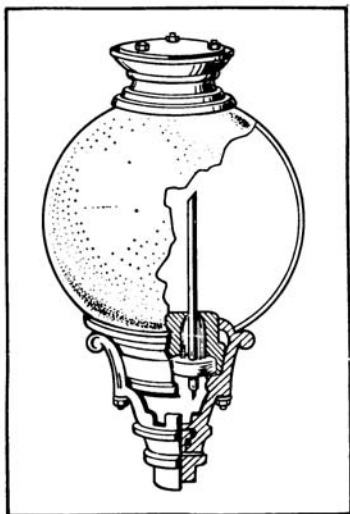
1877. Проведены первые измерения осмотического давления (В. Пфеффер).

● Т. Эдисон сконструировал фонограф (фонограф Эдисона).
1877—1878. Вышла в свет книга Дж. Рэлея «Теория звука», в которой изложены теоретические основы акустики.

П. Н. Яблочков



Фонарь со свечой Яблочкова



1877. Получен жидкий кислород (Л. Кальете, Р. Пикте).

1878. Д. Юз построил угольный микрофон. (В 1917 Э. Венте предложил конденсаторный микрофон, в 1924 появился разработанный Э. Герлахом и В. Шоттки ленточный микрофон, в 1931 — динамический катушечный микрофон Э. Венте и А. Тэраса).

● У. Томсон разработал теорию пирозлектричества.

● Э. Аббе построил первый современный оптический микроскоп, показал ограниченность разрешающей способности оптического микроскопа длиной волны света.

Э. Аббе



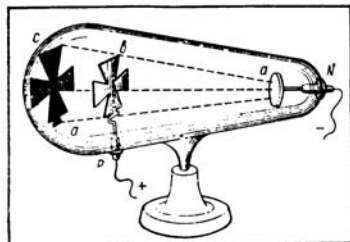
● Г. Роуланд создал делительную машину для изготовления вогнутых дифракционных решеток, что значительно расширило возможности спектроскопии.

У. Крукс



1878—1879. У. Круксом проведены опыты с катодными лучами, доказывающие их прямолинейное распространение, тепловое и механическое действия, искривление в магнитном

Прямолинейное распространение катодных лучей



поле, их корпускулярную природу.

● А. Риги (1878) и А. Беккерель (1879) построили феноменологическую теорию магнито-оптических явлений.

1878—1882. Эксперименты А. Майкельсона по точному определению скорости света. Получено значение $299\,910 \pm 50$ км/с.

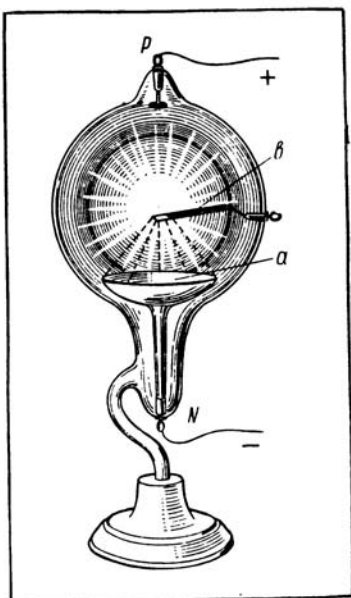
1878. Дж. Максвелл ввел термин «статистическая механика».

1879. Й. Стефаном установлена пропорциональность энергии излучения абсолютно черного тела четвертой степени абсолютной температуры: $E = \sigma T^4$, где σ — постоянная Стефана — Больцмана. В 1884 эту же зависимость теоретически вывел Л. Больцман. Отсюда название «закон Стефана — Больцмана».

● У. Крукс ввел представление о плазме.

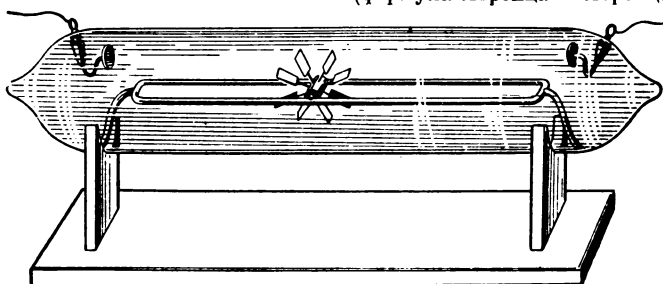
● Открытие Э. Холлом явле-

Тепловое действие катодных лучей

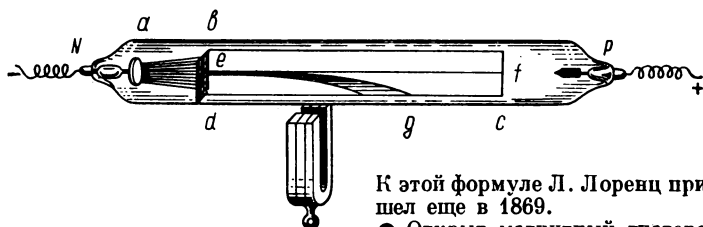


ния возникновения в проводнике с током, помещенном в магнитное поле, электрического поля, перпендикулярного к току и магнитному полю (эффект Холла).

*Механическое действие
катодных лучей*



*Искривление катодных
лучей в магнитном поле*



● Р. Клаузиус, развивая идеи О. Моссоти, разработал теорию поляризации диэлектриков и установил соотношение между диэлектрической проницаемостью и плотностью диэлектрика (уравнение Клаузиуса — Моссоти).

● Н. Н. Бекетов высказал идею о планетарном строении атома и об огромной энергии, содержащейся в атоме.

● Э. Сименс построил первый трамвай.

1880. А. Майкельсон изобрел интерферометр, сыгравший большую роль в изучении спектральных линий (интерферометр Майкельсона), и положил начало фурье-спектроскопии. Основные ее идеи высказал также в 1891—1892.

● Х. Лоренц независимо от датского физика Л. Лоренца дал формулу зависимости показателя преломления вещества от его плотности:

$$\frac{n^2 + 1}{n^2 + 2} = \frac{4}{3} \pi N \alpha_e$$

(формула Лоренца — Лоренца).

К этой формуле Л. Лоренц пришел еще в 1869.

● Открыт магнитный гистерезис (А. Риги). Его наблюдали также Э. Варбург (1881) и Дж. Эвинг (1882). В частности, Эвинг установил, что площадь петли гистерезиса пропорциональна работе, произведенной за полный цикл намагничивания и размагничивания, и ввел термин «гистерезис».

● Открытие пьезоэлектрического эффекта (Пьер и Жак Кюри).

● Открытие оптико-акустического эффекта — явления оптической генерации звука (А. Белл). В 1881 его наблюдали также Дж. Тивдаль и В. Рунтген.

● Обоснована возможность передачи электроэнергии на большие расстояния без значительных потерь при условии

повышения напряжения (М. Депре, Д. А. Лачинов).
1881. Открытие сверхтоковой структуры спектральных линий (А. Майкельсон).

● Построена первая линия электропередачи (из Мисбаха в Мюнхен) (М. Депре).

● Изобретен термоэлектрический генератор (Л. Голар).

● Введено Дж. Дж. Томсоном понятие электромагнитной массы и получена формула для электромагнитной массы движущегося заряженного шара.

● Д. Юз конструирует индукционные весы.

● Установлены международные единицы измерения физических величин (ампер, вольт, ом, джоуль и др.).

● А. Риги впервые осуществил модуляцию света вращением одного из двух скрещенных николей.

● С. Ленгли построил болометр.

● Сконструирован первый вентильный фотоэлемент (К. Фриттс). В 1888 более стойкий вентильный элемент построил В. А. Ульянин.

1882. Изобретен аperiодический гальванометр (М. Депре, Ж. Д'Арсонваль).

● Вступила в строй первая электростанция постоянного тока мощностью 540 кВт (Т. Эдисон).

Т. Эдисон

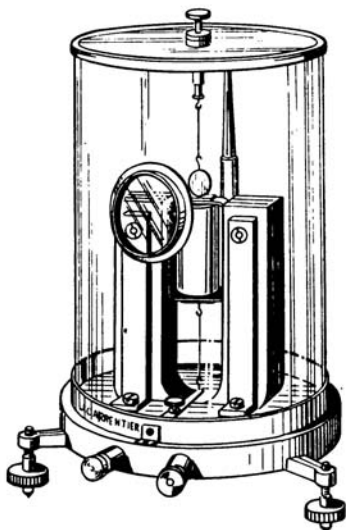


● Г. Кирхгоф построил строгую теорию дифракции.

● Э. Гольдштейн наблюдает отражение катодных лучей от поверхности изоляторов и проводников.

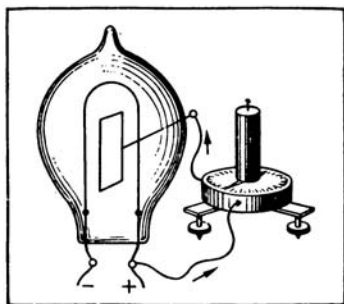
● Г. Гельмгольц ввел в термодинамику понятие свободной энергии.

Гальванометр Депре — Д'Арсонваля



1883. Открытие Т. Эдисоном явления термоэлектронной эмиссии.

Прибор, в котором Т. Эдисон впервые наблюдал термоэлектронную эмиссию



● Введение волновых чисел (В. Хартли).

● О. Рейнольдс установил, что переход ламинарного течения в турбулентное происходит, когда безразмерная вели-

чина превышает некоторое критическое значение:

$$Re = \rho v l / \mu = v l / \nu$$

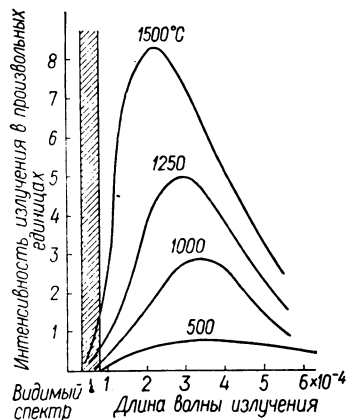
(число Рейнольдса),

где ρ — плотность текущей среды; v — скорость тела относительно среды; l — размер тела; μ — динамическая вязкость; ν — кинематическая.

● Вышла в свет «Механика» Э. Маха, в которой он подверг критике понятия абсолютного пространства, времени и движения. Эта критика классической механики стимулировала исследования А. Эйнштейна. 1884. Л. Больцман впервые применил к излучению принципы термодинамики и установил пропорциональность энергии излучения абсолютно черного тела четвертой степени абсолютной температуры тела (закон Стефана — Больцмана).

● С. Ленгли выполнил экспериментальные исследования по распределению энергии в спектре теплового излучения

Распределение интенсивности излучения в спектрах раскаленных тел



черного тела при различных температурах, получив первые кривые, характеризующие это распределение.

● Наблюдение критической опалесценции (Герзи). Пра-

вильное объяснение явления дал в 1908 М. Смолуховский.

● Ч. Парсонс изобрел многоступенчатую реактивную практически пригодную паровую турбину. В 1887 паровую турбину активного типа построил К. Лаваль.

1885. И. Бальмер обнаружил закономерность в спектральных линиях водорода:

$$\nu = R (1/2^2 - 1/n^2)$$

(формула Бальмера).

Здесь R — постоянная Ридберга; $n = 3, 4, 5, 6, \dots$ — целое число. Группа линий, удовлетворяющая этой формуле, называется серией Бальмера.

● Открытие скин-эффекта (Т. Хьюкс). Теорию его разработали независимо в 1886 Дж. Рэлей и О. Хевисайд.

● В. Рентген обнаружил магнитное поле, создаваемое движущимся в электрическом поле диэлектриком (рентгенов ток).

● Дж. Рэлей предсказал особый вид поверхностных акустических волн (волны Рэля).

● П. Кюри ввел понятие поверхностной энергии граней кристалла.

1886. В. Нернст и А. Эттингсхаузен обнаружили явление возникновения электрического поля в теле при наличии градиента температуры, перпендикулярного внешнему магнитному полю (эффект Нернста — Эттингсхаузена).

● Изготовлены первые полупроводниковые выпрямители на основе селена (К. Фриттс).

● Открытие каналовых лучей (Э. Гольдштейн).

1886—1887. Изобретен радиомикрометр для измерений в инфракрасной области спектра (Ж. Д'Арсонваль, Ч. Бойс). 1886. Установлена Р. Этвешом зависимость молекулярной поверхностной энергии от температуры (закон Этвеша).

● О. Рейнольдс развил гидродинамическую теорию смазки.

● У. Крукс выдвинул идею эволюции химических элементов.

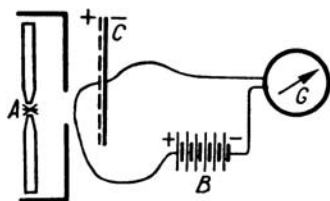
● Л. Ланге ввел понятие инерциальной системы отсчета.

● Открыт германий (К. Винклер).

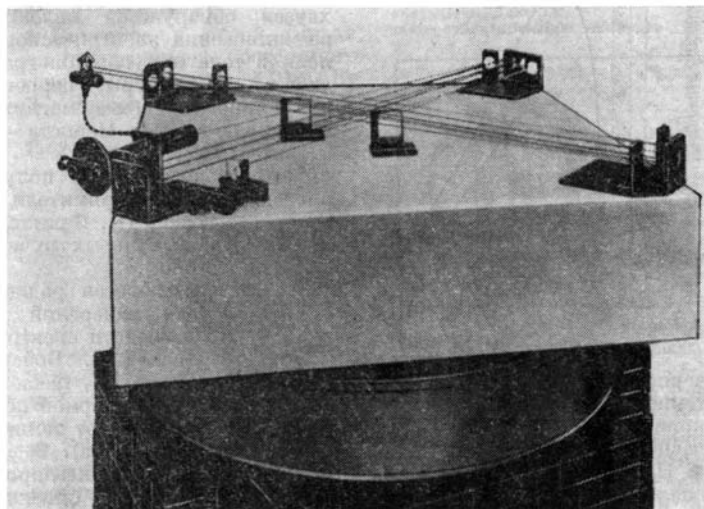
1887. Г. Герц сконструировал генератор электромагнитных колебаний (вibrator Герца) и предложил метод их обнаружения (резонатор Герца).

● Открытие внешнего фотоэффекта (Г. Герц). В 1888 его переоткрыли В. Гальвакс, А. Риги и А. Г. Столетов (в 1885 фотоэффект наблюдал А. Нодон).

Схема установки Столетова для исследования фотоэффекта

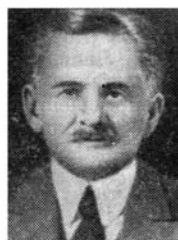


Установка А. Майкельсона для определения скорости «эфирного ветра»



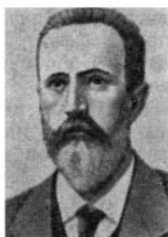
● Проведение А. Майкельсоном и Э. Морли опыта по обнаружению «эфирного ветра» — влияния движения Земли на скорость света (опыт Майкельсона — Морли). С точностью до 5 км/с было показано, что скорость света одинакова независимо от того, распространяется ли свет по направлению орбитального движения Земли или перпендикулярно к нему. В 1881 подобный опыт проводил сам Майкельсон. В 1930 Г. Йоос с помощью улучшенного интерферометра Майкельсона получил значение для скорости «эфирного ветра»: $v < 1,5$ км/с; в 1958 Ч. Таунс в опыте с мазером еще поднял точность измерения v , установив для нее верхнюю границу:

А. Майкельсон



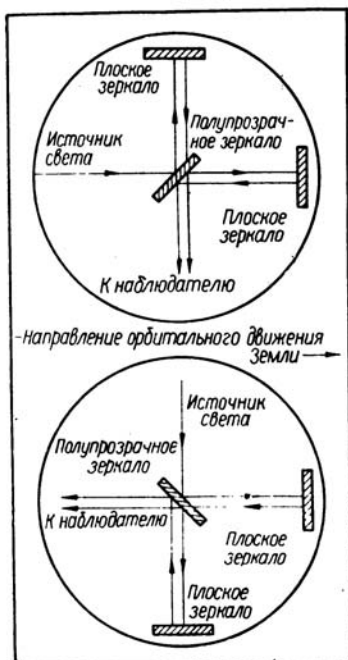
$v < 1/30$ км/с. Используя эффект Мессбауэра, Д. Чампней, Дж. Исаак и А. Хав получили (1963) $v = (1,6 \pm 2,8)$ м/с, или $v < 5$ м/с. В результате со значительно большей определенностью, чем во времена Майкельсона, можно говорить

В. А. Михельсон



об отсутствии носителя электромагнитных волн и фиксированной системы отсчета для света. Опыт получил объяснение в теории относительности.

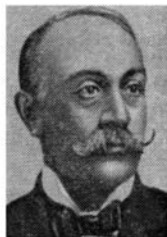
Ход лучей в эксперименте Майкельсона — Морли



● В. А. Михельсон первый применил статистические методы к тепловому излучению с целью определения вида функции Кирхгофа.

● Открытие А. Риги и С. Ледюком явления возникновения в электрически разомкнутом

А. Риги

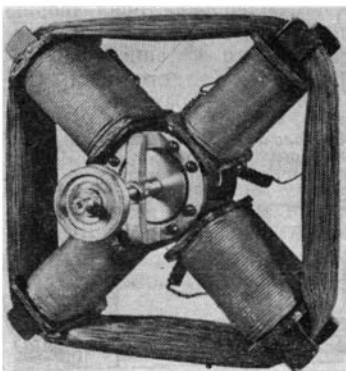


проводнике с градиентом температуры и тепловым потоком разности температур при помещении его в постоянное магнитное поле, перпендикулярное к первичному тепловому потоку (эффект Риги — Ледюка). Является одним из термомагнитных эффектов. Используется для исследования подвижности носителей тока в твердых телах.

● Дж. Рэлей обнаружил явление магнитного последствия, или магнитной вязкости, и установил закон намагничивания (закон Рэлей).

● Разработана теория элект-

Мотор Феррариса



политической диссоциации (С. Аррениус).

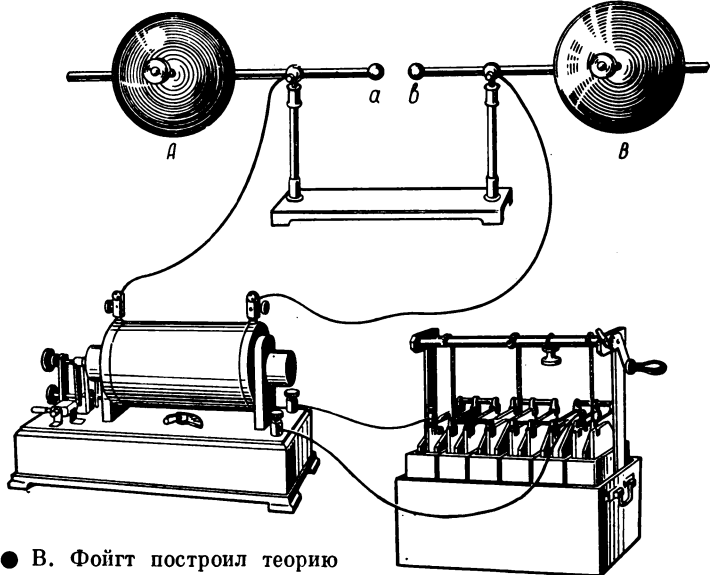
● Я. Вант-Гофф установил зависимость осмотического давления от концентрации растворенного вещества.

● Э. Сименс построил селеновый фотометр.

1888. Г. Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн, предсказанных Дж. Максвеллом.

● Создание фотоэлемента (А. Г. Столетов, А. Риги).

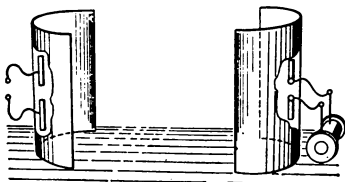
Получение Герцем электрических колебаний



● В. Фойгт построил теорию дисперсии света.

● Открыто явление вращающегося магнитного поля (Н. Тесла, Г. Феррарис).

Зеркала Герца, с помощью которых были открыты электромагнитные волны



● Создание генератора трехфазного тока (М. И. Добровольский).

● Доказана тепловая природа броуновского движения (Л. Гюи).

● Дж. Гопкинсон открыл явление резкого возрастания магнитной проницаемости ферромагнетиков в слабом магнитном поле (эффект Гипкинсона).

● Ч. Бойс изготовил кварцевое стекло.

1889. Открытие А. Г. Столетовым закона внешнего фотоэффекта (закон Столетова).

● Й. Ридберг предположил, что спектры испускания химических элементов должны привести к пониманию периодической системы

● Ф. Пашен установил выражение для потенциала зажигания электрического разряда в газах (закон Пашена).

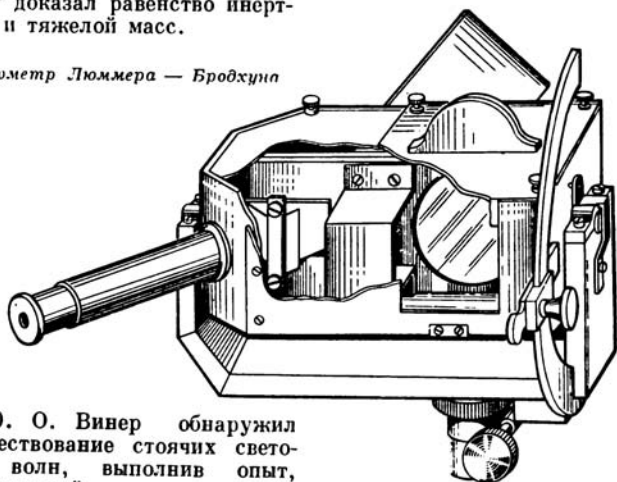
● О. Люммер и Э. Бродхун конструируют чувствительный фотометр (фотометр Люммера—Бродхуна).

● В. Нернст построил теорию гальванических элементов.

● Создание асинхронного короткозамкнутого двигателя трехфазного тока с ротором типа «беличье колесо» (М. И. Доливо-Добровольский).

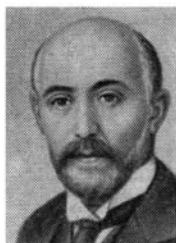
● Р. Этвеш с точностью до 10^{-9} доказал равенство инертной и тяжелой масс.

Фотометр Люммера — Бродхуна



1890. О. Винер обнаружил существование стоячих световых волн, выполнив опыт, показавший, что колебания электрического поля совершаются перпендикулярно к плоскости поляризации, а колебания магнитного поля — в самой плоскости (опыт Винера).

М. И. Доливо-Добровольский



● Г. Герц и О. Хевисайд придали уравнениям Максвелла математически симметрическую форму (уравнения Максвелла — Герца).

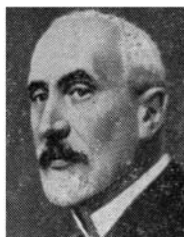
● Э. Лехер разработал метод наблюдения и измерения электромагнитных волн в проводах при помощи резонанса, получил значение для скорости их распространения, равное ско-

рости света (в соответствии с теорией Максвелла). В 1891 свой метод предложил Р. Блондло, получив значение для скорости электромагнитных волн 297 600 км/с.

● Изобретен трансформатор трехфазного тока (М. И. Доливо-Добровольский).

● Й. Ридберг для спектральных серий атомов вывел формулу, описывающую любую

Р. Этвеш



спектральную линию (формула Ридберга).

● Э. Бранли изобрел когерер. 1891. Г. Герц показал, что катодные лучи способны проникать через тонкие пластинки, и заложил тем самым основу для изучения строения вещества.

● В. Бьёркнес в работе «О затухании быстрых электриче-

ских колебаний» описал явления электрического резонанса и построил резонансную кривую.

И. Ридберг



● М. И. Доливо-Добровольский впервые осуществил электропередачу трехфазного тока, построив линию электропередачи длиной 170 км.

● Разработан Г. Липпманом метод цветной фотографии, получена первая цветная фотография солнечного спектра.

*Высокочастотный трансформатор
Тесла*

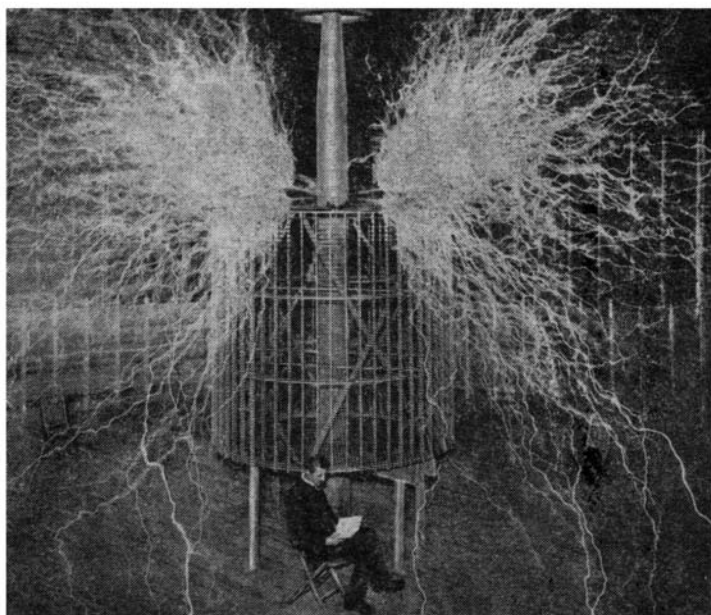
● Изобретен высокочастотный трансформатор (Н. Тесла).

● Е. С. Федоров и А. Шенфлис установили 230 пространственных групп кристаллов.

● Вышел в свет труд Г. Герца «Принципы механики, изложенные в новой связи».

1892. Х. Лоренц и Дж. Фитцджеральд для объяснения отрицательного результата опыта Майкельсона — Морли высказали гипотезу о сокращении размеров тел в направлении движения:

В. Бьёркнесс



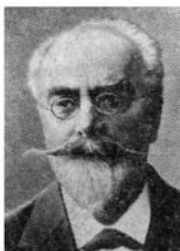
$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

(сокращение

Лоренца—Фитцджеральда),

где l_0 — длина отрезка в данной покоящейся системе отсчета; l — в системе отсчета, движущейся со скоростью v по отно-

Г. Липпман



шению к данной системе; c — скорость света в вакууме.

● Создание Х. Лоренцом основ классической электронной теории (начал разрабатывать в 1880).

Свое завершение она получила в его монографии «Теория электронов» (1909).

● А. Майкельсон и Р. Бенуа сравнили длину эталонного метра с длиной световой волны.

● О. Люммер и Ф. Курлбаум построили высокочувствительный болометр.

● Э. Вестон сконструировал нормальный гальванический элемент, нашедший широкое применение вместо элемента Кларка (1874).

● Дж. Дьюар изобрел вакуумный сосуд с двойными стенками для сохранения охлажденных газов (сосуд Дьюара).

1893. В. Вин показал, что максимум излучения в спектре абсолютно черного тела с увеличением температуры смещается в сторону коротких волн:

$$\lambda_{\text{макс}} T = b$$

(закон смещения Вина).

Здесь $\lambda_{\text{макс}}$ — длина волны, при которой мощность излучения максимальна; T — темпе-

ратура излучающего тела; b — постоянная.

● А. Блондель изобрел электромагнитный осциллограф с бифилярным подвесом (осциллограф Блонделя).

● Введение Б. Б. Голицыным понятия температуры теплового излучения.

● Ф. Ленард, используя открытое (1891) Г. Герцем свойство катодных лучей проходить через тонкие пластинки из золота и алюминия, ввел в стенки гейсслеровой трубки «окошечко» из тонкой алюминиевой фольги (трубка Ленарда).

● Положено начало интерференционной микроскопии (Я. Сиркс).

1894. Ф. Поккельс обнаружил линейный электрооптический эффект в кристаллах — изменение показателя преломления света в кристаллах, помещенных в электрическое поле, пропорциональное напряженности поля (эффект Поккельса).

● Использование О. Лоджем когерера в качестве индикатора электромагнитных волн.

● А. С. Попов построил генератор электромагнитных колебаний, когерер и изобрел антенну.

● А. Зоммерфельд дал строгое решение задачи о дифракции плоских волн на плоском полубесконечном отражающем экране.

● П. Кюри сформулировал принцип, позволяющий определять симметрию кристалла, находящегося под каким-либо воздействием (принцип Кюри).

● Открыт гелий (У. Рамзай).

ТРЕТИЙ ЭТАП

1895. Открытие В. Рентгеном излучения, названного его именем (рентгеновские лучи).

● Экспериментально доказано, что катодные лучи являются потоком отрицательно заряженных частиц (Ж. Перрен).

● П. Н. Лебедев получил электромагнитные волны длиной до 4 мм и установил их отражение, интерференцию, двойное лучепреломление.

В. Рентген



● Вышла в свет работа Х. Лоренца «Опыт построения теории электрических и оптических явлений в движущихся телах».

● Дж. Лармор установил теорему о прецессии электронов во внешнем магнитном поле (теорема Лармора).

● Открытие П. Кюри зависимости магнитной восприимчивости парамагнетиков от абсолютной температуры:

$$\lambda = C/T$$

(закон Кюри).

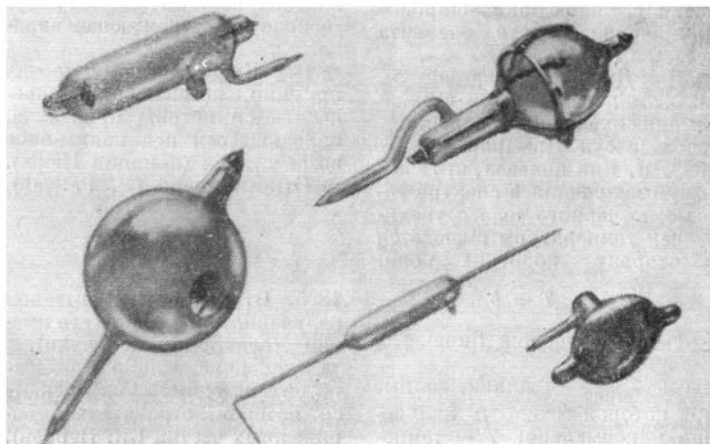
В 1907 уточнен П. Вейссом (закон Кюри — Вейсса).

● П. Кюри установил существование (у железа) температуры, выше которой исчезают ферромагнитные свойства, т. е. происходит разрушение спонтанной намагниченности ферромагнетика (точка Кюри).

Снимок руки, полученный В. Рентгеном



Рентгеновские трубки



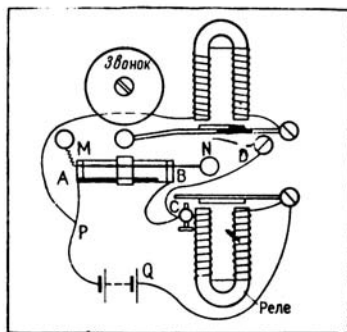
● В. Вин и О. Люммер осуществили модель абсолютно черного тела в виде полости с внутренними зеркальными стенками и узким отверстием.

● А. С. Попов изобрел радио. 24 марта 1896 он передал на расстояние 250 м первую радиопередачу. В 1892 принципы радиосвязи описал У. Крукс, в 1896 приборы для связи без проводов, аналогичные приборам Попова, и принцип передачи при помощи радиоволн разработал также Г. Маркони.

А. С. Попов



Схема приемника Попова



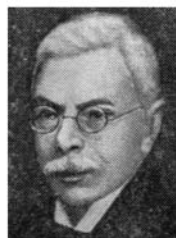
1896. А. Беккерель открыл естественную радиоактивность урана. Заспечивание фотопластинок под действием солей урана обнаружил еще в 1867 Н. де Сен-Виктор.

● Открыто П. Зееманом явление расщепления спектральных линий в магнитном поле (эффект Зеемана). В том же году О. Лодж обнаружил расщепление спектральной линии

в магнитном поле на три компоненты.

● Э. Вихерт и Дж. Стокс показали, что рентгеновские лучи являются электромагнитными волнами с очень короткой длиной волны.

П. Зееман

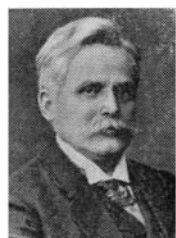


● В. Вин вывел формулу закона распределения энергии в спектре черного тела, справедливую для коротких волн:

$$\epsilon_0(\lambda, T) = \frac{c^5}{\lambda^5} f(c/\lambda T)$$

(закон излучения Вина).

В. Вин



● Л. Джуэлл обнаружил красное смещение.

● Ш. Фабри теоретически рассмотрел возможность создания сильных магнитных полей с помощью соленоидов.

1897. Дж. Дж. Томсон использовал эффекты отклонения катодных лучей в электрическом и магнитном полях для определения удельного заряда их частиц.

● Дж. Дж. Томсон открыл электрон. Косвенное доказательство существования электрона дали в 1896 П. Зееман и Х. Лоренц, в 1897 электрон

обнаружил также Э. Вихерт. ● Дж. Дж. Томсон выдвинул гипотезу об электронном составе атомов (внутриатомных электронах). Существование электрона в атоме предположил также в этом же году А. Шустер.

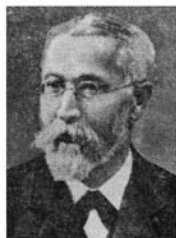
● Х. Лоренц построил классическую теорию эффекта Зеемана.

● О. Люммер и Ф. Курлбаум проверили закон Стефана — Больцмана в интервале от 290 до 1500 °С.

1897—1898. Г. Рубенс разработал метод «остаточных лучей».

1897. Г. Рубенс сконструировал термостолбик для очень точных измерений теплоты. Вместо висмута — сурьмы он применил термопару константан — железо.

● М. Склодовская-Кюри высказала предположение о том, К. Браун



Первая электроннолучевая трубка Брауна

что излучение урана является свойством его атомов.

● К. Браун сконструировал катодную трубку, в которой движением электронов управляло магнитное поле (электроннолучевая трубка).

1898. М. Склодовской-Кюри и П. Кюри открыты новые радиоактивные элементы — полоний и радий.

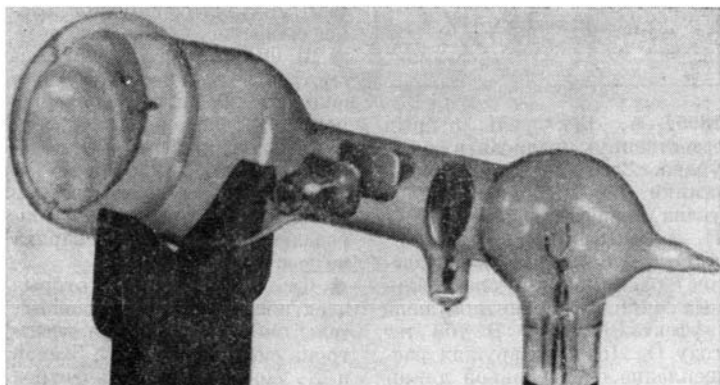
● Дж. Таунсенд измерил заряд водородного иона, получив значение $0,5 \cdot 10^{-19}$ Кл. 1898—1900. Выдвинута концепция свободных электронов («электронного газа») в металлах (Э. Рикке, П. Друде, Дж. Дж. Томсон). Дальнейшее развитие она получила в 1904 у Х. Лоренца (теория Друде — Лоренца).

1898. П. Зеeman и М. Корню обнаружили явление расщепления атомных спектральных линий в магнитном поле более чем на три компоненты (аномальный эффект Зеемана).

● А. И. Садовским теоретически обосновано вращающее действие световых лучей (эффект Садовского). Обнаружен в 1935.

● Открытие радиоактивности (М. Склодовская-Кюри, Г. Шмидт).

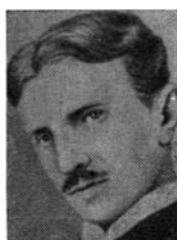
● Дж. Дьюар получил жидкий водород.



● В. Паульсен выдвинул идею магнитофона, предложив использовать магнитную стальную ленту в качестве звуконосителя (первые опыты проведены в Берлине в 1901). Метод магнитной записи получил развитие с введением усилительной лампы. В 1940 Х. Браунмюль и В. Вебер для повышения качества записи предложили высокочастотное подмагничивание и высокочастотное стирание.

● Н. Д. Пильчиков и Н. Тесла осуществили первые опыты по радиуправлению.

Н. Тесла



1899. А. Беккерель, Ст. Мейер, Э. Швейдлер и Ф. Гизель обнаружили отклонение лучей радиоактивного излучения радия в магнитном поле.

● Э. Резерфорд доказал наличие в излучении урана двух компонентов — альфа- и бета-лучей.

● П. Кюри и М. Склодовская-Кюри открыли наведенную радиоактивность.

● Ю. Эльстер и Х. Гейтель высказали мысль о превращении элементов в радиоактивных процессах.

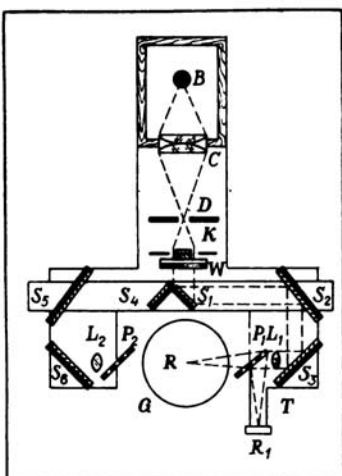
● Открыт активий (А. Дебьерн).

● П. Н. Лебедев экспериментально измерил давление света на твердые тела (в 1907 он сделал это для газов). В 1903 обнаружил и измерил давление света Э. Никольс.

● Обнаружены электроны в фототоке (Дж. Дж. Томсон, Ф. Ленард) и эффекте термоэлектронной эмиссии

(Дж. Дж. Томсон). Идентификация электрона как элементарной частицы (Дж. Дж. Томсон).

Схема установки Лебедева для измерения давления света на твердые тела



● Ф. Ленард показал, что энергия электронов, освобождающихся при фотоэффекте, зависит не от интенсивности падающего света, а от длины его волны (частоты).

● В. Фойгт построил теорию магнитооптических явлений (теория Лоренца — Фойгта).

● Г. Хага доказал волновую природу рентгеновских лучей.

● Построен интерферометр Фабри — Перо (Ш. Фабри, А. Перо).

● Разработка Дж. Рэлеем теории молекулярного рассеяния света (рэлеевское рассеяние). 1899—1900. Установлено отклонение от закона Вина теплового излучения для длинных волн (О. Люммер, Э. Прингсгейм, Г. Рубенс, Ф. Курлбаум).

1899. Дж. Дьюар получил водород в твердом состоянии.

● Ш. Гийом создал сплав инвар.

● Разработано тензорное исчисление (Г. Риччи-Курбастро, Т. Леви-Чивита).

Ш. Гийом



1900. Дж. Рэлей вывел закон распределения энергии в излучении абсолютно черного тела, развитый в 1905 Дж. Джинсом:

$$\varepsilon_0(\nu, T) = \frac{2\pi^2}{c^2} \nu^2 RT$$

(закон Рэрея—Джинса).

Экспериментально подтвержден в 1901 Г. Рубенсом и Ф. Курлбаумом для длинных волн.

Дж. Рэлей



1900—1902. Г. Рубенс и Э. Хаген выполнили измерения отражательной способности металлов, подтвердившие электромагнитную теорию света Максвелла.

1900. Введение понятия кванта энергии (М. Планк).

● М. Планк сформулировал квантовую гипотезу и ввел фундаментальную постоянную h (постоянная Планка), имеющую размерность действия, положив начало квантовой теории.

● М. Планк предложил новую формулу для распределения

энергии в спектре излучения абсолютно черного тела:

$$\varepsilon_0(\nu, T) = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

(закон Планка).

● Экспериментальное подтверждение формулы излучения Планка (Г. Рубенс, Ф. Курлбаум).

● Вышел в свет труд «Эфир и материя» Дж. Лармора, где помещена его электродинамика движущихся сред.

● П. Виллар открыл γ -лучи.

● М. Склодовская-Кюри первая указала на корпускулярную природу альфа-лучей.

● Обнаружено отклонение бета-лучей электрическим полем (Ф. Дорн).

● А. Беккерель, пропуская бета-лучи через пересекающиеся друг друга электрическое и магнитное поля, измерил отношение заряда к массе бета-частиц и установил, что оно того же порядка, что и для частиц катодных лучей.

● П. Кюри и М. Склодовская-Кюри доказали, что бета-лучи несут отрицательный заряд.

● Э. Резерфорд ввел понятие периода полураспада.

● А. Пуанкаре ввел импульс электромагнитного поля.

● Дж. Таунсенд построил теорию проводимости в газах и рассчитал коэффициенты диффузии заряженных частиц.

● М. Бриллюэн разработал математическую теорию диффузии газов.

● Т. Эдисон изобрел щелочной (железоникелевый) аккумулятор.

1901. Ж. Перрен сформулировал планетарную модель атома (модель Перрена).

● Обнаружено физиологическое действие радиоактивного излучения (А. Беккерель, П. Кюри).

● О. Ричардсон установил зависимость плотности тока на-

сыщения j термоэлектронной эмиссии от температуры T поверхности катода:

$$j = CT^2 e^{-\frac{A_{\text{вых}}}{kT}}$$

(закон Ричардсона).

Здесь C — постоянная Ричардсона; $A_{\text{вых}}$ — работа выхода материала катода; k — постоянная Больцмана.

О. Ричардсон



● Г. Маркони осуществил первую трансатлантическую радиопередачу.

1902. Установлено отклонение каналовых лучей в электрическом и магнитном полях (В. Вин).

● Ф. Ленард установил уравнение фотоэффекта, связывающее энергию фотоэлектрона ϵ с работой выхода $A_{\text{вых}}$ и запирающей разностью потенциалов V :

$$\epsilon = A_{\text{вых}} + eV.$$

● Экспериментально доказала зависимость массы электрона от скорости (В. Кауфман). 1902—1903. Э. Резерфорд и Ф. Содди создали теорию радиоактивного распада и сформулировали закон радиоактивных превращений. Они же построили первые цепочки распада радиоактивных элементов.

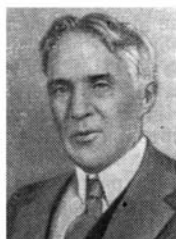
● Введение понятия электромагнитного импульса и получение формулы для электромагнитной массы электрона (М. Абрагам).

● М. Абрагам высказал гипотезу о структуре электрона,

согласно которой последний является твердым шариком с равномерно распределенным зарядом.

1902. Р. Вуд открыл оптический резонанс.

Р. Вуд



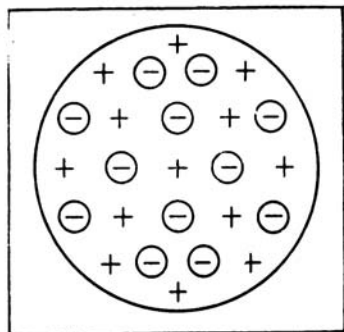
● Открыта вторичная электронная эмиссия (Г. Штарке).

● Постулирование О. Хевисайдом ионизированного слоя атмосферы, отражающего электромагнитные волны.

● Вышла в свет книга Дж. Гиббса «Элементарные принципы статистической механики», в которой завершено построение классической статистической физики.

1903. Дж. Дж. Томсон разработал модель атома, названную его именем (модель Томсона).

Модель атома по Томсону



● Ф. Ленард разработал динамичную модель атома (модель Ленарда).

● Наблюдение непрерывного выделения теплоты солями ра-

дия и измерение энергии, выделяемой за 1 с (П. Кюри, А. Лаборд).

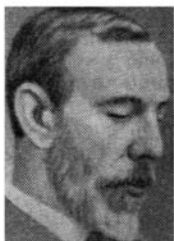
● П. Кюри предложил использовать период полураспада радиоактивного элемента в качестве эталона времени для определения абсолютного возраста земных пород.

● Н. Н. Бекетов (независимо от Э. Резерфорда и Ф. Содди) выдвинул гипотезу, согласно которой радиоактивность представляет собой самопроизвольный распад атомов радиоактивных элементов.

● Э. Резерфорд предсказал существование трансурановых элементов.

● У. Рамзай и Ф. Содди экспериментально доказали образование гелия из радона.

У. Рамзай



● Э. Резерфорд доказал, что альфа-лучи состоят из положительно заряженных частиц. Первая на корпускулярную природу альфа-лучей указала в 1900 М. Склодовская-Кюри.

● Обнаружен эффект сцинтилляций (Х. Гейтель, Ю. Эльстер, У. Крукс).

● У. Крукс построил спинтарископ — прибор для визуального счета альфа-частиц (спинтарископ Крукса).

● А. А. Эйхенвальд показал, что поляризованный немагнитный диэлектрик становится при движении намагниченным (опыт Эйхенвальда).

● Ф. Тротон и Г. Нобль провели опыт с целью обнаружения момента кручения в подвешенном плоском конденса-

торе, обусловленного влиянием «эфирного ветра» (опыт Тротона — Нобля).

● Изобретение струнного гальванометра.

● Создание ультрамикроскопа (Р. Зигмонди, Г. Зиден-топф).

● М. С. Цвет разработал хроматографию.

1904. Х. Лоренц установил общие преобразования пространственных координат и времени при переходе в движущуюся систему отсчета:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \quad y' = y;$$

$$z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

(преобразования Лоренца).

В 1900 эти преобразования получил Дж. Лармор, а в 1887 близкие по типу преобразования использовал В. Фойгт.

● Х. Лоренц получил выражение для зависимости массы от скорости: $m = m_0/\sqrt{1 - v^2/c^2}$, где m — масса тела, движущегося со скоростью v относительно системы отсчета; m_0 — масса покоя тела; c — скорость света в вакууме. Справедливость этой релятивистской формулы была подтверждена опытами А. Бухерера (1908) и др.

● Создание Х. Нагаокой модели атома типа Сатурна.

Х. Нагаока



● Дж. Дж. Томсон ввел представление о том, что электроны в атоме разделяются на

группы, образуя различные конфигурации, обуславливающие периодичность элементов. Первые идеи о внутренней структуре атома он высказал еще в 1898.

● Осуществлена поляризация рентгеновских лучей (Ч. Баркла).

● Г. А. Вильсон провел опыт по зарядке пластин конденсатора вращением цилиндра из диэлектрика, помещенного в магнитное поле параллельно его пластинам (опыт Вильсона). Противоположен опыту Эйхенвальда.

● А. Майкельсон предложил эксперимент для обнаружения абсолютного движения Земли. Осуществлен Ж. Саньяком в 1913 и в 1925 самим Майкельсоном и Г. Гэйлом; позднее — А. Розенталем и У. Мацеком с использованием замкнутого лазера (четыре лазера, расположенных по периметру квадрата).

● Изобретена двухэлектродная электронная лампа (Дж. Флеминг).

● А. Венельт построил оксидный катод.

● Дж. Бозе показал, что полупроводники являются хорошими детекторами высокочастотных токов.

ПЕРИОД СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

П Е Р В Ы Й Э Т А П

1905. А. Эйнштейн в статье «К электродинамике движущихся сред», глубоко проанализировав понятие одновременности событий, доказал сохранение формы максвелловских уравнений относительно преобразований Лоренца и сформулировал специальный принцип относительности и принцип постоянства скорости света и на их основе создал

специальную теорию относительности (СТО), содержащую новые пространственно-временные представления. Совместно с квантовой теорией она составила фундамент физики XX в. Независимо от Эйнштейна в том же году неизменность формы уравнений электродинамики относительно преобразований Лоренца доказал также А. Пуанкаре, подчеркнув универсальность принципа относительности и предсказав конечность скорости распространения света.

● А. Эйнштейн открыл закон взаимосвязи массы и энергии: $E_0 = m_0 c^2$, где E_0 — энергия покоя; m_0 — масса покоя тела; c — скорость света в вакууме. Этим Эйнштейн впервые показал, что масса тела есть мера содержащейся в нем энергии (открытие атомной энергии). В 1906 этот закон установил также П. Ланжевен.

● А. Эйнштейн выдвинул гипотезу о квантовом характере светового излучения (квантовая теория света). Постулированный Эйнштейном фотон открыт в 1922 А. Комптоном. Термин введен в 1929 Г. Льюисом. Квантовая теория света положила начало концепции корпускулярно-волнового дуализма.

1905—1906. Широкое распространение квантовых представлений.

1905. А. Эйнштейн объяснил законы фотоэффекта на основании существования квантов света и установил уравнение, определяющее максимальную скорость фотоэлектронов v :

$$h\nu = mv^2/2 + A_{\text{вых}} \quad (\text{уравнение}$$

Эйнштейна для фотоэффекта).

Здесь ν — частота падающего света; m — масса электрона; $A_{\text{вых}}$ — работа выхода его из металла; h — постоянная Планка.

● Э. Швейдлер установил статистический характер закона радиоактивного распада, подтвержденный экспериментально в 1906 К. Кольраушом и С. Мейером и в 1908 Э. Регенером.

● Обнаружен эффект Доплера в канальных лучах (П. Штарк).

● Разработка П. Ланжевеном классической теории диа- и парамагнетизма.

П. Ланжевен



1905—1906. А. Эйнштейн и М. Смолуховский дали последовательное объяснение броуновского движения на основе молекулярно-кинетической теории, разлив теорию флуктуаций.

М. Смолуховский



1905. Кауфман изобрел вращающийся ртутный насос, усовершенствованный в том же году В. Геде.

1906. М. Планк вывел уравнения релятивистской динамики, получив выражения для энергии и импульса электрона.

● М. Планк ввел термин «теория относительности».

● А. Пуанкаре в статье «О динамике электрона» разработал первую лоренц-ковариантную теорию гравитации, найдя ло-

ренц-ковариантное обобщение закона всемирного тяготения. Аналогичную теорию построил в 1907 Г. Минковский. Теория Пуанкаре — Минковского явилась первой релятивистской теорией тяготения.

● Ч. Баркла открыл характеристические рентгеновские лучи.

Ч. Баркла



● Обнаружено явление рассеяния α -частиц (Э. Резерфорд).

● М. Планк для универсальной постоянной h ввел термин «квант действия».

● П. Дренфест выдвинул идею квантования поля.

● Т. Лайман установил стандарты в ультрафиолетовой области спектра.

● Т. Лайман открыл спектральную серию в ультрафиолетовой части спектра атома водорода (серия Лаймана). Волновые числа линий серии определяются формулой $\nu = R(1/1^2 - 1/m^2)$, где R — постоянная Ридберга; $m = 2, 3, 4, 5...$

● В. Нернст высказал утверждение, что энтропия химически однородного твердого или жидкого тела при абсолютном нуле температуры равна нулю (теорема Нернста). Экспериментально доказана У. Джоком, после чего стала называться третьим началом термодинамики.

● В. Нернстом предсказан эффект «вырождения газа» при низких температурах.

● Изобретен карборундовый детектор (Г. Данвуди).

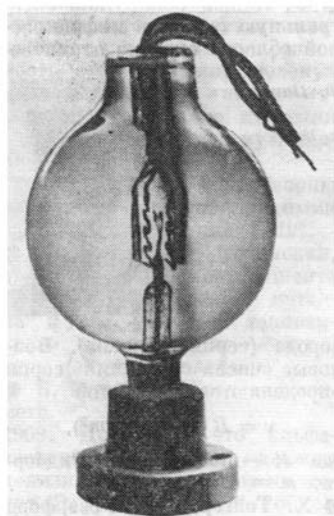
- Изобретен кристаллический кремниевый детектор с точечным контактом (Г. Пикард).
- Изобретен триод (Л. Форест). Использовался вначале как приемно-усилительная электронная лампа (аудион Фореста). В 1913 А. Мейсснер показал возможность его применения в качестве генераторной лампы.

В. Нернст



1907. А. Эйнштейн сформулировал принцип эквивалентности, утверждающий физическую неразличимость (тождественность) однородного поля тяготения и равномерно ускоренной системы отсчета. В основе принципа лежит факт равенства инертной и гравита-

Триод Л. де Фореста



ционной массе. Принцип эквивалентности явился физической основой общей теории относительности.

- А. Эйнштейн предсказал эффект гравитационного смещения частоты света (красное смещение). Более полно рассмотрел в 1911.

- Первое определение длины волны рентгеновских лучей (В. Вин). В 1899 длину волны рентгеновского излучения оценил Г. Хаг (10^{-8} см), а в 1908 определил Р. Поль (10^{-10} см).

- И. Штарк предсказал соотношение между скоростью v электронов в фотоэффекте и минимальной длиной волны $\lambda_{\min}$ рентгеновского излучения: $\lambda_{\min} v = \text{const}$. Подтверждено в 1915 У. Дуэном и Ф. Хантом (закон Дуэна — Ханта).

- А. Майкельсон сконструировал спектральный прибор высокой разрешающей способности (эшелон Майкельсона).

- Ф. Эренгафт разработал прямой метод измерения элементарного электрического заряда (заряда электрона) — метод парящей в электрическом поле масляной капли, несущей отрицательные элементарные электрические заряды. Применен также Р. Милликоном в 1910—1914.

- Б. Болтвуд показал, что конечным продуктом в радиоактивных рядах является свинец.

- Дж. Дж. Томсон дал формулу для рассеяния рентгеновских лучей одним электроном.

- Разработка А. Эйнштейном первой квантовой теории теплоемкости твердых тел. Введение им представления о распространении в кристалле монохроматических звуковых (упругих) волн.

- М. Планк провел обобщение термодинамики в рамках специальной теории относительности, заложив основы релятивистской термодинамики.

1907—1914. И. Кенигсбергер подробно исследовал ряд полупроводников, показав четко их отличие от металлов. Обнаружил, что число носителей заряда в полупроводниках намного меньше, чем в металлах, но подвижность их несколько больше. Установил полупроводниковый характер кремния, селена и теллура.

1907. Дж. Пирс доказал электрическую природу процесса выпрямления переменного тока в полупроводниках.

● Дж. Шотт построил теорию излучения электрических зарядов, движущихся с ускорением. Излучение движущегося по окружности заряда предсказал в 1898 А. Лиенар.

● П. Вейсс установил (независимо от П. Кюри, 1895) температурную зависимость магнитной восприимчивости χ парамагнетиков:

$$\chi = C'/(T - \Delta)$$

(закон Кюри—Вейсса).

Здесь C' и Δ — константы.

● Выдвинута гипотеза о существовании в ферромагнетиках участков самопроизвольной намагниченности и разработана первая статистическая теория ферромагнетизма (П. Вейсс). Подобную идею высказал в 1892 Б. Л. Розинг.

● Открытие Э. Коттоном и А. Мутоном явления двойного лучепреломления в веществах, помещенных в магнитное поле, при распространении света в направлении, перпендикулярном полю (эффект Коттона — Мутона).

● Б. Л. Розинг изобрел первую электронную систему получения телевизионного изображения при помощи электронно-лучевой трубки (в 1911 продемонстрировал передачу и прием простых геометрических фигур).

1908. Г. Минковский вслед за А. Пуанкаре высказал идею объединения трех измерений

пространства и времени в одно четырехмерное псевдоевклидовое пространство (пространство Минковского) и развил современный четырехмерный аппарат теории относительности.

Г. Минковский



● В. Ритц улучшил предложенную Й. Ридбергом приближенную формулу для частот спектральных серий элементов, установив один из основных принципов систематики атомных спектров — комбинационный принцип (принцип Ридберга — Ритца).

● А. Бухерер провел опыт, подтвердивший правильность релятивистской формулы Лоренца для зависимости массы электрона от скорости с точностью до 10 % в определении скорости.

● Ф. Пашен обнаружил спектральную серию в инфракрасной области спектра атома во-

Ф. Пашен



дорода (серия Пашена). Волновые числа ν линий серии определяются формулой

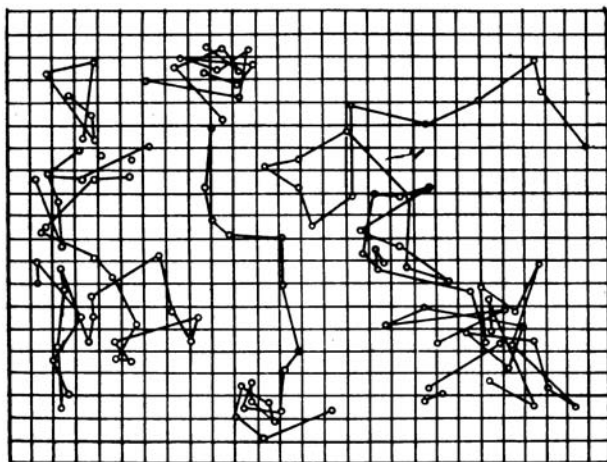
$$\nu = R(1/3^2 - 1/m^2),$$

где R — постоянная Ридберга; $m = 4, 5, 6, 7, \dots$

● Х. Гейгер и Э. Резерфорд

сконструировали прибор для регистрации отдельных заряженных частиц. В 1928 Гейгер усовершенствовал его с В. Мюллером (счетчик Гейгера — Мюллера).

Броуновское движение
(рис. Ж. Перрена)



● Получение Г. Камерлинг-Оннесом жидкого гелия и измерение его температуры.

● Ж. Перрен осуществил эксперименты по исследованию броуновского движения, окончательно доказавшие реальность существования молекул и подтвердившие атомно-молекулярную теорию строения вещества и кинетическую теорию теплоты.

● Г. Ми разработал теорию рассеяния света коллоидными частицами (рассеяние Ми).

● Э. Грюнейзен установил, что отношение коэффициента теплового расширения металла к его удельной теплоемкости не зависит от температуры (закон Грюнейзена).

● Б. Редвуд изобрел вискозиметр.

1909. Доказано, что альфа-частицы являются дважды ионизированными атомами гелия (Э. Резерфорд, Дж. Ройдс).

● О. Ган и Л. Мейтнер разработали метод радиоактивной отдачи.

1909—1910. Х. Гейгер и Э. Марсден выполнили эксперименты по рассеянию альфа-частиц в тонких металлических пленках, сыгравшие решаю-

щую роль в открытии Э. Резерфордом планетарной структуры атома.

1909. А. Эйнштейн рассмотрел флуктуации энергии равновесного излучения и получил формулу для флуктуаций энергии.

Х. Гейгер



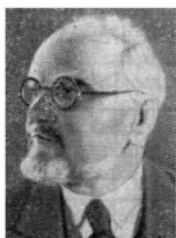
● А. Эйнштейн впервые рассмотрел корпускулярно-волновой дуализм для излучения.

● Открытие связи между упругими и оптическими свойствами твердых тел (Э. Маделунг).

● Д. С. Рождественский разработал новый метод количе-

ственного исследования аномальной дисперсии света (метод крюков) и использовал его для изучения аномальной дисперсии в спектрах паров ряда металлов.

Д. С. Рождественский



● Г. Камерлинг-Оннес получил температуру в 1,04 К.

● З. Хильперт получил искусственные ферриты (первым известным природным магнитным материалом был магнетит Fe_3O_4 — феррит железа).

● Вышла в свет книга В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», в которой дано блестящее толкование но-

вых научных данных конца XIX — начала XX в. в ведущих отраслях естествознания, показан революционный смысл этих фундаментальных открытий. Мысль В. И. Ленина о неисчерпаемости материи стала общим принципом естествонаучного познания.

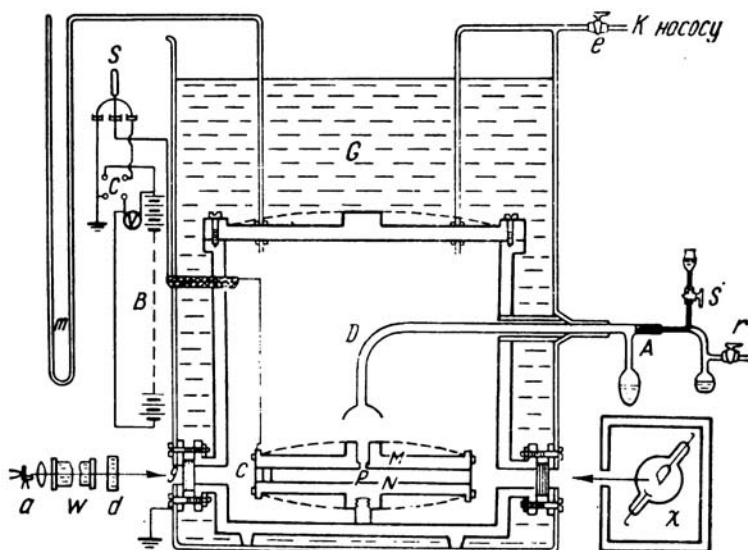
1910. А. Гааз предложил модель атома, в которой впервые сделана попытка связать квантовый характер излучения со структурой атома.

1910—1914. Р. Милликен экспериментально доказал дискретность электрического заряда и впервые достаточно точно измерил методом масляных капель величину заряда электрона. Опыты начал

Р. Милликен



Схема прибора Милликана для определения электрического заряда отдельной заряженной капли



проводить в 1906, первые результаты (1910) дали величину $e = 1,33 \cdot 10^{-19}$ Кл, а в 1914 — $e = (1,592 \pm 0,0017) \times 10^{-19}$ Кл.

1910. Первое определение энергии бета-частиц по их отклонению в магнитном поле (О. Байер, О. Ган).

● Э. Маделунг доказал, что в узлах кристаллической решетки поваренной соли находятся ионы.

● Ф. Линдеман получил полуэмпирическое уравнение, часто используемое при рассмотрении плавления веществ при высоких давлениях (уравнение Линдемана).

● Л. Гюи развил теорию двойного электрического слоя.

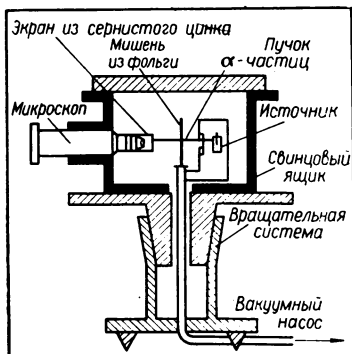
● Обнаружено космологическое красное смещение в спектрах галактик (В. Слайфер).

1911. Э. Резерфорд построил теорию рассеяния альфа-частиц в веществе и дал формулу для эффективного поперечного сечения рассеяния нерелятивистских заряженных точечных частиц, взаимодействующих по закону Кулона:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{2mv^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\vartheta}{2}}$$

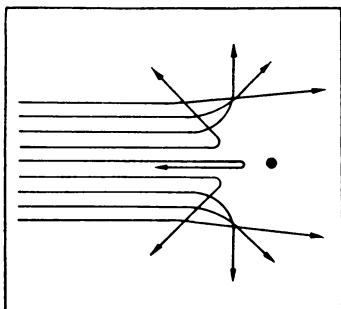
(формула Резерфорда).

Схема установки Резерфорда для исследования рассеяния α -частиц тонкой металлической фольгой



Здесь $d\sigma$ — дифференциальное эффективное сечение рассеяния; $d\Omega$ — элемент телесного угла; Z_1 и Z_2 — электрические заряды взаимодействующих

Траектории рассеянных α -частиц в опыте Резерфорда

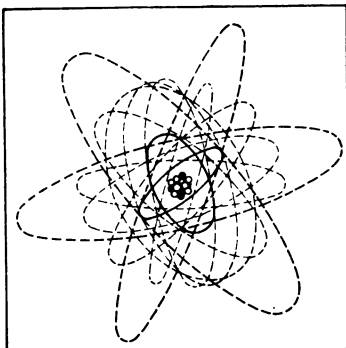


частиц; e — заряд электрона; m — масса альфа-частицы; v — ее скорость; ϑ — угол рассеяния. Впервые дала возможность определить заряд ядра атома (опыты Дж. Чэдвика).

● Э. Резерфорд открыл в атоме ядро и создал планетарную модель атома (модель Резерфорда). В 1912 он ввел термин «ядро».

● Х. Гейгер и Дж. Нэттол установили зависимость между временем жизни и энергией

Модель атома по Резерфорду



распада радиоактивных ядер:

$$\lg T = C + D/\sqrt{E}$$

(закон Гейгера—Нэттола),

где E — энергия частиц, МэВ;
 T — период полураспада; C и D — константы.

● Впервые для регистрации следов заряженных частиц применены фотоэмульсии (М. Райнганум).

● Ф. Содди сформулировал правило, согласно которому при альфа-распаде валентность продукта изменяется на две единицы (альфа-правило, или правило Содди).

● К. Фаянс экспериментально доказал существование радиоактивных вилков.

● Изготовлен первый международный радиевый эталон (М.

Складовская-Кюри, А. Дебьерн).

● Постулирование П. Вейссом кванта магнитного момента — магнетона. Независимо от П. Вейсса магнетон предсказал П. Ланжевен и вычислил его величину.

● Э. Грюнейзен вывел формулу, связывающую частоту колебаний атомов кристаллической решетки с упругими константами кристалла (формула Грюнейзена).

● Получена первая интерферограмма (Г. Рубенс, Р. Вуд).

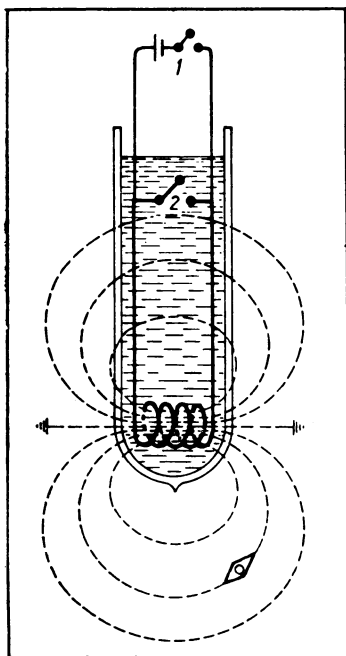
● Открытие Г. Камерлинг-Оннесом явления сверхпроводимости.

● Г. Камерлинг-Оннес измерил критическую точку гелия ($T_K = 5,20$ К; $p_K = 2,26$ ат).

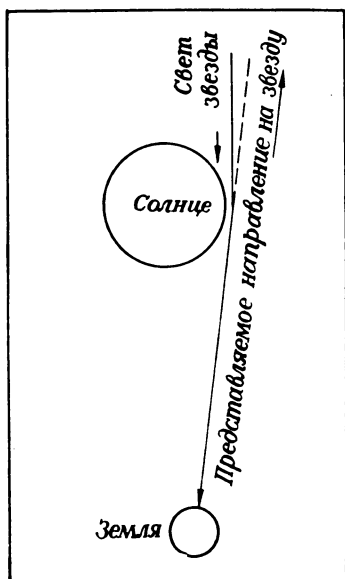
● Г. Яуман ввел понятие потока энтропии.

● А. Эйнштейн предсказал эффект искривления светового луча в гравитационном поле

Схема опыта Камерлинг-Оннеса, в котором возникла сверхпроводимость



Искривление световых лучей в гравитационном поле Солнца



и показал возможность его экспериментального обнаружения. В 1915 он получил для отклонения света вблизи Солнца значение, равное $1,7''$. Впервые этот эффект был подтвержден экспериментально в 1919 А. Эддингтоном.

● П. Лавжевен первый обратил внимание на следствие специальной теории относительности, известное впоследствии как «парадокс близнецов».

● Состоялся первый Сольвевский конгресс по физике. 1911—1912. Построение скалярных теорий поля тяготения с учетом принципа эквивалентности (А. Эйнштейн, М. Абрагам, Г. Нордстрем, Г. Ми). 1911. П. Эренфест и Т. А. Афанасьева-Эренфест провели логический анализ статистической механики, выдвинули квазиэргодическую гипотезу.

● Создание криостата (Г. Камерлинг-Оннес).

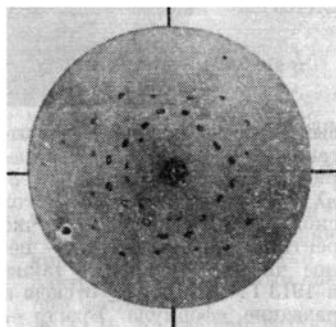
1912. Разработана теория интерференции рентгеновских лучей на кристаллах и предло-

жено использовать их как своеобразные дифракционные решетки для этих лучей (М. Лауэ).

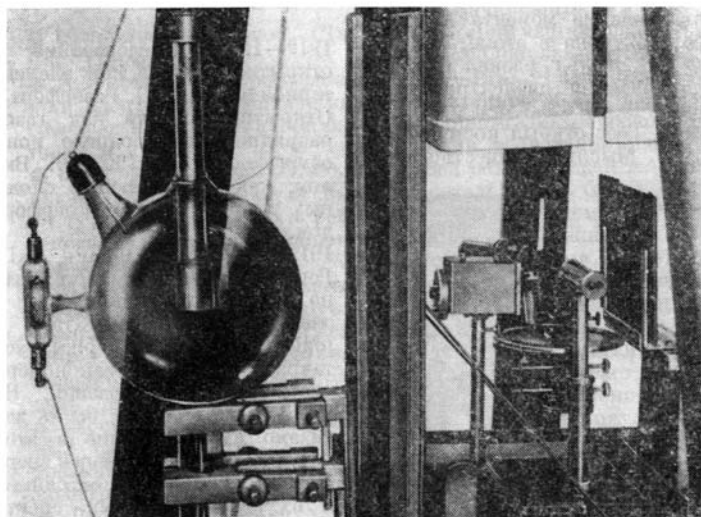
М. Лауэ



Фотография дифракции рентгеновских лучей на кристалле сульфида цинка



Установка, на которой была открыта дифракция рентгеновских лучей



● Открыто явление дифракции (интерференции) рентгеновских лучей при прохождении их через кристаллы (М. Лауэ, В. Фридрих, П. Книппинг).

● Л. Брэгг сформулировал условие дифракции падающего на кристалл монохроматического потока рентгеновских лучей и дал соотношение, свя-

Л. Брэгг



зывающее длину волны рентгеновского излучения λ с периодом решетки кристалла d : $n\lambda = 2d \sin \theta$, где θ — угол скольжения падающего пучка рентгеновских лучей; n — целое число. Это сделал также в 1913 Г. В. Вульф, отсюда и название «формула Брэгга — Вульфа».

● Дж. Никольсон выполнил квантование момента импульса электрона в атоме.

● П. Эвальд развил теорию поляризации диэлектрических кристаллов.

● В. Гесс открыл космические лучи. Мысль о существовании

В. Гесс



излучения, постоянно ионизирующего воздух, высказывали Ч. Вильсон (1900—1901),

Х. Гейтель и Ю. Эльстер (1900) и др.

● Открыто вынужденное гамма-излучение, вызванное бомбардировкой альфа-частицами (Дж. Чэдвик).

● Ч. Вильсон изобрел прибор для наблюдения следов заряженных частиц (камера Вильсона).

Ч. Вильсон

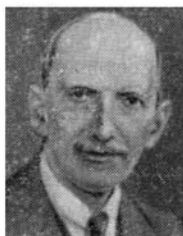
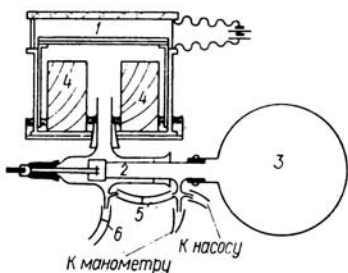


Схема камеры Вильсона



1912—1913. Предсказание и открытие протона как элементарной частицы (Э. Резерфорд). Открытие протона как газоразрядного водородного иона осуществлено в 1902 В. Вильямом, как составляющей сложных ядер — в 1919 Резерфордом.

1912—1914. Дж. Франк и Г. Герц выполнили эксперименты по изучению столкновений электронов с атомами газа (опыты Франка — Герца), установив некоторые закономерности этих столкновений. В результате впервые было доказано существование в атомах дискретных уровней энергии (стационарных состояний) и их связь с термами спек-

ральных линий и тем самым подтверждена гипотеза Планка о квантах энергии и квантовая теория атома Бора.

Дж. Франк



1912. Ф. Пашен и Э. Бак открыли эффект упрощения картины расщепления спектральных линий в сильном магнитном поле (эффект Пашена — Бака).

Г. Герц



● Открытие изотопов (Дж. Дж. Томсон).

● А. Рассел и К. Росси доказали идентичность оптических спектров изотопов (на примере тория и протия).

● Э. Мейер экспериментально показал, что гамма-лучи имеют ту же природу, что и рентгеновские лучи, но являются более жесткими.

● П. Дебай развил представление о твердом теле как изотропной упругой среде, способной совершать колебания в конечном диапазоне частот (модель твердого тела Дебая), и рассчитал спектр собственных частот кристалла (квантование спектра нормальных колебаний атомов кристалла).

● Введение П. Дебаем харак-

теристической температуры:

$$\Theta_D = \hbar \nu_{\text{макс}} / k$$

(дебаевская температура).

Здесь $\hbar$ — постоянная Планка; k — постоянная Больцмана; $\nu_{\text{макс}}$ — наибольшая частота упругих колебаний твердого тела.

Определяет для каждого вещества область, где становятся существенными квантовые эффекты.

● Установление П. Дебаем пропорциональности теплоемкости кристаллической решетки C_V при низких температурах третьей степени абсолютной температуры:

$$C_V = \frac{2\pi^2 k}{5 (\hbar \bar{u})^3} (kT)^3 V$$

(закон теплоемкости Дебая).

Здесь $\bar{u}$ — скорость звука; V — объем.

● М. Борн и Т. Карман построили теорию колебаний кристаллической решетки, характеризующихся целым спектром частот.

● А. И. Бачинский установил закон вязкости жидкостей (закон Бачинского).

● И. Ленгмюр разработал теорию теплопроводности.

1912—1913. Разработка А. Эйнштейном и М. Гроссманом тензорно-геометрической концепции гравитации, составляющей основу общей теории относительности (теория Эйнштейна — Гроссмана). Согласно этой концепции пространство — время является искривленным, римановым, и метрический тензор, определяющий расстояние между двумя бесконечно близкими точками, одновременно играет роль гравитационного потенциала. Степень искривления пространства — времени определяется распределением движущейся материи и характеризует гравитационное поле.

● О. Сакур и Г. Тетроде независимо вывели формулу для энтропии идеального газа (формула Сакура — Тетроде).

1912. А. Эйнштейном установлен основной закон фотохимии (закон Эйнштейна).

1913. Н. Бор сформулировал два квантовых постулата, которые характеризуют особенности движения электронов в атоме (постулаты Бора): 1) существуют стационарные состояния атома, характеризующиеся дискретным набором «разрешенных» значений энергии, в которых он не излучает. Изменение энергии атома возможно только при квантовом (скачкообразном) переходе из одного стационарного состояния в другое; 2) атом испускает или поглощает электромаг-

нитное излучение определенной частоты ν в виде кванта света энергии, равной разности энергий атома в стационарных состояниях: $h\nu = E_1 - E_2$, где h — постоянная Планка; E_1 и E_2 — значения энергий атома в стационарных состояниях, между которыми осуществляется переход. Набор возможных дискретных частот квантовых переходов определяет линейчатый спектр атома.

● Н. Бор, применив свои квантовые постулаты к планетарной модели атома Резерфорда, разработал первую квантовую теорию атома водорода (теория атома Бора). В частности, рассматривая классическое движение электрона вокруг ядра, дополнил его квантовым условием, согласно которому момент количества движения электрона по «разрешенной» орбите должен быть кратным $\hbar$: $mvr = n\hbar$, где m — масса электрона; v — скорость его движения по орбите радиуса r ; $\hbar = h/2\pi$; $n = 1, 2, 3, \dots$ — главное квантовое число. Из этого условия легко получить радиусы r_n «разрешенных» круговых орбит и полную энергию E_n электрона на таких орбитах:

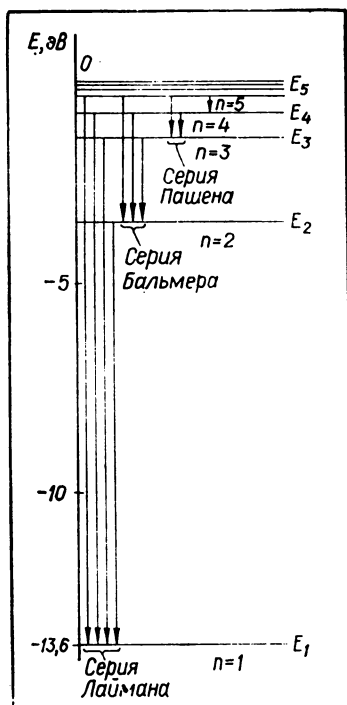
$$r_n = \frac{\hbar^2}{me^2} n^2 = a_0 n^2;$$

$$E_n = -\frac{me^4}{2\hbar^2 n^2} \approx -\frac{13,6}{n^2} \text{ эВ.}$$

Здесь e — заряд электрона; $a_0 = \hbar^2/me^2 \approx 0,5 \cdot 10^{-8}$ см — боровский радиус ближайшей к ядру орбиты.

Квантовые постулаты также позволили Бору получить формулу для частоты спектральных линий в видимой области спектра атома водорода. Экспериментальное подтверждение теории Бора дали опыты Франка — Герца (1912—1914).

Схема энергетических уровней атома водорода по Бору



В 1916 теория Бора была усовершенствована А. Зоммерфельдом. Теория атома Бора явилась важным этапом на пути создания квантовой механики.

● Введение понятия дефекта массы (П. Ланжевен).

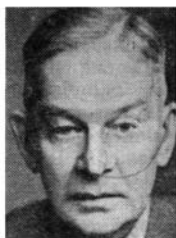
● Сформулировано положение о том, что заряд ядра атома численно равен порядковому номеру соответствующего элемента в периодической таблице (А. Ван ден Брук). Впервые эту мысль высказал также Н. Бор в 1911—1912 в своей теории атомных спектров.

● А. Ван ден Брук выдвинул гипотезу строения атомных ядер из протонов и электронов (протонно-электронная гипотеза). В 1932 ее заменила протонно-нейтронная модель ядра.

● Сформулировано представление об изотопах элементов и введен термин «изотопы» (Ф. Содди). Впервые изотопы были открыты Дж. Дж. Томсоном, который в 1912 обнаружил существование атомов неона с массой 20 и 22. Мысль об изотопии химических элементов высказал в 1886 У. Крукс.

● Ф. Содди и К. Фаянс независимо друг от друга уста-

Ф. Содди



новили правило смещения при радиоактивном распаде (закон Содди — Фаянса). Это сделал также А. Рассел.

● И. Штарк открыл явление расщепления спектральных линий в электрическом поле (эффект Штарка). Впервые (1899) обратил внимание на возму-

щение атомов электрическим полем В. Фойгт.

1913—1914. Г. Мозли установил, что корень квадратный из частоты спектральной линии характеристического рентгеновского излучения элемента линейно зависит от порядкового номера Z этого элемента:

$$\sqrt{\frac{\nu_{K\alpha}}{\frac{3}{4}R}} = Z - 1$$

(закон Мозли).

Здесь K_{α} — одна из линий K — серии; R — постоянная Ридберга. Этот закон позволил

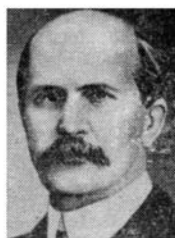
Г. Мозли



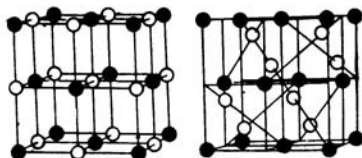
выяснить физический смысл порядкового номера химического элемента и его равенство заряду ядра атома.

1913. Г. Брэгг изобрел рентгеновский спектрометр.

Г. Брэгг



Модели кристаллических структур по Г. Брэггу



● Расшифрована первая кристаллическая структура (NaCl) методом дифракции рентгеновских лучей. Положено начало рентгеноструктурному анализу и рентгеновской спектроскопии (Г. и Л. Брэгги, Г. В. Вульф).

Г. В. Вульф



● Разработана теория дифракции рентгеновских лучей (Ч. Дарвин).

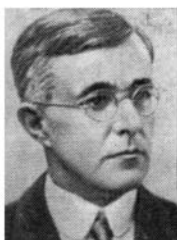
● Разработан метод меченых атомов (Д. Хевеши, Ф. Панет).

● Ф. Астон предложил метод газовой диффузии для разделения изотопов.

● А. Ф. Иоффе доказал статистический характер элементарного фотоэффекта.

● И. Ленгмюром установлен закон для плотности тока термоэлектронной эмиссии (закон трех вторых Ленгмюра).

И. Ленгмюр



● В. К. Аркадьев обнаружил избирательное поглощение радиоволн ферромагнетиками (ферромагнитный резонанс).

● Обнаружена сверхпроводимость свинца с $T_{\text{кр}} = 4,1 \text{ К}$. В 1930 обнаружена сверхпроводимость вольфрама с $T_{\text{кр}} = 9,2 \text{ К}$.

● Открытие Г. Камерлинг-Оннесом разрушения сверхпроводимости током.

● Ж. Саньяк наблюдал смещение интерференционных полос при вращении кольцевого интерферометра (эффект Саньяка). Доказал возможность экспериментального определения скорости вращения системы для наблюдателя, находящегося в ней. Опыт Саньяка дал возможность А. Майкельсону определить в 1925 скорость вращения Земли вокруг оси. В 1962 его повторил А. Джаван с использованием лазеров.

● В. Геде изобрел молекулярный вакуумный насос.

● Появился короткий звуковой кинофильм. Попытки осуществления звукового кино были предприняты еще примерно в 1900. Однако первый в современном понимании звуковой кинофильм был продемонстрирован в Берлине в 1922 (Дж. Энгл и др).

● Ч. Бялобжеский высказал идею о лучистом переносе энергии в звездах.

1914. Э. Резерфорд и Э. Андраде экспериментально осуществили дифракцию гамма-лучей на кристалле, доказав тем самым их электромагнитную природу.

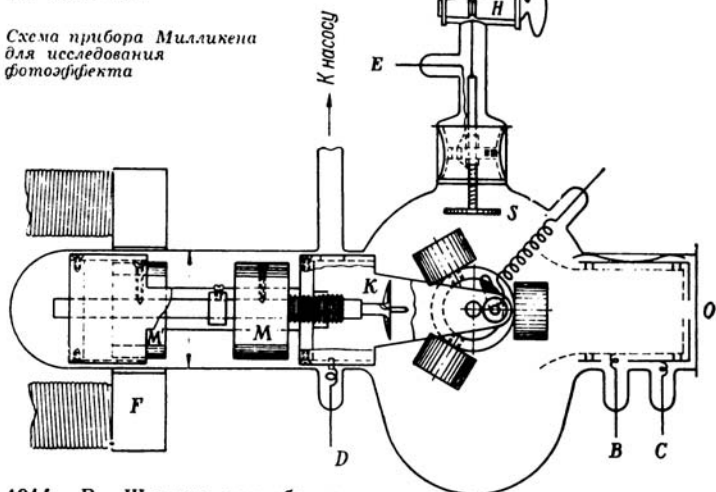
● Доказана идентичность рентгеновских спектров изотопов, чем окончательно подтверждено равенство порядковых номеров у изотопов данного элемента (Э. Резерфорд, Э. Андраде).

● Дж. Чадвик открыл непрерывный спектр энергии бета-излучения.

● В. Коссель, исходя из представлений об электронных оболочках атома, которые создают вокруг ядра последовательные слои, объяснил возникновение рентгеновских спектров. 1914—1916. Р. Милликен экспериментально подтвердил уравнение Эйнштейна для фотоэф-

фекта $h\nu = mc^2/2 + A_{\text{вых}}$. Он показал, что уравнение Эйнштейна адекватно описывает различные стороны фотоэлектрического эффекта и концепция кванта излучения правильна. Вычисленное Милликеном значение h , равное $6,56 \cdot 10^{-27}$ эрг · с, оказалось в полном согласии с величиной, первоначально определенной М. Планком.

Схема прибора Милликена для исследования фотоэффекта



1914. В. Шоттки разработал теорию эффекта в металлах, заключающегося в уменьшении работы выхода электронов из металлов под действием внешнего электрического поля (эффект Шоттки).

● Г. Камерлинг-Оннес открыл разрушение сверхпроводимости магнитным полем.

● Наблюдение слабого ферромагнетизма (Т. Смит).

● У. Кулидж построил высоковакуумную рентгеновскую трубку с источником электронов в виде накаливаемого вольфрамового катода (трубка Кулиджа).

1915. У. Харкис ввел понятие эффекта упаковки в ядрах.

1915—1916. А. Зоммерфельд независимо от У. Вильсона

и Дж. Ишивары (1915) предложил метод квантования механических систем, определяемых несколькими переменными, и применил его к атомной модели Бора, введя в рассмотрение эллиптические орбиты (теория Бора — Зоммерфельда). В результате правила от-

бора «разрешенных» орбит в атоме Зоммерфельд сформулировал в более общей форме и ввел радиальное и азимутальное (орбитальное) квантовые числа.

А. Зоммерфельд



● А. Зоммерфельд, используя свои правила квантования и учитывая релятивистскую зависимость массы электрона от

скорости, построил теорию тонкой структуры спектра атома водорода и водородоподобных атомов и получил формулу для тонкой структуры одноэлектронных спектров. Вычислил постоянную тонкой структуры $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$.

1915. У. Дуэном и Ф. Хантом установлен закон, определяющий коротковолновой предел непрерывного спектра рентгеновских лучей (закон Дуэна — Ханта).

● С. Барнеттом обнаружено явление возникновения в теле при вращении в отсутствие внешнего магнитного поля намагниченности (эффект Барнетта).

● А. Эйнштейном и В. де Гаазом обнаружено возникновение вращения тела при намагничивании (эффект Эйнштейна — де Гааза).

● А. Эйнштейн получил обобщенные уравнения гравитационного поля:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik}$$

(уравнения Эйнштейна),

завершив создание общей теории относительности (ОТО). К аналогичным уравнениям поля пришел также Д. Гильберт в докладе «Основания физики», зачитанном им 20 ноября того же года в Геттингенском математическом обществе.

● А. Эйнштейн дал полное объяснение аномальной прецессии перигелия Меркурия, получив для его смещения за столетие значение $1,8''$.

● К. Бенедикс обнаружил выпрямляющее действие точечного контакта с германием.

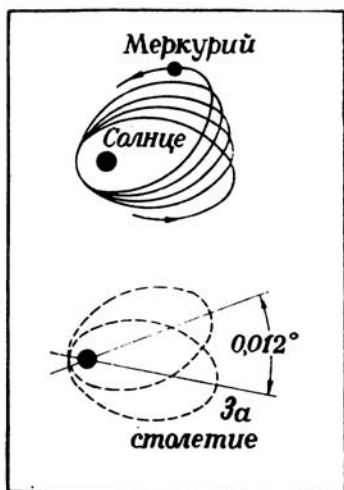
● В. Гедде изобрел диффузионный вакуумный насос.

1916. П. Дебай и А. Зоммерфельд построили квантовую теорию нормального эффекта Зеемана.

● Введение представления о пространственном квантовании

и магнитного квантового числа (П. Дебай, А. Зоммерфельд). Опытное доказательство пространственного квантования, т. е. квантования момента количества движения атома, дали в 1921—1922 О. Штерн и В. Герлах.

Схема обращения Меркурия вокруг Солнца и смещения его перигелия



● П. Эвальд построил динамическую теорию интерференции рентгеновских лучей.

● М. Сигбан открыл серию *M* в рентгеновском спектре.

М. Сигбан



● Введение импульса фотона (А. Эйнштейн).

● В. Коссель, исходя из теории атома Бора, показал, что химические свойства атомов определяются числом валентных электронов во внешней

электронной оболочке, и объяснил химические взаимодействия.

● П. С. Эпштейн и независимо К. Шварцшильд сформулировали общую квантовую теорию многократно периодических систем и использовали ее для объяснения эффекта Штарка в спектре водорода.

● П. Дебай и П. Шеррер предложили метод исследования структуры поликристаллических материалов при помощи дифракции рентгеновских лучей (метод Дебая — Шеррера).

● Р. Толмен и Т. Стюарт обнаружили явление инерции электронов в металлах (эффект Толмена — Стюарта).

Первая правильная интерпретация явления дана в 1936 Ч. Дарвиным.

● Ф. Сильсби высказал предположение, что разрушение сверхпроводимости током происходит под действием магнитного поля тока (гипотеза Сильсби).

● Вышла работа А. Эйнштейна «Основы общей теории относительности», которой он завершил создание релятивистской теории гравитации, дав систематическое изложение ее физических основ и математического аппарата и объяснив физическую сущность тяготения. Для проверки ее Эйнштейн указал на три возможных эффекта: смещение перигелия Меркурия, искривление световых лучей в поле тяготения Солнца и релятивистское красное смещение. На основе ОТО возникла современная космология.

● Постулирование А. Эйнштейном гравитационных волн. В 1918 он вывел формулу для мощности гравитационного излучения.

● К. Шварцшильд получил первое решение уравнения тяготения Эйнштейна, описывающее гравитационное поле сферической массы (решение

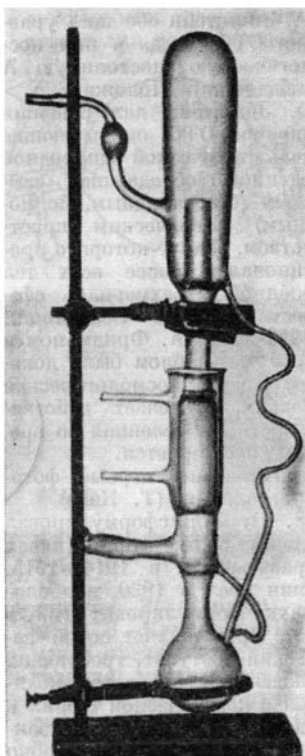
Шварцшильда), и ввел понятие гравитационного радиуса $r_g = 2GM/c^2$, где G — гравитационная постоянная; M — масса тела; c — скорость света.

● А. Ф. Иоффе и М. В. Кирпичева экспериментально доказали существование поперечной проводимости в кристаллах — прохождение понов сквозь решетку поперечного кристалла под действием поля.

● И. Ленгмюр изобрел конденсационный пароструйный вакуумный насос (конденсационный насос Ленгмюра).

● П. Ланжевен разработал методы получения ультразвука при помощи пьезокварца,

Конденсационный вакуумный насос Ленгмюра



положив начало ультраакустики.

1917. Введение Ф. Содди понятия ядерной изомерии.

● У. Харкинс нашел, что более стабильны ядра с четным значением атомного числа и встречаются чаще, чем с нечетным.

● У. Харкинс выдвинул идею ядерной периодичности.

● А. Эйнштейн предсказал индуцированное (вынужденное) излучение и ввел понятие вероятностей переходов для спонтанного и вынужденного испусканий и поглощений света (коэффициенты Эйнштейна), вывел формулу для распределения энергии в спектре равновесного излучения. Эффект индуцированного излучения лежит в основе работы мазеров и лазеров.

● А. Эйнштейн обобщил уравнения ОТО, введя в них космологическую постоянную Λ (лямбда-член). Положив $\Lambda > 0$, Эйнштейн дал решения уравнений ОТО, описывающие модель статической однородной Вселенной, обладающей замкнутым (безграничным, но конечным) сферическим пространством, радиус которого пропорционален массе всех тел Вселенной (трехмерная сферическая модель Вселенной). В 1922—1924 А. Фридманом и в 1929 Э. Хабблом было доказано, что эта космологическая модель не отвечает действительности и Вселенная со временем расширяется.

● Изготовлены первые фотосопротивления (Т. Кэйз).

1918. Н. Бор сформулировал принцип соответствия (начал разрабатывать в 1914—1915, термин ввел в 1920, наиболее полную формулировку дал в 1923). Представляет собой физический постулат, требующий совпадения результатов квантовой и классической теории в предельном случае, когда квантовые эффекты малы. Широко

использовался Бором и его школой при исследовании строения многоэлектронных атомов и спектров.

● А. Демпстер построил первый масс-спектрометр. Принцип действия предложен в 1907 Дж. Дж. Томсоном. Существенный прогресс в развитии масс-спектрометрии наступил только в 1940, когда А. Нир создал прибор секторного типа с фокусировкой по направлению.

● Открыты изобары (Т. Стюарт).

● Наблюдение деполяризации света, рассеянного системами сферически симметричных частиц газа (Р. Стрэтт). В 1920 обнаружена деполяризация рассеянного света в жидкостях (У. Мартин).

● П. Вейсс и А. Пикар обнаружили, что быстрое наложение сильного магнитного поля приводит к повышению температуры ферромагнетика (магнетокалорический эффект).

● Изобретен электромагнитный насос (Д. Гартман). В 1926 это сделали также А. Эйнштейн и Л. Сцилард, а в 1927 — П. Е. Тряпицын.

● Э. Нётер открыла связь свойств симметрии с законами сохранения (теорема Нётер).

● Выдвинута идея объединенного описания всех полей и вещества на базе геометризированной картины мира — единая теория поля (Г. Вейль, Э. Картан, А. Эддингтон, А. Эйнштейн и др.).

● Г. Вейль предложил первый вариант единой теории поля, основанный на обобщении римановой геометрии.

1919. Э. Резерфорд осуществил первую искусственную ядерную реакцию, превратив азот в кислород: ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$. Здесь ${}^{14}_7\text{N}$ — ядро азота; ${}^4_2\text{He}$ — альфа-частица; ${}^{17}_8\text{O}$ — ядро кислорода; ${}^1_1\text{H}$ — протон.

● Э. Резерфорд открыл протон как составляющую сложных ядер.

● Получено первое значение размеров ядра — 10^{-13} см (Э. Резерфорд).

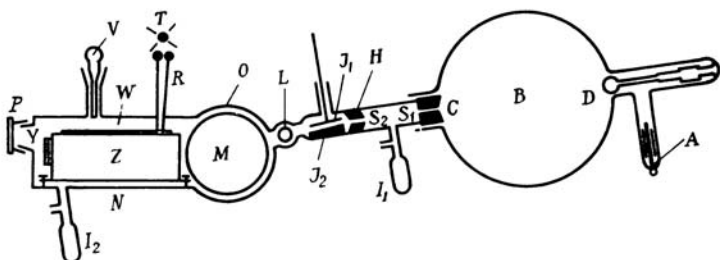
● Ф. Астон построил масс-спектрограф с достаточно высокой разрешающей способностью.

● Ф. Астон предложил электромагнитный метод разделения изотопов.

Ф. Астон



Схема первого масс-спектрографа Астона



● В. Коссель и А. Зоммерфельд установили спектроскопический закон смещения.

● Первая экспериментальная проверка отклонения света звезды в поле тяготения Солнца, предсказанного общей теорией относительности (А. Эддингтон).

● Г. Баркгаузен открыл явление скачкообразного изменения намагниченности ферромагнетиков при непрерывном изменении магнитного поля (эффект Баркгаузена).

● Получено доказательство существования ферромагнитных доменов (Г. Баркгаузен).

● Обнаружение аномальной диэлектрической проницаемости сегнетовой соли (Д. Андерсон, Никольсон). Подробно исследована (1921) Дж. Валашеком, что явилось открытием сегнетоэлектричества.

1920. Прямое измерение скорости молекул (О. Штерн).

● Э. Резерфорд выдвинул гипотезу о существовании нейтрона и дейтрона. К идее нейтрона пришел в этом же году и У. Харкинс.

● У. Харкинс вывел формулы и привел таблицы состава легких ядер (до кобальта), ввел деление ядер на четно-четные и четно-нечетные.

● Д. Хевеши и Л. Цехмайстер впервые наблюдали явление изотопного обмена.

● Впервые выдвинута идея объяснения энергии звезд термоядерными реакциями синтеза гелия из водорода (А. Эд-

М. Саха



дингтон, Ж. Перрен).

● П. Л. Капица и Н. Н. Семенов предложили метод определения магнитных моментов атомов в атомном пучке. Реализован О. Штерном и В. Герлахом в 1921—1922,

● А. Смекал, Д. Костер и Г. Вентцель систематизировали рентгеновские термины аналогично термам щелочных металлов.

1921—1922. О. Штерн и В. Герлах экспериментально доказали, что магнитный момент атома во внешнем магнитном поле приобретает лишь дискретные значения (опыт Штерна — Герлаха).

● П. Бор заложил основы физического истолкования периодического закона химических элементов (теория периодической системы Бора), в частности, развил представления о последовательном захвате и связывании электронов ядром, о постепенном заполнении электронных оболочек, характеризующихся значениями главного и азимутального квантовых чисел.

О. Штерн



1922. А. Комптон открыл явление рассеяния коротковолнового излучения на свободном или слабо связанном электро-не (эффект Комптона), чем экспериментально доказал существование фотона, постулированного в 1905 А. Эйнштейном. В 1923 Комптон и независимо П. Дебай дали теоретическую интерпретацию этому явлению.

А. Комптон



1922—1924. Л. Мейтнер развила представления о дискретных энергетических состояниях ядер.

1922. М. Каталан открыл спектральные мультиплеты.

● Ф. Брэкетт открыл спектральную серию в инфракрас-

ной области спектра атома водорода (серия Брэкетта). Волновые числа ее линий определяются формулой $\nu = R(1/4^2 - 1/m^2)$, где $m = 5, 6, 7, \dots$

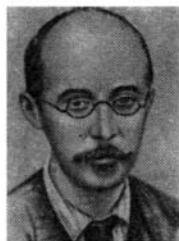
● Э. Шредингер построил квантовую теорию эффекта Доплера.

● Предсказание Л. Бриллюэном изменения спектрального распределения при рассеянии света в кристаллах (аналогичные результаты в 1926 получены и Л. И. Мандельштамом). Отсюда название «эффект Бриллюэна — Мандельштама». Экспериментально обнаружен в 1930 Л. И. Мандельштамом, Г. С. Ландсбергом и Е. Ф. Гроссом.

● О. В. Лосев открыл генерацию электромагнитных колебаний высокой частоты контактом металл — полупроводник.

● Ю. Лилиенфельд обнаружил явление автоэлектронной эмиссии — испускание электронов металлами под воздействием электрического поля. 1922—1924. А. А. Фридман нашел нестационарные решения гравитационных уравнений Эйнштейна и предсказал расширение Вселенной (не-

А. А. Фридман



стационарная космологическая модель), подтвержденное в 1929 открытием явления разбегания галактик. Положил начало современной релятивистской космологии.

1922. Ч. Дарвин и Р. Фаулер разработали метод вычисления статистических интегралов.

1923. П. Л. Капица поместил камеру Вильсона в магнитное поле и наблюдал искривление треков заряженных частиц. В 1924 с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле, впервые начал количественные исследования взаимодействия релятивистских частиц с веществом Д. В. Скобелев.

Д. В. Скобелев



● А. Ланде построил систематику мультиплетных спектров и их зеемановских расщеплений (векторная модель Ланде).

● Д. Хевеши впервые применил метод меченых атомов в биологии, исследовав поглощение растениями радиоактивного свинца из раствора.

Д. Хевеши



● Предсказание комбинационного рассеяния света (А. Смекал). Открыто в 1928 Л. И. Мандельштамом и Ч. Раманом с соотр.

● С. И. Вавилов и В. Л. Лёвшин обнаружили первый нелинейный эффект в оптике — уменьшение поглощения света урановым стеклом с ростом интенсивности света.

1923—1924. Луи де Бройль высказал и развил идею о волновых свойствах материи (волны де Бройля). Частице с энергией E и импульсом p он сопоставил волну с частотой $\nu = E/h$ и длиной волны $\lambda = h/p$. Идея Л. де Бройля о всеобщности корпускулярно-волнового дуализма легла в основу волновой механики Шредингера.

1923. Предсказание парамагнитного и ферромагнитного резонансов (Я. Г. Дорфман).

● П. Дебай и Э. Хюккель сформулировали теорию сильных электролитов, объясняющую вид зависимости коэффициента активности от концентрации, — логарифм коэффициента активности пропорционален корню квадратному из концентрации (формула Дебая — Хюккеля).

● А. Ф. Иоффе сформулировал основные представления о природе прочности твердых тел, в частности установил влияние состояния поверхности на характер разрушения (эффект Иоффе).

● А. Эйнштейн предложил вариант единой теории поля, разработкой которой он занимался всю последующую жизнь.

● А. А. Глаголева-Аркальева получила электромагнитные волны от 50 мм до 82 мкм, доказав тем самым существование нового спектрального интервала, перекрывающего промежуток между сравнительно длинными электромагнитными волнами и инфракрасными лучами.

1924. В. Паули для объяснения сверхтонкой структуры спектральных линий предложил гипотезу ядерного спина.

● Ш. Бозе и А. Эйнштейн разработали квантовую статистику для систем тождественных частиц с нулевым или целым спином (статистика Бозе — Эйнштейна). Характерной ее

особенностью является то, что в каждом квантовом состоянии может находиться любое количество одинаковых частиц. Первоначально предложена Бозе для фотонов на основе идеи квантования фазового пространства на ячейки величиной h^3 и развита в том же году Эйнштейном применительно к идеальному газу (метод подсчета возможных состояний неразличимых частиц был ясно осознан еще в 1911 В. Натансоном).

● Ш. Бозе на основе идеи квантования фазового пространства дал строгое обоснование закона теплового излучения Планка и вывел формулу этого закона.

1924—1925. А. Эйнштейн построил квантовую теорию одноатомного идеального газа, в которой развил представление о вырожденном идеальном газе при низких температурах.

● В. Паули сформулировал один из важнейших принципов современной теоретической физики, согласно которому две тождественные частицы с полуспином не могут находиться в одном и том же состоянии (принцип Паули). Принцип Паули определяет образование электронных оболочек атомов, ядерных оболочек и их структуру, объясняет тонкую и сверхтонкую структуру атомных спектров, химическую связь молекул, используется при анализе ядерных реакций.

1924. Э. Стовер модифицировал боровскую периодическую систему элементов, дав свою схему заполнения электронных оболочек и полную систематику термов. В частности, ввел подразделение электронных оболочек атома на подоболочки.

● О. Лапорт сформулировал закон сохранения пространственной четности применительно к процессу испуска-

ния света атомами (правило Лапорта).

● Х. Крамерс вывел формулу дисперсии, в которой учел влияние вынужденного излучения. Изменение показателя преломления, обусловленное этим излучением, он назвал отрицательной дисперсией.

● Открытие явления концентрации деполяризации (П. Прингсгейм, Э. Гавиола).

● Дж. Слэтер ввел понятие виртуальных осцилляторов.

● П. Л. Капица предложил импульсный метод получения сверхсильных магнитных полей (напряженностью до 500 тыс. эрстед).

● Г. Камерлинг-Оннес и Дж. Бокс выполнили первые точные измерения зависимости плотности жидкого гелия от температуры и обнаружили максимум плотности.

● В. Кеезом получил гелий в твердом состоянии.

● Р. Малликен обнаружил наличие нулевой энергии квантовой системы.

● Разработан метод совпадения (В. Боте).

Э. Эпплтон



● Э. Эпплтон обнаружил ионосферу. В 1926 открыл в ней верхний отражательный слой E (слой Эпплтона), постулированный в 1902 О. Хевисайдом.

● Открытие галактик (Э. Хаббл).

● Передана первая фоторадиограмма из Лондона в Нью-Йорк.

1925. Экспериментально доказана справедливость законов

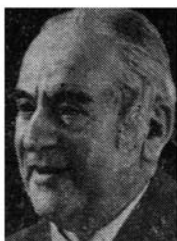
сохранения энергии и импульса при рассеянии гамма-квантов на электронах для каждого элементарного акта рассеяния (В. Боте, Х. Гейгер).

В. Боте



● С. Гаудсмит и Дж. Уленбек постулировали существование внутреннего механического и

С. Гаудсмит



магнитного моментов у электрона (спиновая гипотеза). Спиновая гипотеза (понятие спина) сразу же разъяснила много трудных вопросов и получила всеобщее признание (к идее спина в 1921 пришел А. Комптон и в 1925 Р. Крониг).

● В. Гейзенберг сделал решающий шаг на пути преодоления трудностей недостаточно последовательной квантовой теории Бора и, исходя из принципа ограничения только наблюдаемыми величинами и из сопоставления координатам и импульсам особых операторов, заложил основы новой, квантовой механики. В этом же году М. Борн и П. Иордан придали идеям Гейзенберга корректную математическую формулировку, введя матрицы координат и импульсов (матричная квантовая механика).

1925—1926. Выполнен квантовомеханический расчет атома водорода (В. Гейзенберг, Э. Шредингер).

Дж. Уленбек



1925. Впервые получены в камере Вильсона фотографии расщепления ядра азота альфа-частицами и следа протона и ядра отдачи (П. Блэкетт).

● П. Оже открыл явление автоионизации возбужденного атома в результате внутреннего перераспределения энергии возбуждения (эффект Оже).

● Разработан метод регистрации заряженных частиц при помощи толстослойных ядерных фотоэмульсий (Л. В. Мысовский и др.).

● В. Эльзассер, исходя из идеи Л. де Бройля о волнах материи, предсказал дифракцию электронов (в 1936 — нейтронов).

● Г. Рассел и Ф. Саундерс установили спин-орбитальное взаимодействие электронов в атоме (связь Рассела — Саундерса).

● Объяснение сложных спектров элементов (Г. Рассел и Ф. Саундерс; В. Гейзенберг; С. Гаудсмит и Дж. Уленбек; Ф. Хунд).

● Г. Изинг предложил линейный резонансный ускоритель. В 1928 первый успешный эксперимент с таким ускорителем провел Р. Видероз.

● В. Лёвшин разработал (независимо от Ф. Перрена) теорию поляризованной люминесценции.

● Э. Изинг предложил модель ферромагнетизма (модель Изинга).

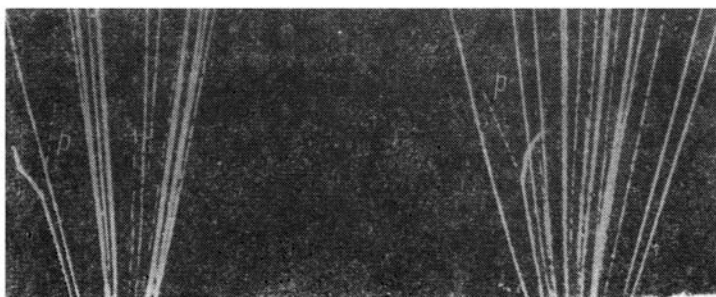
● Э. Меррит обнаружил полупроводниковые свойства у германия.
1926. Э. Шредингер построил волновую механику и сформулировал ее основное уравнение:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}\psi$$

(уравнение Шредингера),

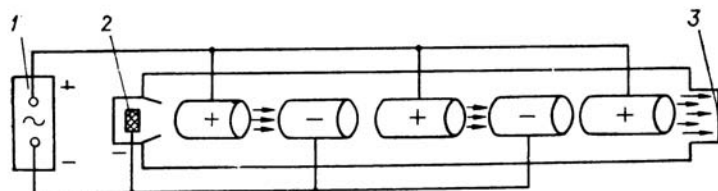
где ψ — волновая функция, или пси-функция; $\hat{H}$ — оператор Гамильтона. Уравнение

Фотографии, полученные П. Блэккетом в камере Вильсона, на которых впервые зарегистрирован протон, вылетевший после столкновения с ядром азота α -частицы



Шредингера описывает во времени изменение состояния квантовых объектов, характеризующихся волновой функцией. Оно позволило объяснить и предсказать большое число атомных явлений, вычислить основные характерис-

Схема устройства линейного резонансного ускорителя протонов:
1 — генератор высокой частоты;
2 — ионный источник;
3 — мишень



тики атомных систем, понять широкий круг ядерных процессов. Лежит в основе современной квантовой механики.
● М. Борн дал статистическую интерпретацию волновой функции, согласно которой квадрат ее модуля определяет вероятность значений тех фи-

П. Блэккетт



зических величин, от которых она зависит.

● М. Борн и Н. Винер ввели в квантовую механику операторы.

● П. Дирак разработал алгебру q -чисел (квантовую механику в операторной форме).

● Завершение М. Борном, В. Гейзенбергом и П. Иорданом и независимо П. Дираком построения формализма матричной квантовой механики.

● В. Гейзенберг произвел квантовомеханический расчет атома гелия. В 1929 это сделал также Э. Хиллерос.

● Э. Шредингер доказал математическую эквивалентность матричной и волновой механики.

● О. Клейн, В. А. Фок и В. Гордон независимо, обобщив уравнение Шредингера, пред-

О. Клейн



ложили простейшее релятивистски инвариантное волновое уравнение для частиц с нулевым спином (уравнение Клейна — Фока — Гордона). Явилось первым релятивистским уравнением квантовой механики.

● Л. Бриллюэн, Г. Вентцель, и Х. Крамерс разработали метод нахождения приближенных собственных значений и

Л. Бриллюэн



собственных функций одномерного уравнения Шредингера, устанавливающий связь со старыми правилами квантования Бора — Зоммерфельда (метод БВК).

● Э. Шредингер разработал теорию возмущений — приближенный метод в квантовой механике.

● П. Дирак и независимо П. Иордан разработали теорию преобразований (представлений) — эффективный аппарат квантовой механики.

● М. Борн развил приближенный метод решения задачи о рассеянии частиц силовым центром (борновское приближение).

Г. Вентцель



● Э. Шредингер выдвинул концепцию волнового пакета.

● В. Гейзенберг объяснил наличие двух систем термов для пара- и ортогелия: паратермы соответствуют симметричным, а ортотермы — антисимметричным решениям волнового уравнения.

● Э. Ферми и независимо П. Дирак разработали квантовую статистику частиц с полуце-

Х. Крамерс



лым спином (статистика Ферми — Дирака).

● Дж. Ван Флек разработал квантовую теорию диамагнетизма (в 1927 это сделал также Л. Полинг).

● Ю. Вигнер впервые использовал в квантовой механике теорию групп.

● Я. П. Френкель ввел понятия о подвижных дырках в

решетке кристалла (дырочная проводимость) и о дефектах кристаллической решетки, представляющих собой дырку и атом в междоузлии (дефекты по Френкелю).

Н. П. Френкель



● П. Дебай и У. Джинок независимо предложили метод получения низких температур при помощи адиабатического размагничивания парамагнетиков (магнитное охлаждение). В 1933—1934 В. де Гаазом, У. Джинок и Ф. Саймоном были проведены первые экспериментальные исследования этим методом.

1926—1927. Л. Томас и Э. Ферми независимо предложили метод нахождения распределения электронов в атоме и построили модель для описания электронной оболочки тяжелого атома с сравнительно однородным распределением плотности электронов (модель Томаса — Ферми).

● Х. Крамерс (1927) и Р. Крониг (1926) установили в классической электродинамике соотношения между вещественной и мнимой частями показателя преломления (дисперсионные соотношения Крамерса — Кронига).

1926. Положено начало гамма-дефектоскопии (Л. В. Мисовский).

● Открытие Х. Бушем фокусирующего действия магнитного поля и разработка им электронной магнитной линзы (для фокусировки электронного пучка в электроннолучевой трубке впервые применил

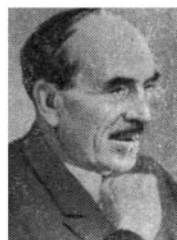
в 1899 катушку с током Э. Вихерт, фокусирующее действие катушки с током наблюдал также в 1903 А. Ф. Иоффе). Этим было положено начало электронной оптике.

● А. Ф. Иоффе и Э. Цехновитцер обнаружили возрастание ионной проводимости в NaCl под действием пластической деформации. Более детально этот эффект исследовали в 1928 З. Дьюлаи и Д. Хартли (эффект Дьюлаи — Хартли). В 1933—1934 его наблюдал А. В. Степанов.

● Сконструирован первый фазовый флюорометр (Э. Гавиола).

1926—1932. Н. Н. Семенов открыл разветвленные цепные химические реакции.

Н. Н. Семенов



1927. В. Гейзенберг сформулировал фундаментальное положение квантовой механики — соотношение неопределенностей (принцип неопределенности): $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar/2$. Здесь Δp — неопределенность значения импульса; Δx — неопределенность значения координаты. Принцип неопределенности оказался важным для понимания закономерностей внутриатомных процессов и завершения построения квантовой механики.

● Н. Бор сформулировал принцип дополнительности.

1927—1932. Дж. фон Нейман дал строгую математическую формулировку принципов квантовой механики.

1927. Завершено создание нерелятивистской квантовой ме-

ханики. В течение 1924—1927 были открыты ее основные законы, установлены основные принципы, разработан соответствующий математический аппарат и его физическая интерпретация (Н. Бор, М. Борн,

Дж. Нейман



Л. де Бройль, В. Гейзенберг, П. Дирак, В. Паули, Э. Шредингер и др.).

● Открытие дифракции электронов (К. Дэвиссон, Л. Джермер, Дж. П. Томсон), предсказанной В. Эльзассером в 1925. 1927—1928. Разработан метод вторичного квантования (Ю. Вигнер, П. Дирак, П. Иордан, О. Клейн). В 1932 этот метод

К. Дэвиссон



получил дальнейшее развитие в работах В. А. Фока.

1927. Л. Д. Ландау независимо от Дж. фон Неймана ввел представление о матрице плотности.

● В. Паули для описания спина электрона ввел матрицы (спиновые матрицы Паули).

● Д. Деннисон постулировал существование спина у p и получил для его величины значение $1/2$ (в единицах $\hbar$).

● Открытие спинов атомных ядер.

● В. Паули построил релятивистское уравнение, описывающее движение заряженной частицы со спином $1/2$ во внешнем электромагнитном поле (уравнение Паули). Является обобщением уравнения

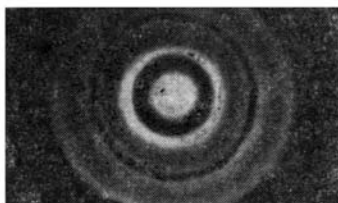
Дж. П. Томсон



Шредингера, учитывающим наличие у частицы спина.

● Выполнен первый квантовый расчет молекулы водорода, положивший начало квантовой химии (Ф. Лондон, В. Гайтлер).

Фотография дифракции электронов на золотой фольге, полученная Дж. П. Томсоном



● М. Борн и Р. Оппенгеймер разработали теорию строения двухатомных молекул.

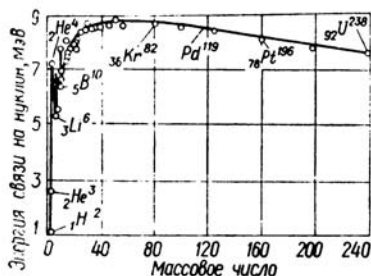
● Ю. Вигнером открыта зеркальная симметрия и сформулирован закон сохранения четности (введено представление о четности волновой функции).

● Построение первой кривой зависимости упаковочных коэффициентов от массовых чисел, характеризующей энергию связи атомных ядер (Ф. Астон).

● Ч. Эллис и У. Вустер обнаружили, что полная энер-

гия, переносимая бета-частицами в бета-распаде, соответствует среднему значению энергии по распределению, а не максимальному, что свидетельствовало о кажущемся нарушении баланса энергии в бета-распаде.

Кривая энергии связи



● У. Хаустон вычислил массу протона.

● П. Дирак построил квантовую теорию излучения, положив начало квантовой электродинамике и теории электромагнитного поля. В 1928—1932 В. Гейзенбергом, В. Паули, Э. Ферми, В. А. Фоком и др. были заложены основы квантовой электродинамики и квантовой теории поля. Идеи последней восходят к А. Эйнштейну (1909), П. Эренфесту (1906) и П. Дебаю (1910).

● Предсказана в рамках квантовой теории излучения тождественность квантов вынужденного и первичного излучений, лежащая в основе квантовой электроники (П. Дирак).

● Ф. Хундом установлены два эмпирических правила, которые определяют последовательность расположения атомных уровней в мультиплетах (правила Хунда).

● Р. Оппенгеймер рассчитал в общем виде прохождение частиц сквозь барьер между двумя потенциальными ямами. Теорию прохождения частицы через потенциальный барьер построили в 1928 Л. И. Ман-

дельштам и М. А. Леонтович.

● Разработка В. Паули теории парамагнетизма электронного газа (парамагнетизм Паули).

● Дж. Ван Флек разработал общую теорию парамагнитной восприимчивости атомов и молекул и получил парамагнитную добавку к диамагнитной восприимчивости несимметричных атомов и молекул, названную вавфлековским парамагнетизмом.

Дж. Ван Флек



● Л. Бриллюэн установил температурную зависимость парамагнитной восприимчивости (с учетом пространственного квантования магнитных моментов).

● Р. Крониг развил квантовую теорию магнитооптического вращения и магнитного циркулярного дихроизма. Это также сделали Л. Розенфельд и Х. Крамерс (1930).

● Д. В. Скобельцын впервые наблюдал в камере Вильсона, помещенной в магнитном поле, следы заряженных частиц высоких энергий космического излучения, положив начало изучению его природы.

● Я. Клей открыл широтный эффект космических лучей (в 1932 это сделал также А. Комптон).

● Р. Видероз разработал циклический индукционный ускоритель (к идее этого ускорителя пришел в 1922). В 1922 идею ускорителя выдвинул также Дж. Слэпэн.

● Получено прямое доказательство, что при абсолютном

нуле энергия кристалла проявляется как колебания атомов (Р. Джеймс, Э. Ферс).

● Создание теории теплового электрического пробоя диэлектриков (В. А. Фок).

● Ф. Саймон получил уравнение для кривой плавления (уравнение Саймона).

● С. И. Вавиловым открыта зависимость квантового выхода люминесценции от длины волны возбуждающего излучения (закон Вавилова).

● Построен первый технический выпрямитель с запирающим слоем на границе меди с закисью меди — купроксильный выпрямитель (Л. Грондаль, П. Гейгер).

1927—1928. Выдвинута идея о существовании в металлах энергетических зон (М. Стрэтт).

1928. П. Дирак вывел релятивистски инвариантное волновое уравнение 1-го порядка, описывающее движение релятивистского электрона, положив начало релятивистской квантовой механике.

● Разработана теория альфа-распада как туннельного процесса (Дж. Гамов, Э. Кондон, Р. Гёрни).

● Дж. Гамов дал модель прямоугольной потенциальной ямы.

● Р. Оппенгеймер с помощью представления о туннельном эффекте объяснил явление автоионизации возбужденных состояний атомарного водорода.

● В. Паули объяснил сверхтонкую структуру атомных спектров как результат взаимодействия магнитных моментов электрона и ядра.

● А. Зоммерфельд разработал квантовую теорию металлов, в которой рассмотрел электронный газ в металлах как идеальную систему, подчиняющуюся статистике Ферми — Дирака, дал объяснение низкой теплоемкости электрон-

ного газа. Независимо в этом же году теорию металлов построил Я. И. Френкель.

● Постулировано обменное взаимодействие и введены обменные силы (В. Гейзенберг, П. Дирак).

● Созданы первые квантово-механические теории ферромагнетизма, основанные на обменном взаимодействии электронов: коллективизированная модель (Я. И. Френкель) и модель локализованных спинов (В. Гейзенберг).

● Р. Фаулер и Л. Нордгейм объяснили явление холодной эмиссии электронов из металлов на основе электронного туннелирования (модель Фаулера — Нордгейма).

1928—1930. Разработка Ф. Блохом и Л. Бриллюэном основ зонной теории твердых тел.

● Предложен метод плоских волн для решения волнового уравнения кристалла (Х. Бете, 1928; Ф. Морс, Л. Бриллюэн, 1930).

1928—1932. Построена теория электропроводности металлов (Ф. Блох, Р. Пайерлс).

1928. Г. Найквист для электрических цепей сформулировал соотношение, определяющее величину тепловых флуктуаций тока или напряжения в цепи (теорема Найквиста). Широко используется при расчете тепловых шумов в измерительных и радиотехнических устройствах.

● Д. Хартри разработал приближенный метод решения задач теории многих тел — метод самосогласованного поля, развитый в 1930 В. А. Фоком (метод Хартри — Фока).

● Р. Ладенбург экспериментально доказал существование отрицательной дисперсии, предсказанной в 1921 им и в 1924 Х. Крамерсом.

● Открыта сверхтонкая структура линий атомных спектров (А. Н. Теренин, Л. Н. Добрецов, Г. Шюлер).

● Обнаружено комбинационное рассеяние света в кристаллах (Л. И. Мандельштам, Г. С. Ландсберг) и жидкостях (Ч. Раман, К. Кришнан).

Л. И. Мандельштам



● Получен спектр деполяризованного рассеяния (Ж. Кабанн, Ч. Раман).

Г. С. Ландсберг



● Открытие крыла линии Рэлея при исследовании комбинационного рассеяния света (Ж. Кабанн, А. Дор).

Ч. Раман



● Открыт в жидком гелии при температуре 2,19 К фазовый переход второго рода и установлено существование двух разновидностей гелия — гелия I и гелия II (В. Кеезом, М. Вольфке).

● Экспериментально доказана дискретная структура спектра

молекулярного кристалла при низких температурах (И. В. Обреимов).

● П. Л. Капица установил закон линейного возрастания

В. Кеезом



электрического сопротивления металла от напряженности магнитного поля (закон Капицы).

И. В. Обреимов



● Р. Толмен впервые применил общую теорию относительности к термодинамике.

● С. Я. Соколов разработал основные идеи ультразвуковой дефектоскопии (в 1927 он установил способность ультразвука проникать через металлы без заметного поглощения). 1928—1929. Предложены магнитогидродинамические насосы (А. Эйнштейн, Л. Сцилард). 1929. О. Клейн и Й. Нишина разработали квантовую теорию эффекта Комптона и вывели формулу, описывающую сечение рассеяния фотона электроном (формула Клейна — Нишины). Независимо ее в 1930 получил И. Е. Тамм.

● В. Гейзенберг и В. Паули построили общую схему квантования полей.

● В. Гайтлер и Г. Герцберг определили статистику ядра

азота (в 1930 это сделал и Ф. Разетти), найдя, что оно подчиняется статистике Бозе — Эйнштейна. Это доказывало несостоятельность протонно-электронной гипотезы строения ядер.

● О. Штерн открыл дифракцию атомов и молекул.

● В. Боте и В. Кольхёрстер применили метод совпадений для исследования космических лучей (опыты Боте — Кольхёрстера) и пришли к выводу, что первичное космическое излучение состоит из заряженных частиц.

● Р. Аткинсон и Ф. Хоутермавс высказали предположение, что источником энергии звезд являются термоядерные реакции.

● Н. Мотт рассмотрел рассеяние на бесконечно тяжелой бесструктурной точечной мишени и вывел формулу для

Н. Мотт



дифференциального сечения рассеяния атома (формула Мотта).

● Н. Мотт предсказал поляризацию электронного пучка при рассеянии.

● Открыты тяжелые изотопы кислорода O^{17} и O^{18} (У. Джиок).

● Х. Бете предложил теоретико-групповое рассмотрение внутрикристаллического поля.

● Создан первый современный фотокатод (Л. Коллер).

● Х. Крамерс сформулировал теорему, имеющую важное значение для проблемы магнетизма кристаллов (теорема Крамерса).

● Введены понятия плазмы и плазменных колебаний (И. Ленгмюр, Л. Тонкс).

● А. А. Слуцкий и Д. С. Штейнберг создали первый магнетронный генератор на длину волны 7,3 см.

1930. Открыто излучение большой проникающей способности, которое возникает при бомбардировке бериллия альфа-частицами (В. Боте, Г. Беккер). Исследование бериллиевого излучения привело в дальнейшем к открытию нейтрона.

● П. Дирак предложил теорию «дырок», развитую впоследствии В. Гейзенбергом (1934) и Х. Крамерсом (1937).

● И. Е. Тамм дал последовательный вывод формулы Клейна — Нишины для рассеяния света на электроны.

1930—1931. Создано представление об энергетическом спектре кристалла как совокупнос-

Р. Пайерлс



ти разрешенных полос энергии, разделенных запрещенными промежутками (Р. Пайерлс, Л. Бриллюэн, Р. Кроунинг и др.).

1930. В. А. Амбарцумян и Д. Д. Иваненко развили теорию дискретного пространства — времени.

● Дж. Слэтер предложил полярную модель кристалла, развитую в 1934—1936 С. П. Шубиным и С. В. Вонсовским.

● Возникновение концепции «зон Бриллюэна» (Л. Бриллюэн).

● Построена теория комбинационного рассеяния света (Л. П. Мандельштам, Г. С.

Ландсберг, М. А. Леонтович, И. Е. Тамм).

● И. Е. Тамм разработал квантовую теорию рассеяния света в кристаллах и ввел представление об упругих колебаниях в твердом теле (фононах). Идея фонона в неявном виде содержалась ранее в работах А. Эйнштейна (1907) и П. Дебая (1912).

С. В. Вонсовский



● Е. А. Кириллов открыл отрицательный фотоэффект.

● Создана теория доменного строения ферромагнетиков (Я. И. Френкель, Я. Г. Дорфман).

● Теоретическое предсказание Л. Д. Ландау диамагнетизма электронов в металлах (диамагнетизм Ландау).

● Ф. Блох ввел понятие о спиновых волнах.

● Ф. Блох установил температурную зависимость самопроизвольной намагниченности ферромагнетика в области низких температур (закон степени три вторых Блоха).

● Л. В. Шубников и В. де Гааз открыли осцилляции электрического сопротивления висмута в магнитном поле при температуре жидкого гелия (эффект Шубникова — де Гааза).

● К. Вагнер обнаружил существование двух типов полупроводников — так называемых «избыточных» (электронных) и «дефектных» (дырочных). В современном понимании полупроводники *n*- и *p*-типа.

● В. Шоттки ввел понятие пустых узлов кристаллической

решетки, не скомпенсированных атомом в междоузлии (дефектов по Шоттки).

В. Шоттки



● Установлена температурная зависимость проводимости полупроводников (В. Фогд).

● Н. С. Акулов разработал феноменологическую теорию магнитной анизотропии и магнитострикции.

● Ф. Лондон построил первую удовлетворительную теорию ван-дер-ваальсовых сил.

● Б. Ланге построил вентильный фотоэлемент.

1931. В. Паули выдвинул гипотезу о существовании нейтринно (идея нейтринно возникла у него в 1930).

● П. Дирак предсказал античастицы, рождение и аннигиляцию пар, выдвинул гипотезу о существовании элементарного магнитного заряда (монополь Дирака).

Р. Ван де Грааф



● Р. Ван де Грааф построил электростатический ускоритель заряженных частиц (генератор Ван де Граафа), принцип действия которого разработал в 1929.

● Построен циклотрон (Э. Лоуренс, М. Ливингстон). Идею

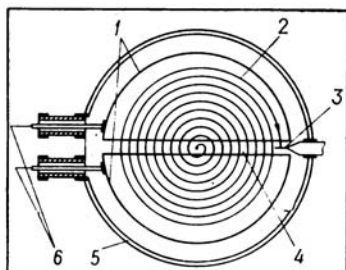
его выдвинули в 1927 М. Штенбек и в 1929 Л. Сцилард, Э. Лоуренс и Ж. Тибо. Первый циклотрон в Европе был построен Л. В. Мысовским в 1936 в Ленинграде.

Э. Лоуренс



Схема движения ионов в камере циклотрона:

- 1 — дуанты;
- 2 — траектория иона;
- 3 — мишень;
- 4 — ускоряющий промежуток;
- 5 — вакуумная камера;
- 6 — переменная разность потенциалов



● П. Эренфест и Р. Оппенгеймер показали, что ядра, состоящие из нечетного числа частиц со спином $1/2$, должны подчиняться статистике Ферми — Дирака, а из четного — статистике Бозе — Эйнштейна (теорема Эренфеста — Оппенгеймера).

● А. Вильсон построил квантовую модель полупроводника как совокупности разрешенной и свободной зон, разделенных запрещенным промежутком (энергетической щелью), между которыми существуют тепловые переходы

электронов (теория Вильсона). Ввел представление о донорной и акцепторной проводимости.

Схематическое изображение уровней энергии в металле (а), собственном полупроводнике (б), примесном (акцепторном) полупроводнике (в), примесном (донорном) полупроводнике (г). E_f — уровень Ферми



● На основе представлений о зонной структуре электронного спектра кристаллов выполнено деление их на металлы, полупроводники и диэлектрики (А. Вильсон).

● Р. Пайерлс разработал квантовую теорию теплопроводности как движения газа фононов, ввел понятие о процессах переброса.

● Я. И. Френкелем предсказан молекулярный экситон (экситон Френкеля) и положено начало теории экситонов. Основы ее заложили также Р. Пайерлс (1932), Г. Ванье (1937) и Н. Мотт (1938).

● В. де Гааз и П. ван Альфен открыли зависимость магнитной восприимчивости металлов от напряженности магнитного поля при низких температурах (эффект де Гааза — ван Альфена).

● Р. Крониг и У. Пенни представили поле кристалла в виде набора периодически повторяющихся прямоугольных по-

тенциальных ям (одномерная модель Кронига — Пенни).

● В. де Гааз и Дж. Вугд экспериментально доказали скачкообразный характер перехода в сверхпроводящее состояние.

● Ф. Биттер впервые наблюдал доменную структуру ферромагнетика методом порошковых фигур (в 1934 подобные наблюдения выполнили Н. С. Акулов и М. В. Дехтяр).

Ф. Биттер



● Ф. Биттер построил теорию взаимодействия доменных границ с дефектами кристалла, объяснил природу коэрцитивной силы.

● М. Гёпперт-Майер предсказала эффект двухфотонного поглощения света. Открыт в 1961.

● Открытие селективного рассеяния света (Л. И. Мандельштам, Г. С. Ландсберг).

● И. Е. Тамм и С. П. Шубин заложили основы квантовой теории фотоэффекта в металлах.

● Л. Тонкс впервые обнаружил резонансные эффекты при взаимодействии волн с плазмой в отсутствии магнитного поля.

● Г. Дембер открыл явление возникновения фотоЭДС в полупроводнике в направлении освещения его сильно поглощаемым светом (эффект Дембера). Объяснен в 1935 Я. И. Френкелем.

● Доказана Л. Онсагером одна из основных теорем термодинамики необратимых процессов (теорема Онсагера) и установлен принцип линейности.

● С. Барнетт осуществил обращенный опыт Толмена — Стюарта.

● С. Чандрасекхар определил предел массы белого карлика — 1,44 массы Солнца. Это означало, что состояние белого карлика для достаточно массивных звезд отсутствует.

● В. Л. Лёвшин обнаружил зеркальную симметрию (связь) между спектрами флюоресценции и поглощения, предсказанную Т. Форстером.

● Изобретен электронный микроскоп (М. Кнольц, Э. Руска) (в 1939 В. Зворыкин построил электронный микроскоп с увеличением в 100 000 раз).

● Создан первый иконоскоп — передающая телевизионная трубка (В. Зворыкин).

● К. Янский изобрел первый радиотелескоп и открыл космическое радиоизлучение, чем положил начало радиоастрономии.

ВТОРОЙ ЭТАП

1932. Обнаружены протоны отдачи при воздействии так называемого бериллиевого излучения на вещество (И. и Ф. Жолио-Кюри).

● Дж. Чэдвиком открыт нейтрон n в реакции ${}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + n$. Предсказан в 1920 независимо Э. Резерфордом и У. Харкинсом.

● Дж. Чэдвик получил значение для массы нейтрона в 1,0067 массовых единиц и предложил способ измерения массы нейтрона, основанный на балансе энергий и масс объектов, участвующих в реакции (по Чэдвику, масса нейтрона меньше массы протона и нейтрон состоит из протона и электрона).

● Открыт дейтерий (Г. Юри). Предсказан Э. Резерфордом.

● Осуществлена первая ядерная реакция под действием нейтронов: $^{14}_7\text{N} + n \rightarrow ^{11}_5\text{B} + ^4_2\text{He}$ (Н. Фезер).

Г. Юри



● Д. Д. Иваненко предположил, что нейтрон — элементарная частица (а не система

Д. Д. Иваненко



протон — электрон) и предложил протонно-нейтронную модель строения атомных ядер. Более детально эта модель была развита В. Гейзенбергом. ● Открытие нового типа взаимодействий — сильных.

Дж. Кокрофт



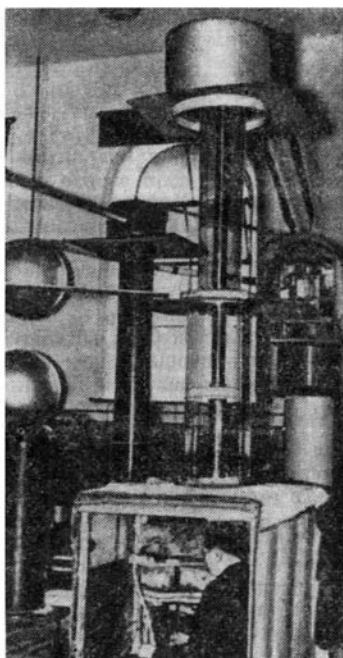
● Дж. Кокрофт и Э. Уолтон сконструировали установку для искусственного ускорения протонов — каскадный генератор (ускоритель Кокрофта—Уолтона).

● Дж. Кокрофт и Э. Уолтон осуществили первую ядерную реакцию с искусственно ускоренными протонами — трансмутацию ядер лития: $^7_3\text{Li} + ^1_1\text{H} \rightarrow$

Э. Уолтон



Ускоритель
Кокрофта — Уолтона



$\rightarrow ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He}$. Через несколько месяцев эта реакция была осуществлена и в СССР (А. К. Вальтер, К. Д. Синельников, А. И. Лейпунский, Г. Д. Латышев).

● К. Андерсон при исследовании состава космических лучей методом камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле, открыл позитрон (в 1933 это

А. И. Лейпунский



открытие подтвердили П. Блэккет и Дж. Оккалини).

● Впервые расщеплено ядро частицами, ускоренными в циклотроне (Э. Лоуренс, М. Ливингстон, М. Уайт).

К. Д. Синельников



● В. Гейзенберг ввел концепцию изотопического спина, чтобы описать нейтрон и протон как два различных (заря-

А. К. Вальтер



довых) состояния одной и той же частицы — нуклона. В 1936 Б. Кассен и Э. Кондон выдвинули идею квантового числа, соответствующего полному изотопическому спину,

● В. Гейзенберг показал, что ядерные силы являются насыщенными (в 1933 к этому пришел и Э. Майорана).

Г. Д. Латышев



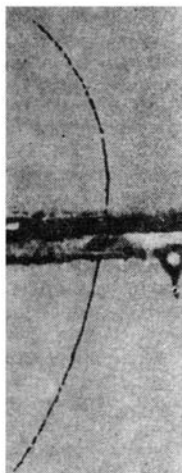
● Ю. Вигнером открыта симметрия относительно обращения времени (закон сохранения временной четности).

● Разработан многовременной

К. Андерсон



Фотография первого следа позитрона



формализм, представляющий собой релятивистски инвариантную форму квантовой электродинамики (В. А. Фок, П. Дирак, Б. Подольский).

● Э. Финберг сформулировал в квантовой механике оптическую теорему, согласно которой полное сечение взаимодействия пары частиц связано с мнимой частью амплитуды упругого рассеяния вперед.

● В. А. Фок вывел основные соотношения метода вторичного квантования.

● Дж. фон Нейман дал математически безупречное изложение принципов квантовой механики в терминах гильбертова пространства.

1932—1933. Л. Мейтнер, Дж. Даннинг и Дж. Пеграм наблюдали рассеяние нейтронов протонами, исследовали угловое распределение протонов отдачи и определили полное эффективное поперечное сечение взаимодействия.

1932. Н. Мотт построил теорию внутренней конверсии.

● Г. Брейт на основе спектральных измерений впервые получил реальное значение магнитного момента ядра лития. Идею существования у ядра магнитного момента выдвигали в 1915 Г. Аллен и в 1921 А. Оксли. В 1924 В. Паули для объяснения сверхтонкой структуры спектральных линий предложил гипотезу ядерного спина. В 1927—1928 Э. Бек и С. Гаудсмит установили связь между измерениями сверхтонкой структуры и моментами ядер и вычислили спин ядра висмута. 1932—1934. В. А. Фок разработал методы описания систем с переменным количеством частиц (метод пространства Фока и метод функционалов Фока).

1932. Применение представления о квантовомеханическом туннелировании к рассмотрению выпрямления на контак-

те металл — полупроводник (А. Вильсон, Я. И. Френкель, А. Ф. Иоффе, Л. Нордгейм).

● И. Валлер предложил теорию спин-спинового дипольного взаимодействия в парамагнетиках.

● И. Е. Тамм предсказал существование особых состояний электронов на поверхности кристаллов (уровни Тамма).

● А. Хиппель показал электронную природу электрического пробоя (теория Хиппеля).

● Разработка М. А. Леонтовичем и Л. И. Мандельштамом теории рассеяния света в твердых телах.

● Л. Неель предсказал антиферромагнетизм и разработал его теорию, введя в рассмотрение магнитные подрешетки. В 1933 понятие об антиферромагнетизме как особой фазе магнетика ввел Л. Д. Ландау.

Л. Неель



Л. Неель показал, что две подрешетки должны приобретать спонтанную намагниченность в противоположных направлениях, исчезающую при некоторой температуре Θ_N (температура Нееля). Таким образом, было предсказано существование магнитного вещества нового типа, состоящего из двух идентичных взаимопроникающих ферромагнетиков с противоположно направленными спонтанными намагниченностями. В 1938 Г. Бизетт обнаружил, что MnO обладает предсказанными свойствами, в частности температурой пере-

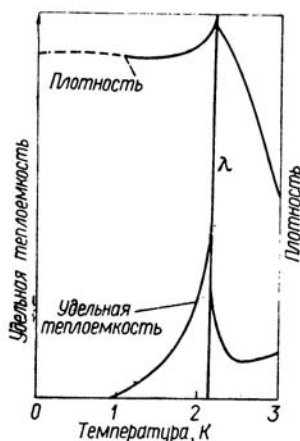
хода Θ_N , равной 116 К. В дальнейшем теорию антиферромагнетизма развивали Ф. Биттер (1937), Дж. Ван Флек (1941 и 1945), Неель (1936 и 1948) и др.

● Обнаружена дифракция света на ультразвуке (П. Дебай, Ф. Сирс, Р. Люка, П. Бикар).

● Создан поляризационный интерферометр (А. А. Лебедев).

● В. Кеэзом и К. Клузиус обнаружили аномалии в температурной зависимости удельной теплоемкости жидкого гелия и установили существование точки (λ -точка), где происходит скачок теплоемкости (температура 2,19 К).

Максимум в λ -точке на кривых плотности и удельной теплоемкости жидкого гелия



● Р. Холм и В. Мейсснер показали отсутствие сопротивления в контакте между двумя сверхпроводниками.

● Выполнены первые измерения электропроводности (ртути) в области критических температур и давлений (Ф. Бирч). Было показано, что вблизи критической точки имеет место резкое изменение электропроводности (примерно в 1000 раз).

● Т. Барт и Э. Позняк открыли «обращенную» шпинель — структуру, необходимую для существования ферромагнитных свойств в ферритах.

● Л. Онсагер установил соотношения, выражающие равенство перекрестных коэффициентов (соотношения Онсагера), — принцип взаимности. Этот принцип с ранее выдвинутым Л. Онсагером принципом линейности лег в основу развитой им теории неравновесных процессов и стимулировал создание термодинамики необратимых процессов.

Л. Онсагер



1933. Открыто явление образования электрона и позитрона из гамма-кванта: $\gamma \rightarrow e^- + e^+$ (Ф. и И. Жолио-Кюри, К. Андерсон, П. Блэккет, Дж. Оккиалини). Механизм этого явления объяснил в 1933 Р. Оппенгеймер.

● Ф. Жолио-Кюри и Ж. Тибо экспериментально доказана аннигиляция электронов и позитронов: $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$.

Предсказана в 1931 П. Дираком.

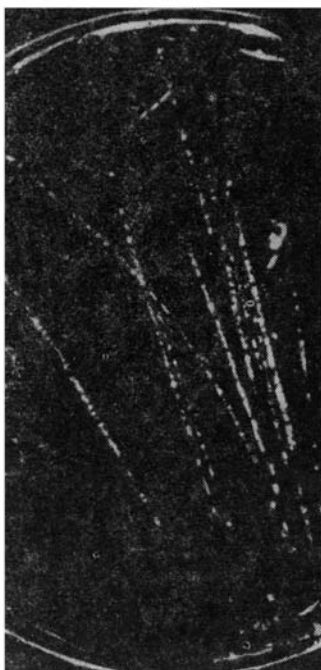
● Сконструирована камера Вильсона, управляемая счетчиками (П. Блэккет, Дж. Оккиалини).

● Открыты электронно-позитронные ливни в космических лучах (П. Блэккет, Дж. Оккиалини). В 1929 группы из нескольких (до 4) генетически связанных высокоэнергетических частиц в космических лучах наблюдал Д. В. Скобелев, в 1933 образова-

ние космических ливней обнаружил также Б. Росси методом совпадений разрядов.

● Впервые дано химическое доказательство явлению превращения элементов (Ф. и И. Жолио-Кюри).

Фотография электронно-позитронных ливней, полученная П. Блэккетом и Дж. Оккалини в камере Вильсона, управляемой счетчиками



● Экспериментально доказана справедливость закона эквивалентности массы и энергии в ядерных реакциях (М. Олифант, Э. Резерфорд).

● Дж. Чэдвик высказал мысль, что нейтрон — нейтральная частица со спином $1/2$. Непосредственное подтверждение получено в 1951 в опыте Юза — Бёрджи.

● Ф. и И. Жолио-Кюри вычислили массу нейтрона (1, 011), показав, что она больше

массы протона, т. е. нейтрон оказывается неустойчивым и может превращаться в протон.

● О. Штерн и О. Фриш измерили магнитный момент протона в молекуле водорода.

М. Олифант



● Установлена возможность получения мощных источников быстрых нейтронов и при помощи ускорителей заряженных частиц. Открыты (d, n)- и (p, n)-реакции (Ч. Лауритсен).

● Ю. Вигнер показал, что ядерные силы имеют малую область действия, но в этой области они в миллионы раз больше электростатических сил в атоме.

● Э. Ферми и Ф. Перрен предположили, что масса нейтрино должна быть очень малой, даже равной нулю.

● П. Дирак постулировал эффект поляризации вакуума (в 1934 это сделал В. Гейзенберг), теорию которого развил в 1936 В. Вайскопф.

1933—1934. Э. Ферми разработал теорию бета-распада, в которой ввел новый тип взаимодействия — слабое: $n \rightarrow p +$

$+ e^- + \bar{\nu}_e$. Тем самым было положено начало современной теории слабых взаимодействий. 1933. П. Дирак выдвинул гипотезу о существовании антивещества.

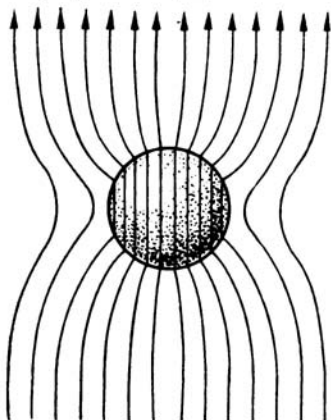
● Получена тяжелая вода (Г. Льюис). В 1934 тяжелую воду получил А. И. Бродский.

● В. Вайскопф развил количественную теорию рассеяния света возбужденными атомами.

● Г. Мессип построил первую квантовую теорию столкновений идентичных атомов.

● В. Мейсснер и Р. Оксенфельд обнаружили, что сверхпроводник выталкивает приложенное снаружи магнитное поле (эффект Мейсснера). В

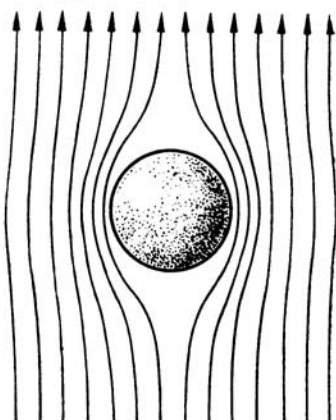
Иллюстрация к эффекту Мейсснера в сверхпроводнике (справа)



емым светом (фотомагнитный эффект Кикоина — Носкова).

● Р. Пайерлс построил первую теорию эффекта де Гааза — ван Альфена.

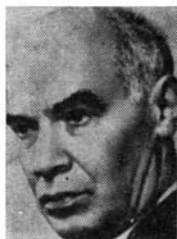
● Ю. Вигнер и Ф. Зейтц разработали метод ячеек в теории кристаллов (метод ячеек Вигнера — Зейтца). Обобщен в 1934 Дж. Слэтером.



1934 этот эффект наблюдали также Л. В. Шубников и Ю. Н. Рябинин.

● Л. Д. Ландау впервые указал на возможность самозахвата электрона решеткой кристалла, что привело в дальнейшем к пониманию природы поляронов.

И. К. Кикоин



● Открытие И. К. Кикоиным и М. М. Носковым явления возникновения электрического поля в полупроводнике, помещенном в магнитное поле, при освещении его сильно поглоща-

● Начало систематического исследования и разработки искусственных ферритов (Я. Сноек с сотр., Эйджовен). В 1946 в обобщенной работе Сноек изложил возможность достижения высокого сопротивления (10^8 Ом · см) путем уменьшения количества ионов двухвалентного железа, а также получения высокой проницаемости (до 3000) соответствующим выбором состава и технологии изготовления.

● Дж. Тейлор ввел представление о дислокациях.

● А. В. Степанов открыл явление возникновения электрического заряда на поверхности кристалла каменной соли в результате пластической деформации при отсутствии внешнего электрического поля (эффект Степанова).

● П. Эренфест ввел понятие о фазовых переходах второго рода.

● Изобретен интерференционный микроскоп (В. П. Линник).

1934. Открыта искусственная радиоактивность: $^{27}_{13}\text{Al} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{30}_{15}\text{P} + n$ (Ф. и И. Жолио-Кюри). Здесь $^{30}_{15}\text{P}$ — ядро искусственно радиоактивного

И. Жолио-Кюри



элемента (фосфора) с периодом полураспада 2,55 мин.

● Ф. и И. Жолио-Кюри открыли позитронную радиоактивность: $^{30}_{15}\text{P} \rightarrow ^{30}_{14}\text{Si} + e^+$. Здесь ядро радиоактивного фосфора превращается в ядро кремния с испусканием позитрона.

● Э. Ферми начал применять нейтроны для бомбардировки атомов, чем положил начало нейтронной физики.

● Открыта искусственная радиоактивность, обусловленная нейтронами (Э. Ферми).

● Э. Ферми предположил, что в результате бета-распада урана, облученного медленными нейтронами, образуются трансурановые элементы.

● Открыто явление замедления нейтронов в веществе и получены тепловые нейтроны (Э. Ферми, Э. Амальди, Б. Понтекорво, Ф. Разетти, Э. Сегре).

● Осуществлена реакция синтеза дейтронов с образованием трития: $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^1_1\text{H}$ (Г. Резерфорд, М. Олифант, П. Хартек).

● О. Штерн и И. Эстерман определили магнитный момент дейтрона и высказали предположение, что он должен рав-

няться сумме магнитных моментов протона и нейтрона.

● Введено представление о магических числах протонов и нейтронов в ядрах (В. Эльзассер, К. Гуггенгеймер, Л. Я. Штрум, И. П. Селинов).

● В. Эльзассер и К. Гуггенгеймер предложили модель ядерных оболочек. Ряд соображений в пользу существования в ядрах оболочек высказали в 1932 Д. Д. Иваненко и Е. Н. Гапон, а также Дж. Бартлетт. 1934—1935. Открыта ядерная реакция расщепления ядра лития медленными нейтронами: $^6_3\text{Li} + n \rightarrow ^4_2\text{He} + ^3_1\text{H}$, являющаяся источником получения радиоактивного трития (Дж. Чэдвик, М. Гольдхабер).

● Х. Бете и Р. Пайерлсом построена теория дейтрона — простейшей ядерной системы, состоящей из нейтрона и протона.

1934. Открыт ядерный фотоэффект — фоторасщепление

дейтрона: $^2_1\text{H} + \gamma \rightarrow ^1_1\text{H} + n$ (Дж. Чэдвик, М. Гольдхабер). В 1937 ядерный эффект у тяжелых ядер наблюдали В. Боте и В. Гентнер.

● Открыта реакция захвата нейтрона с испусканием гамма-кванта — радиационный захват (Д. Ли).

● Открыта внутренняя конверсия гамма-лучей с образованием электронно-позитронных пар (А. И. Алиханов, А. И. Алиханьян, М. С. Козодаев).

● И. Ноддак предсказала возможность деления ядер.

● И. Е. Тамм и Д. Д. Иваненко заложили основы теории парных ядерных сил, реализуемых обменом электроном — антинейтрино между протоном и нейтроном. Развита В. Гейзенбергом.

● Обобщена теория бета-распада на позитронный распад, при котором протон ядра виртуально превращается в нейт-

рон: $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ (Дж. Вилк). В 1936 это сделал также Дж. Уленбек.

● Предсказан обратный бета-распад и рассмотрена возможность обнаружения нейтрино:

$n + \bar{\nu}_e \rightarrow p + e^-$; $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$ (Х. Бете, Р. Пайерлс).

● Э. Ферми, проводя опыты по взаимодействию нейтронов с различными веществами, предложил метод синтеза 93-го элемента при облучении урана нейтронами.

● Высказано предположение о существовании у нейтрона магнитного момента, правильно оценен знак и величина этого момента (И. Е. Тамм, С. А. Альтшулер).

● Разработана теория радиационных потерь электрона при движении в веществе (Х. Бете, В. Гайтлер).

● В. Гайтлер и Л. Нордгейм предсказали существование комптоновских процессов более высоких порядков, в которых в одном элементарном акте создаются два или более рассеянных кванта.

● В. Паули и В. Вайскопф построили квантовую теорию скалярного поля.

● Положено начало радиоспектроскопии.

● У. Х. Беннетом предсказан пинч-эффект — явление сжатия плазмы собственным магнитным полем тока, протекающего по образцу (в 1938 этот эффект постулировал также Л. Тонкс).

● П. А. Черенков под руководством С. И. Вавилова открыл свечение чистых прозрачных жидкостей под действием гамма-лучей (эффект Вавилова — Черенкова). В дальнейшем было показано, что свечение вызывается не гамма-лучами, а вторичными комптон-электронами, создаваемыми в среде.

● К. Гортер и Х. Казимир разработали первую феноменологическую теорию сверхпроводимости (модель Казимира — Гортера).

П. А. Черенков



● К. Гортер предложил метод ядерного охлаждения, или адиабатического размагничивания (в 1935 идею ядерного охлаждения выдвинул Ф. Саймон, он

К. Гортер



же подробно проанализировал необходимые экспериментальные условия такого охлаждения). Реализован в 1955 Н. Курти, который достиг температуры 0,0001 К.

Х. Казимир



● Открытие Л. Сцилардом и Т. Чалмерсом явления разрушения химической связи нейтронами (эффект Сциларда — Чалмерса).

1934—1937. Л. В. Шубников установил основные особенности поведения однородных сверхпроводящих сплавов в

Л. В. Шубников



магнитном поле (экспериментальное открытие сверхпроводников II рода). В частности, было открыто существование у сплавов двух критических магнитных полей H_{k_1} и H_{k_2} (состояние сплавов в интервале полей от H_{k_1} до H_{k_2} называется фазой Шубникова).

1934. К. Зинер ввел представление о межзонном туннелировании, или внутренней электронной эмиссии, с целью объяснения диэлектрического пробоя (зинеровский механизм пробоя диэлектриков, или эффект Зинера).

● Ф. Цернике ввел в оптику метод регистрации волнового фронта рассеяний волны, или метод фазового контраста (при когерентном фоне) (метод Цернике), использованный в фазоконтрастном микроскопе.

Ф. Цернике



● Получение Л. Мартоном первых электронных микрофотографий биологических объе-

ктов, в частности в 1937 — бактерий.

● Создан первый гелиевый ожижитель детандерного типа (П. Л. Капица).

● Предсказаны нейтронные звезды (В. Бааде, Ф. Цвикки). 1934—1937. Н. М. Крылов и Н. Н. Боголюбов разработали теорию нелинейных колебаний и заложили основы нелинейной механики.

1935. Основываясь на аналогии с полевой теорией парных ядерных сил Тамма — Иваненко, Х. Юкава для объяснения короткодействующего характера ядерных сил ввел потенциал (потенциал Юкавы), описывающий взаимодействие двух частиц, которое возникает благодаря обмену промежуточной (виртуальной) частицей с ненулевой массой покоя (мезоном):

$$p \rightleftharpoons n + \pi^+; \quad n \rightleftharpoons p + \pi^-;$$

$$p(n) \rightleftharpoons p(n) + \pi^0.$$

Х. Юкава



Радиус действия потенциала Юкавы $r_0 = \hbar/mc$, где m — масса промежуточной частицы. Постулированный Юкавой на этой основе квант ядерного поля, осуществляющий сильное взаимодействие между нуклонами (пи-мезон), был обнаружен в 1947.

● Положено начало квантовой мезодинамике (Х. Юкава)

● Дж. Чэдвик и М. Гольдхабер, а также Х. Бете, М. Олифант и Э. Резерфорд высказали мысль о радиоактивности свободного нейтрона — его бета-распаде на протон, электрон и нейтрино.

● Проведены первые измерения сечений рассеяния медленных нейтронов протонами (Дж. Даннинг, Дж. Пеграм, И. В. Курчатов и др.).

Дж. Даннинг.



● Открыто сильное взаимодействие тепловых нейтронов с кадмием (Дж. Даннинг и др.).

● Построена теория ядерных реакций передачи нейтрона дейтроном при энергиях, меньших высоты кулоновского барьера (Р. Оппенгеймер, М. Филлипс) (теория ядерных реакций срыва Оппенгеймера — Филлипса).

● Предсказан двойной бета-распад и разработана его теория (М. Гёпперт-Майер).

● Установлен резонансный характер взаимодействия медленных нейтронов с ядрами (Ф. Мун, Дж. Тильман и др.).

● Предсказан K -захват: $p + e^- \rightarrow n + \nu$ (Х. Юкава, С. Саката). Открыт в 1937 Л. Альваресом.

● К. Вейцзеккер дал полуэмпирическую формулу для энергии связи ядер.

● Предложена теория фотоэлектрического расщепления дейтрона (Х. Бете, Р. Пайерлс).

● Впервые четко доказан захват нейтрона протоном (Л. А. Арцимович, И. В. Курчатов).

● И. В. Курчатов, М. А. Еремеев, Г. Я. Щепкин, а также Дж. Даннинг, Дж. Пеграм, Д. Митчелл, Э. Сегре и Дж. Финк измерили сечение рассеяния медленных нейтронов протонами и обнаружили рост сечения с уменьшением энергии нейтронов.

● Э. Ферми с сотрудниками показал, что при поглощении медленных нейтронов ядрами происходит испускание интенсивного гамма-излучения.

● Открытие при исследовании оптических спектров электрических квадрупольных моментов ядер (Г. Шюлер, Т. Шмидт).

● В. Боте предложил общепринятую ныне запись уравнения ядерных реакций: $A(a, e) B$.

● Открыт изотоп уран-235 (А. Демпстер).

● Э. Кондон и Дж. Шортли составили таблицу электронных конфигураций известных тогда атомов. Усовершенствована Л. Шиффом.

● Предсказано и открыто резонансное рассеяние света (Л. И. Мандельштам, Г. С. Ландсберг).

● Е. Ф. Гросс и М. Ф. Вукс открыли спектр малых частот комбинационного рассеяния света в кристаллах. Вызывается колебаниями кристаллической решетки исследуемого вещества (Е. Ф. Гросс, 1937).

● Показано с помощью кругового маятника, что циркулярно поляризованный свет может передавать момент импульса и производить вращение (Р. Бет).

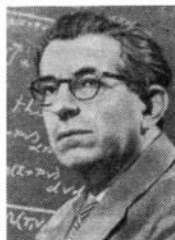
● Открыт антиферромагнетизм (Л. В. Шубников, О. Н. Трапезникова, Г. А. Милютин, С. С. Шалыт). Обнаружен также Г. Бизеттом в 1938. Предсказан в 1932 Л. Неелем.

● Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц разработали теорию доменной структуры ферромагнетиков и установили уравнение движения магнитного момента (уравнение Ландау — Лифшица).

● Фриц и Хейнц Лондоны разработали феноменологическую теорию сверхпроводимости и предложили уравнение для описания поведения сверхпроводников в слабых магнитных

полях (уравнение Лондонов).
 ● В. Кеезом и А. Кеезом обнаружены anomalно высокую теплопроводность жидкого гелия II (последняя $\rightarrow \infty$) — скачок теплопроводности гелия II при переходе через λ -точку.

Ф. Лондон



- Щ. Цицейка построил первую теорию магнетосопротивления металлов, учитывающую квантование энергии электронов в магнитном поле.
- Разработана статистическая теория прочности (А. П. Александров, С. Н. Журков).
- А. В. Лыков открыл явление термодиффузии влаги в капиллярно-пористых телах (эффект Лыкова).
- Изобретен фазоконтрастный микроскоп (Ф. Цернике).
- С. Я. Соколов разработал методы преобразования «звуковых изображений» в видимые и создал (1948) аппаратуру звуковидения — так называемый ультразвуковой микроскоп.
- Построен первый радиолокатор (радар) (Р. Ватсон-Ватт). В 1937 вступили в строй радиолокаторы в СССР и США. 1936. Создание Н. Бором теории составного ядра (компанувд-ядра). Согласно предположению Н. Бора ядерные реакции осуществляются с образованием промежуточной стадии составного ядра.
- Создание капельной модели ядра (Я. И. Френкель, Н. Бор).
- Г. Брейт, Э. Кондон, Н. Кеммер и Р. Презент выдвину-

ли гипотезу зарядовой независимости ядерных сил.

● Открыта дифракция нейтронов (Д. Митчелл, Ф. Пауэрс, Х. Халбан, П. Преисверк).

Г. Брейт



Предсказана в этом же году В. Эльзассером.

● Г. Брейт и Ю. Вигнер предложили для описания ядерных реакций дисперсионную формулу (формула Брейта — Вигнера).

Э. Кондон



- Открыта ядерная реакция расщепления ядра азота медленными нейтронами ${}^7_{14}\text{N} + n \rightarrow {}^6_8\text{C} + p$, являющаяся источником получения радиоактивного углерода (Дж. Чэ́двик, М. Гольдхабер).
- К. Вейцеккер рассмотрел возможность существования метастабильных состояний атомных ядер.
- Разработана первая теория рассеяния протонов на протонах (Г. Брейт, Э. Кондон).
- А. Прока предложил уравнение для частиц со спинном 1 и $m_0 \neq 0$ (уравнение Прока).
- Дж. Гамов и Э. Теллер предложили новые правила отбора в бета-распаде.

● Э. Ферми и Э. Амальди выполнили первые измерения сечения захвата нейтронов протонами.

● Получены мощные источники нейтронов в циклотроне (Д. Митчелл, Ф. Пауэрс).

● Введено понятие альбеда для диффузии нейтронов (Э. Ферми).

● Впервые для исследования космических лучей применены фотопластинки (М. Блау).

● А. Лангсдорф изобрел диффузионную камеру. В 1951 изготовлена первая диффузионная камера высокого давления (Р. Шатт и др.).

● Открыт ядерный парамагнетизм у твердого водорода (Л. В. Шубников, Б. Г. Лазарев).

● Ю. Вигнер, используя математический аппарат теории групп, провел анализ симметрии волновых функций в кристаллах и дал классификацию электронных состояний для кубических решеток.

● П. Дирак построил общую теорию классических полей главным образом для свободных частиц.

● Дж. Кирквуд и Дж. Ивон заложили основы статистической теории молекулярного рассеяния света.

1936—1937. Открытие мюона (К. Андерсон, С. Неддермейер). Наблюдался (1937) в камере Вильсона также Дж. Стритом и Э. Стивенсоном и Й. Нишиной, которые к тому же оценили его массу $\sim 175m_e$.

В 1938 для массы мюона было получено значение, равное примерно $200m_e$, а в 1939 определено (Б. Росси) среднее время жизни мюона — 10^{-6} с. 1936—1938. Л. И. Мандельштам и М. А. Леонтович развили релаксационную теорию поглощения звука в жидкостях.

1936. П. Гёрлих изобрел сурьмяно-цезиевый фотокатод.

● Изобретен автоэлектронный микроскоп (Э. Мюллер).

● Э. Ферми предложил метод псевдопотенциала для описания взаимодействия между частицами при малых энергиях.

● Ф. Блох указал на поляризацию нейтронов при прохождении через намагниченное железо (эффект Блоха) и дал теорию явления.

● Л. Д. Ландау установил вид интеграла столкновения для частиц с кулоновским взаимодействием и построил кинетическое уравнение для плазмы.

● Открыта поверхностная пленка в жидком гелии (Б. Роллин).

1937. Х. Крамерс постулировал инвариантность основных законов природы относительно замены частиц соответствующими античастицами (зарядовая инвариантность).

● Ю. Вигнер указал на связь изотопического спина с зарядовой независимостью ядерных сил и впервые отчетливо сформулировал закон сохранения изотопического спина в нуклон-нуклонных взаимодействиях.

● Х. Юкава, С. Саката и М. Такетани разработали скалярную теорию ядерных сил и ввели для объяснения зарядовой независимости ядерных сил нейтральный мезон. Нейтральный мезон также предсказали в 1938 Г. Фрёлих, В. Гайтлер и Н. Кеммер.

● Создание статистической теории ядра (Х. Бете, В. Вайскопф, Л. Д. Ландау).

● Л. Альварес открыл K -захват, предсказанный в 1935 Х. Юкавой и С. Сакатой.

● В. Боте и В. Гентнер наблюдали ядерный фотоэффект у тяжелых ядер (от лития до висмута).

● Получены экспериментальные доказательства существования у нейтрона магнитных свойств — наличия магнитно-

го момента (Дж. Даннинг, Ф. Пауэрс, Х. Байер).

● Осуществлена деполяризация нейтронного пучка (О. Фриш, Х. Халбан).

● Установлен отрицательный знак магнитного момента нейтрона (О. Фриш, Ф. Пауэрс, Дж. Даннинг и др.).

● Синтезирован первый искусственный элемент — технеций (Э. Сегре, К. Перье).

И. Раби



● И. Раби предложил магнитный резонансный метод определения ядерных моментов (метод Раби).

● Т. Шмидт на основании одночастичных представлений нашел зависимость между магнитными моментами и спинами ядер (модель Шмидта).

● Ю. Вигнер предложил однородную модель ядра.

● Построен электростатический ускоритель на энергию 3,5 МэВ — крупнейший в Европе (К. Д. Сивельников, А. К. Вальтер).

● А. И. Ахиезер и И. Я. Померанчук построили теорию когерентного рассеяния фотонов ядрами.

● Разработаны основы каскадной теории ливней в космических лучах (Х. Баба, В. Гайтлер, Дж. Карлсон, Р. Опенгеймер). В 1938 удобный математический метод решения уравнений каскадной теории предложили Л. Д. Ландау и Ю. Б. Румер. Дальнейшее развитие теории осуществили И. Е. Тамм, С. З. Беленький, Д. Д. Иваненко, А. А. Соколов и др.

● Ф. Блох и А. Нордсик в квантовой электродинамике исследовали природу инфракрасных расходимостей и для устранения «инфракрасной катастрофы» разработали метод Х. Баба



приближенного решения задачи взаимодействия фермиона с электромагнитным полем в области малых частот, не основанный на теории возмущений.

● Первое наблюдение «звезд» в следах космических лучей (М. Блау, Г. Вамбахер).

● И. Е. Тамм и И. М. Франк построили теорию эффекта Вавилова — Черенкова.

И. М. Франк



● Л. Д. Ландау разработал теорию промежуточного состояния сверхпроводников, понятие о котором ввели в 1936 Р. Пайерлс и Ф. Лондон (подтверждена экспериментально в 1937 Л. В. Шубниковым).

● Дж. Слэтер разработал теорию ферромагнетизма в металлах.

● Дж. Слэтер для расчета многоэлектронных систем предложил метод присоединенных плоских волн.

● Л. Д. Ландау разработал теорию фазовых переходов вто-

рого рода, понятие о которых ввел в 1933 П. Эренфест.

● Г. Ванье (независимо от Н. Мотта) развил представление о связанном состоянии электрона из зоны проводимости и дырки из валентной зоны (экситон Ванье — Мотта). Экспери-

Дж. Слатер



ментально обнаружен в 1951 Е. Ф. Гроссом и Н. А. Карьевым в кристаллах закиси меди.

1937—1938. Построение теории поглощения звука в твердых телах (для случая коротких волн — Л. Д. Ландау, Ю. Б. Румер, 1937; длинных — А. И. Ахиезер).

1937. Г. Ян и Э. Теллер сформулировали теорему, определяющую условия устойчивости симметричных конфигураций молекул (теорема Яна — Теллера). В 1939 эту теорему обобщил на случай кристаллов Дж. Ван Флек.

● Ф. Пеннинг открыл процесс ионизации при столкновении метастабильного атома с атомом другого сорта, потенциал ионизации которого ниже потенциала возбуждения метастабильного атома (процесс Пеннинга).

● Дж. Майер получил общее уравнение состояния реального газа.

● П. Бриджмен разработал наковальню для получения давлений до 100 тыс. атм. В 1956 он достиг давления 178 тыс. атм. Усовершенствовав установку, Р. Харрис получил давления 400 тыс. атм.

● Обнаружены первые меж-

звездные радикалы — циана (CN), метинила (CH), ион метинила (CH⁺).

● Х. Альфвен предсказал существование галактических магнитных полей.

● Изобретен электронный рас-
творый микроскоп (М. Арден-
не).

П. Бриджмен



1938. Обнаружено испускание электронов внутренней конверсии веществами, захватывающими нейтроны (Р. Бэчер).

● Открыты широкие атмосферные ливни (П. Оже, В. Кольхёрстер).

● Предсказана нестабильность мезона космических лучей (Х. Куленкампф).

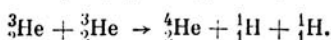
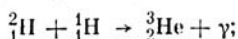
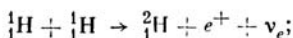
● В. Гейзенберг и Х. Эйлер предложили теорию спонтанного распада мезона космических лучей.

● Построена векторная теория ядерных сил (Г. Фрелих, В. Гайтлер, Н. Кеммер, Х. Баба, Э. Штюкельберг).

● Н. Кеммер построил зарядово-независимую псевдоскалярную мезонную теорию, описывающую взаимодействие мезонов со спином 0 и изоспином 1 с фермионами со спином и изоспином, равными 1/2.

● Р. Пайерлс заложил основы строгой теории ядерных реакций. В 1946—1947 Ю. Вигнер осуществил широкое развитие формализма теории ядерных реакций.

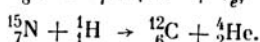
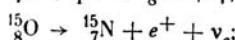
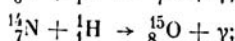
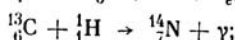
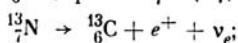
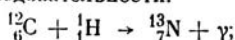
● Х. Бете и Ч. Критчфильд установили протон-протонный цикл термоядерных реакций как источник энергии звезд главной последовательности:



Х. Бете



1938—1939. Х. Бете и независимо К. Вейцеккер установили углеродно-азотный цикл термоядерных реакций, происходящих в звездах главной последовательности:



1938. Открыто явление деления ядра урана медленными нейтронами (О. Ган, Ф. Штрассман).

1938—1939. И. Раби завершил разработку резонансного ме-

тода молекулярных пучков. 1938. Д. Д. Иваненко сформулировал нелинейное синхронное уравнение в квантовой теории поля, проквантованное в 1958 В. Гейзенбергом.

● А. А. Власов для описания волновых процессов в разреженной плазме (ленгмюровских колебаний) предложил кинетическое уравнение с самосогласованным полем (уравнение Власова).

● Обнаружен эффект фонтанирования жидкого гелия II (термомеханический эффект) (Дж. Аллен, Г. Джонс).

● Открытие сверхтекучести гелия II (П. Л. Капица, Дж. Аллен).

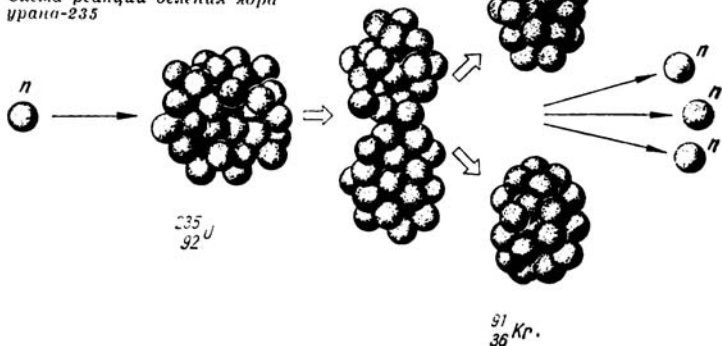
● Обнаружено явление переноса пленки в жидком гелии (К. Мендельсон, Дж. Даунт).

● Измерение скорости первого звука в жидком гелии (Дж. Финдлей).

● Л. Тисса предложил двухжидкостную модель гелия II.

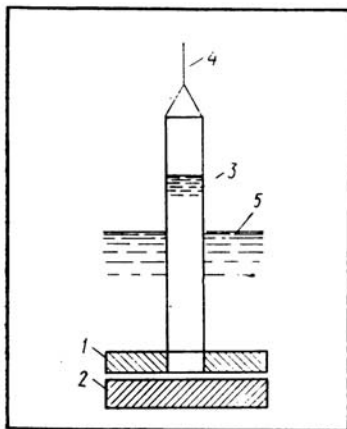
● Ф. Лондон предположил, что сверхтекучий гелий является бозе-эйнштейновским конденсатом и сверхтекучая жидкость состоит из двух компонент — сконденсированной (сверхтекучей) компоненты и нормальной.

Схема реакции деления ядра урана-235



● Х. Казимир и Ф. Дю Пре построили феноменологическую теорию релаксации и ввели понятия спин-система, система колебаний решетки, температура спин-системы и др.

Схема опыта Капицы по измерению вязкости жидкого гелия

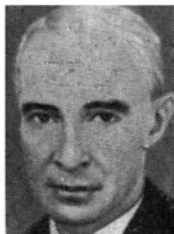


● Обнаружено явление упругого двойникования кристаллов (Р. И. Гарбер).

● Ф. Биттер ввел термин «антиферромагнетики».

● Н. Мотт и Р. Гёрни разработали первую теорию фотографического процесса, объяснив образование скрытого фотографического изображения (модель Мотта — Гёрни).

Р. Оппенгеймер



● Г. Бекеши показал, что действительное ощущение человеком расстояния связано с низкочастотными переходными процессами источников звука

(ухо регистрирует и скорость движения частиц воздуха).

1938—1939. Создание диффузионной теории выпрямления в полупроводниках (Н. Мотт, В. Шоттки, Д. И. Блохинцев, Б. И. Давыдов, С. И. Пекар). 1938. Выполнен первый расчет модели нейтронной звезды (Р. Оппенгеймер, Дж. Волков, Л. Д. Ландау).

● П. Л. Капица создал турбодетандер для сжижения воздуха.

1939. Л. Мейтнер и О. Фриш предложили (январь) первое физическое объяснение экспе-

Л. Мейтнер



риментов О. Гана и Ф. Штрассмана, обнаруживших деление ядер урана. Они предположили, что происходит распад ядра урана на два осколка, представляющие собой яд-

О. Фриш



ра бария и криптона или стронция и ксенона. Введение Л. Мейтнер понятия «деление ядра».

● Экспериментальное доказательство О. Фришем взрывного характера ядерного деления, связанного с освобождением больших количеств энергии.

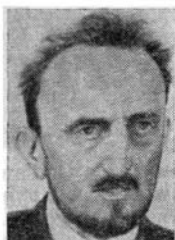
● Экспериментальное доказательство деления ядра урана на два осколка и непосредственное измерение энергии деления (О. Фриш, Ф. Жолио-Кюри, Г. Андерсон, Дж. Давнинг).

Дж. Уилер



● Построение каплевой модели деления ядер (Я. И. Френкель, Н. Бор, Дж. Уилер), предсказание спонтанного де-

Ф. Перрен



ления и введение параметра Z^2/A , определяющего его вероятность.

● Ф. Перреном введено понятие критической массы урана и дан ее расчет.

Л. Сцилард



● Открытие испускания вторичных нейтронов при делении (Л. Сцилард, Э. Ферми, Г. Андерсон, В. Зипп, Ф. Жолио-Кюри, Х. Халбан, Л. Коварски).

● Обоснована возможность протекания в уране цепной ядерной реакции деления (Л. Сцилард, Ю. Вигнер, Э. Ферми, Дж. Уилер, Ф. Жолио-Кюри, Я. Б. Зельдович,

Я. Б. Зельдович

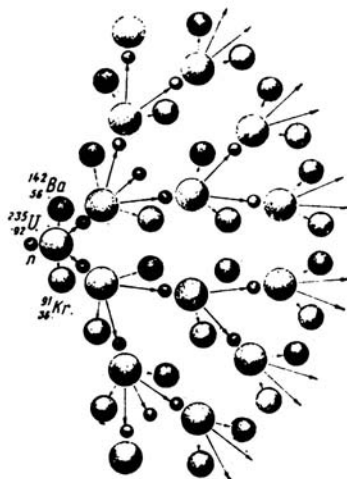


Ю. Б. Харитон, А. И. Лейпунский). Идею цепной ядерной реакции выдвинули Сцилард

Ю. Б. Харитон



Схема цепной ядерной реакции деления урана-235



и Жолио-Кюри (1934), а также Л. Мейтнер.

● Измерен энергетический спектр нейтронов деления урана и получено наиболее близкое к современному значение среднего числа вторичных нейтронов на один акт деления (В. Зинн, Л. Сцилард).

● Открыты запаздывающие нейтроны (Р. Робертс и др.).

● Выдвинута идея использования графита как замедлителя нейтронов (Дж. Пеграм, Л. Сцилард, Э. Ферми, Г. Плачек).

● И. Нишина показал, что торий-232 делится быстрыми нейтронами.

● Введение термина «нуклон» (Ф. Белинфанте).

● Первое точное измерение магнитного момента нейтрона: $\mu_n = -1,935 \pm 0,020$ я. м. (Ф. Блох, Л. Альварес).

● И. Раби осуществил прецизионные измерения магнитных моментов протона и дейтрона.

● Определение квадрупольного момента дейтрона (И. Раби, Н. Рамзей и др.).

● Первые определения ядерных g -факторов и магнитных моментов ядер (${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^{19}\text{F}$) методом резонансных молекулярных пучков (И. Раби).

● М. Фирц в общей форме сформулировал теорему о спине и статистике.

● В. Шоттки исследовал потенциальный барьер, образующийся в приконтактном слое «полупроводник — металл» (барьер Шоттки) и построил теорию полупроводниковых диодов с таким барьером (диоды Шоттки, или диоды с барьером Шоттки).

● Построение теории плавления (Дж. Леннард-Джонс, А. Девоншир).

● Р. Крониг разработал теорию спин-решеточной релаксации, развитую в 1939—1940 Дж. Вав Флеком (теория Кронига — Вав Флека).

● О. И. Лейпунский предсказал условия, необходимые для осуществления синтеза алмазов под давлением.

● Прямое определение доменной структуры антиферромагнетиков при помощи дифракции нейтронов (О. Халперн, М. Джонсон).

● Построена молекулярная теория сегнетоэлектричества (Л. Онсагер, Дж. Слэтер).

● Обнаружен механокалорический эффект в гелии (Дж. Даунт, К. Мендельсон).

● Предсказаны черные дыры (Р. Оппенгеймер, Х. Снайдер). 1939—1940. Заложены основы теории колебательных спектров многоатомных молекул (М. А. Ельашевич).

1940. Открыто явление спонтанного деления ядер урана (Г. Н. Флеров, К. А. Петржак).

● Синтезирован первый трансурановый элемент — нептуний: ${}_{92}^{238}\text{U} + n \rightarrow {}_{92}^{239}\text{U} \rightarrow {}_{93}^{239}\text{Np} + e^-$ (Э. Мак-Миллан, Ф. Абельсон).

● Выделен чистый уран-235 (Дж. Даннинг, А. Нир).

● Доказано, что уран-235 делится медленными нейтронами (Ю. Бут, Дж. Даннинг, А. Гроссе, А. Нир).

● Доказана возможность протекания цепной ядерной реакции в системе с ураном и тяжелой водой (Ф. Жолио-Кюри, Х. Халбан, Л. Коварски).

● Получены данные, свидетельствующие, что при определенных условиях можно управлять цепной ядерной реакцией.

● Синтезирован астатин в результате бомбардировки висмута ускоренными на циклотроне альфа-частицами с энергией 38 МэВ : ${}_{83}^{209}\text{Bi} (\alpha, 2n) {}_{85}^{211}\text{At}$ (Э. Сегре и др.).

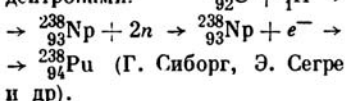
● Получено прямое подтверждение спонтанного распада μ^+ (Э. Вильямс, Дж. Робертс).

● Предсказано существование мезоатомов (С. Томонага, Дж. Араки).

● Л. Альварес впервые ускорил на циклотроне ионы углерода до энергии 50 МэВ, положив тем самым начало исследованиям взаимодействия многозарядных ионов с веществом.

● В. Паули доказал теорему о связи статистики и спина, показав, что система одинаковых частиц с полуцелым спином описывается антисимметричной волновой функцией (статистика Ферми — Дирака), а с целым спином — симметричной волновой функцией (статистика Бозе — Эйнштейна).

● Синтезирован плутоний в результате бомбардировки урана ускоренными на циклотроне дейтронами:



● Показано, что бериллий можно использовать в качестве замедлителя нейтронов (М. Гольдхабер).

● Построен бетатрон (Д. Керст). Идею индукционного ускорения частиц независимо выдвинули в 1922 Дж. Слепян и Р. Видероз.

● Открыты проникающие ливни в космических лучах (Г. Ватагин, Л. Яноши).

Л. Яноши



● Х. Лондон открыл аномальный скин-эффект в металлах. 1940—1941. Создана Л. Д. Ландау теория сверхтекучести гелия II, в которой, в частнос-

ти, предсказано существование в гелии второго звука.

1940. Н. Мотт и Р. Гёрни предсказали возможность протекания через диэлектрик управляемых эмиссионных токов.

● В. А. Фабрикант предложил использовать газовый разряд для получения отрицательного коэффициента поглощения.

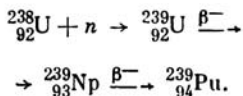
● В. Л. Гинзбург разработал квантовую теорию эффекта Вавилова — Черенкова.

● Х. Альфвен выдвинул применительно к межзвездной среде концепцию «приклеенности» магнитных силовых линий к ионизированному газу («вмороженность» магнитного поля в плазму).

● К. Херринг для расчета зонной структуры предложил метод ортогонализированных плоских волн, сыгравший решающую роль в создании понятия о псевдопотенциале.

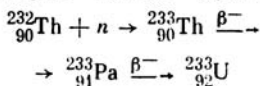
● И. Бюргерс построил уравнение плоской волны с учетом вязкости (уравнение Бюргерса). Достаточно полно описывает общую картину формирования и структуры ударных волн.

1941. Синтезирован расщепляющийся изотоп плутоний-239 в результате облучения природного урана-238 нейтронами в ядерном реакторе:



Доказано, что он делится медленными нейтронами (Г. Сиборг, Э. Мак-Миллан и др.).

● Открыт изотоп уран-233:



(Г. Сиборг и др.).

● Первое наблюдение нейтронов, испускаемых при спонтанном делении (Э. Ферми).

- Открыто фотоделение ядер.
- Ф. Разетти зарегистрировал распад остановившегося мезона и измерил время его жизни.
- Г. Вентцель предсказал ну-клонные изобары.

Э. Мак-Миллан



- Построена первая экспериментальная система с уран-графитовой решеткой (Э. Ферми).
- Введена единица ядерного сечения — барн (10^{-24} см²) (Э. Ферми).
- А. И. Ахиезер и И. Я. Померанчук предсказали «холодные» нейтроны.
- Создание Д. Керстом и Р. Сербером теории бетатронных колебаний.
- М. А. Леонтович построил теорию рэлеевского рассеяния света.
- Е. М. Лифшиц установил в теории фазовых переходов критерий, позволивший дать полную классификацию возможных переходов II рода (критерий Лифшица).
- П. Л. Капица наблюдал температурный скачок на границе «твердое тело — жидкий гелий» (температурный скачок Капицы).
- А. И. Шальников доказал двухфазную природу промежуточного состояния сверхпроводников.
- Установлено, что нитрид ниобия NbN становится сверхпроводящим при температуре 15 К (Э. Юсти и др.).
- И. М. Лифшиц ввел представление о локальных и квазилокальных колебаниях в кристаллах с дефектами.

- Обнаружение $p-n$ -перехода в записи меди (В. Е. Лашкарев).

- Подтверждение релятивистского эффекта Доплера (Г. Айвс, Дж. Стилуэлл).

- Д. Д. Максудов изобрел менисковые оптические системы, широко используемые в телескопах.

1942. 2 декабря осуществлена управляемая цепная реакция деления ядер урана в первом ядерном реакторе (Э. Ферми, Ю. Вигнер, Г. Андерсон, В. Зинн). Первый исследовательский реактор запущен в СССР 25 декабря 1946 И. В. Курчатовым с сотр.

- Дж. Аллен впервые провел успешный косвенный опыт по доказательству существования нейтрино. Регистрировались ядра отдачи, возникающие вследствие испускания нейтрино при захвате орбитальных электронов (впервые эксперимент с ядрами отдачи поставил в 1936 А. И. Лейпунский).

- С. Томонага предложил ковариантную формулировку квантовой теории поля.

- С. Саката и Я. Таникава выдвинули гипотезу о двух типах мезонов, прямое подтверждение которой было получено в 1947 открытием пионов и μ -распада. К подобной идее в 1947 пришли Х. Бете и Р. Маршак.

- Х. Альфвен предсказал новый тип электромагнитных волн, распространяющихся в плазме с высокой проводимостью в сильных магнитных полях (волны Альфвена). Открыты им в 1950.

- Открытие солнечных космических лучей.

- И. М. Франк разработал теорию сложного эффекта Доплера.

- Построены германиевые выпрямители с высоким обратным напряжением (С. Бенцер).
- Л. Брэгг развил метод вос-

становления кристаллической решетки с помощью дифракции на дифракционной картине, полученной в рентгеновских лучах (идея рентгеновского микроскопа). Первоначально предложен им в 1939. 1943. Введение В. Гейзенбергом понятия матрицы рассеяния, или *S*-матрицы (впервые *S*-матрицу предложил в 1937 Дж. Уилер, идею *S*-матрицы выдвинул также Л. И. Мандельштам).

● М. Олифант предложил использовать в ускорителях частиц на большие энергии не сплошной, а кольцевой магнит; для поддержания непрерывного ускорения при этом должны меняться с течением времени и магнитное поле, и частота ускоряющего электрического поля.

1943—1946. В СССР заложены теоретические и экспериментальные основы физики ядерных реакторов (И. В. Курчатов с сотр.). В частности, в 1943 выдвинута идея о гетерогенном размещении урана и поставлены основные опыты по резонансному поглощению нейтронов, создана (Я. Б. Зельдович, И. Я. Померанчук, И. И. Гуревич) теория замедления и диффузии нейтронов в графите, И. Я. Померанчуком разработана (1944) теория экспоненциальных опытов с уран-графитовой решеткой.

1943. Л. Яноши предложил механизм рождения мезонов космических лучей — процесс многократного рождения (теория Яноши).

1943—1944. Г. Ватагин построил статистическую теорию множественной генерации частиц космических лучей.

● Открыты сегнетоэлектрические свойства титаната бария BaTiO_3 (В. М. Вул и др.). В 1945 феноменологическую теорию его построил В. Л. Гинзбург, а в 1949 А. Девоншир. 1944. Построен первый ядер-

ный реактор на природном уране с тяжелой водой в качестве замедлителя (Аргонская лаборатория).

Б. М. Вул



● Э. Ферми предположил, что различные вещества характеризуются показателями преломления для нейтронной волны. Используя представления о показателе преломления, В. Зинн в этом же году обнаружил полное отражение нейтронов. Положено начало нейтронной оптике.

● В. И. Векслер открыл новый принцип ускорения частиц — автофазировку, который лег в основу создания новых ускорителей заряженных частиц — фазотрона, синхротрона, синхрофазотрона, микрофона; дал его терию. В 1945 этот же принцип предложил Э. Мак-Миллан. Идею автофазировки в 1934 выдвинул Л. Сцилард.

Принцип автофазировки позволил перейти рубеж энергий ускоряемых частиц в 15—20 МэВ. Теории ускорителей, в которых используется этот принцип, были разработаны в 1946—1947 М. С. Рабиновичем, Д. Деннисоном, Д. Бомом и др., а первые ускорители (электронный синхротрон и фазотрон) построены в 1946. В 1952 стал в строй первый протонный синхрофазотрон.

● Создана актинидная теория, сыгравшая важную роль для систематики и предсказания свойств тяжелых трансурановых элементов (Г. Сиборг).

● Синтезированы америций и

кюри в реакциях: $^{239}_{94}\text{Pu} + n \rightarrow$

$\rightarrow ^{240}_{94}\text{Pu} + n \rightarrow ^{241}_{94}\text{Pu} \xrightarrow{\beta^-} ^{241}_{95}\text{Am};$

$^{239}_{94}\text{Pu} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{242}_{96}\text{Cm} + n$

(Г. Сиборг, А. Гиорсо и др).

Г. Сиборг



● В. И. Векслер выдвинул идею микротрона.

● Д. Д. Иваненко и И. Я. Померанчуком предсказано синхротронное излучение — магнитотормозное излучение релятивистских электронов, движущихся в магнитном поле и выведена формула для спектрального распределения частот. В 1949 теорию синхротронного излучения построил Ю. Швингер. Наблюдалось в 1947 Г. Поллоком и др.

● Дж. Пирс предсказал явление срыва (ограничения) тока в квазинейтральном электронном пучке (порог Пирса, ток Пирса). Экспериментально обнаружено в 1962 В. И. Волосовым.

Е. К. Завойский



● Е. К. Завойским открыт электронный парамагнитный резонанс, предсказанный в 1923 Я. Г. Дорфманом.

● В. П. Пешков обнаружил в сверхтекучем жидком гелии второй звук, предсказанный

в 1941 Л. Д. Ландау. Физическая природа выяснена (1944) Е. М. Лифшицем.

● Б. Г. Лазарев и Л. С. Кан разработали метод получения высоких давлений при температурах жидкого гелия («следовая бомба»).

● Развитие статистической теории фазовых превращений (Л. Онсагер).

● М. А. Леонтович предложил метод параболического уравнения для решения задачи о распространении электромагнитных волн вдоль поверхности Земли.

● Л. Онсагер получил точное решение двумерной модели Изинга.

● Открыто явление сверхдальнего распространения звука в океане (М. Ивинг, Дж. Ворцель). В 1946 это явление обнаружили также Л. М. Бреховских и Л. Д. Розенберг.

● Р. Дикке построил радиометр, являющийся основной частью радиотелескопа.

1944—1949. Построены первые электронные цифровые вычислительные машины (США). В СССР ЭЦВМ разработана в 1950.

1945. И. Е. Тамм развил приближенный метод в квантовой теории поля, отличный от метода теории возмущений, предложенный также в 1950 С. Данковым (метод Тамма — Данкова).

● Измерен коэффициент размножения на быстрых нейтронах (А. Снелл и др.).

● Открыт прометий в ядерном реакторе выделением из смеси радиоактивных изотопов, образовавшихся при делении урана (Л. Гленденин и др.).

● 16 июля осуществлен первый экспериментальный ядерный взрыв (пустыня Аламогордо, США).

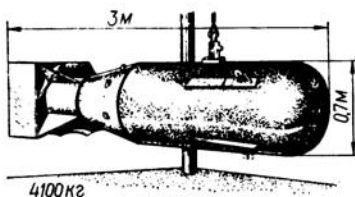
● Созданы первые атомные бомбы (США).

● Изобретен кристаллический счетчик (П. Ван Хеерден).

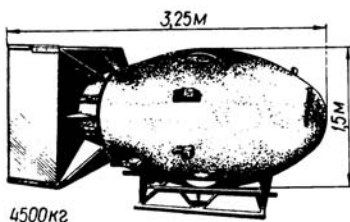
● А. Б. Мигдал развил теорию гигантского дипольного резонанса в ядрах.

● Разработана термодинамическая теория сегнетоэлектрических явлений (В. Л. Гинзбург).

Атомная бомба («малыш»)



Атомная бомба («толстяк»)



● Н. Н. Боголюбов высказал идею об иерархии времен релаксации, имеющую важное значение в статистической теории необратимых процессов. 1945—1947. Получено прямое доказательство дискретной структуры промежуточного состояния (А. И. Шальников, А. Г. Мешковский).

1945. Открыты детекторные свойства сверхпроводников (А. А. Галкин).

● Ф. Хойлом разработана гипотеза образования звезд из диффузной материи вследствие гравитационного сжатия. 1946. Открыт ядерный магнитный резонанс (Ф. Блох, У. Хансен; Э. Парселл, Р. Паунд).

● Ф. Блох предложил систему уравнений, описывающих динамическое поведение макроскопической намагниченности парамагнитной системы

ядер (уравнения Блоха). Несколько видоизмененные, они могут быть использованы для описания электронного парамагнитного или ферромагнитного резонансов.

Э. Парселл



● Создана ядерная фотоэмульсия высокой чувствительности (С. Пауэлл).

● Получены «холодные» нейтроны (Э. Ферми, Г. Андерсон, Д. Митчелл), предсказанные в 1941 А. И. Ахиезером и И. Я. Померанчуком.

● Положено начало нейтронографии (Э. Ферми, В. Зинн, Л. Маршалл).

● Построен ускоритель, основанный на принципе автофазировки, — электронный синхротрон (Ф. Говард, Д. Барнес).

● Построен первый фазотрон (Дж. Ричардсон и др.). Первую теорию фазотрона разработал (1946) М. С. Рабинович.

Б. М. Понтекорово



● Б. М. Понтекоров предложил хлор-аргоновый метод детектирования нейтрино в реакции $^{37}_{17}\text{Cl} + \nu \rightarrow ^{37}_{18}\text{Ar} + e^-$.

● Л. Альварес построил первый линейный ускоритель протонов с трубками дрейфа (ускоритель Альвареса).

● 25 декабря осуществлена цепная ядерная реакция в первом советском ядерном реакторе (И. В. Курчатов с сотр.). 1946—1948. С. Томонага (1946) и Ю. Швингер (1948) придали особую ковариантную форму основным уравнениям поля (уравнения Томонаги — Швингера).

1946. А. И. Ахиезер выдвинул концепцию магнонов.

● С. И. Пекар ввел представление о поляронах, на основе которого развил в 1946—1949 теорию поляронов в пределе сильной связи. В 1950 теорию поляронов построил также Г. Фрёлих.

● В. Л. Гинзбург и И. М. Франк предсказали переходное излучение, открытое в 1958.

А. Ф. Прихотько



1946—1948. Обнаружены молекулярные экситоны, предсказанные в 1931 Я. И. Френкелем (А. Ф. Прихотько, А. С. Давыдов).

А. С. Давыдов



1946. Л. Д. Ландау предсказал эффект бесстолкновительного затухания волн в плазме, показав, что волны в плазме должны затухать даже в отсутствие

столкновений (эффект затухания Ландау). Подтвержден экспериментально в 1966. Лежит в основе теории коллективных явлений в разреженной плазме.

● Дж. Гриффитс впервые четко наблюдал на СВЧ ферромагнитный резонанс (наведенный) в постоянном внешнем поле. В этом же году Дж. Биркс наблюдал естественный ферромагнитный резонанс. В 1947 его обнаружил также Е. К. Завойский.

● Ф. Блох показал, что при быстром адиабатическом прохождении области резонанса происходит переворачивание вектора намагниченности. Лежит в основе одного из методов получения отрицательной намагниченности.

● Р. Сакс предложил многоконтактную теорию выпрямления.

● У. Браттейн описал выпрямляющее действие контакта двух полупроводников.

● Л. Э. Гуревич предсказал эффект «увлечения» электронов фононами и развил его теорию применительно к электронам в металлах. Обнаружен экспериментально в 1953 Х. Фредериксом и в 1954 Т. Джебаллом и Г. Халлом.

● Н. Н. Боголюбов разработал общий метод построения кинетических уравнений для систем взаимодействующих частиц и заложил основы современной теории кинетических явлений.

1946—1948. Дж. Гамов разработал теорию «горячей Вселенной», подтвержденную в 1965 открытием реликтового излучения.

1946. Е. М. Лифшиц построил теорию неустойчивостей в расширяющейся Вселенной.

● Построен радиointерферометр (Дж. Пози, М. Райл).

● Впервые измерено радиоизлучение Луны на волне 1,25 см (Р. Дикке).

● Открыт первый дискретный радиоисточник — Лебедь А. 1947. Экспериментально доказано, что мюон не является сильновзаимодействующей частицей (М. Конверси, Э. Панчини, О. Пиччиони).

● В ядерных фотоэмульсиях, облученных космическими лучами на большой высоте над земной поверхностью, открыты заряженные пионы (С. Пауэлл,

С. Пауэлл



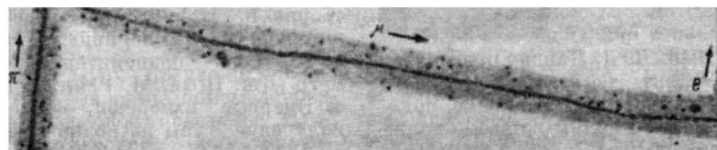
Дж. Оккиалини, Ч. Латтес, Х. Мюрхед). Полученные треки указывали на существование частиц с массой примерно $300 m_e$, т. е. более тяжелых,

Дж. Оккиалини



чем известные тогда легкие мезоны с массой $\sim 200 m_e$. Это были мезоны Юкавы, предсказанные им в 1935 как переносчики ядерных сил. Они были

Микрофотография следов пиона и мюона, образовавшегося после распада пиона



названы Пауэллом пи-мезонами, открытый ранее К. Андерсоном мезон (термин «мезон» предложил Х. Баба) стали называть мю-мезоном. При этом было также замечено, что пи-мезон в конце своей траектории в эмульсии спонтанно превращается в мю-мезон ($\pi \rightarrow \mu$ -распад).

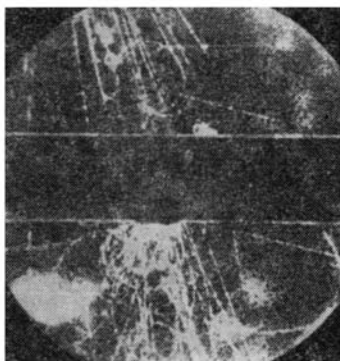
● Обнаружены при помощи камеры Вильсона в космиче-

К. Батлер



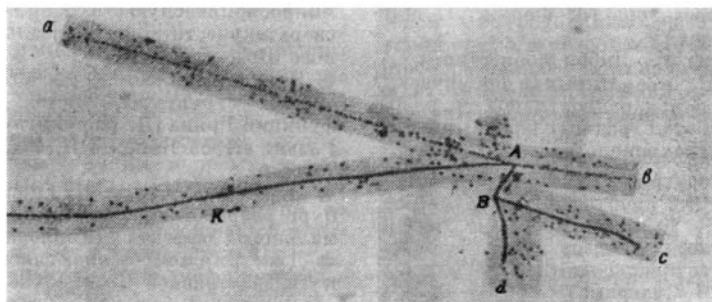
ских лучах первые нестабильные тяжелые частицы, или V-частицы (заряженные и нейтральные), идентифицированные с каонами и гиперонами (Дж. Рочестер, К. Батлер).

Первая фотография нейтральной V-частицы в камере Вильсона



Общепринятое открытие заряженных каонов относится к 1949 (С. Пауэлл с сотр.). Первое экспериментальное указание на существование каонов получил в 1944 Л. Лепренс-Ренге. Надежное открытие гиперонов связывают с 1951.

Микрофотография распада каона на три пиона, зарегистрированного в эмульсии группой С. Пауэлла



● Х. Бете, используя вычислительный формализм, произвел расчет радиационного смещения уровней $2S_{1/2}$ и $2P_{1/2}$ в атоме водорода. Вычислительный формализм позволил устранить все расходимости из радиационных поправок путем компенсации этих расходимостей соответствующим выбором m и e . Тем самым была сдвинута с мертвой точки проблема оп-

● У. Лэмб и Р. Ризерфорд провели опыт по наблюдению тонкой структуры уровней энергии атома водорода (опыт Лэмба — Ризерфорда), надежно измерив величину разности

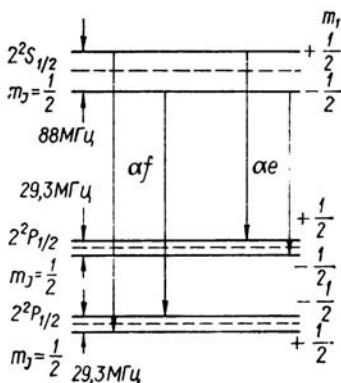
У. Лэмб



между энергиями $2S_{1/2}$ и $2P_{1/2}$ состояний («лэмбовский сдвиг»). Согласно релятивистской теории Дирака эти уровни должны совпадать. На то, что эти уровни различны, указывали уже опыты У. Хаустона (1937). Сдвиг Лэмба был предсказан в 1938 Д. И. Блохинцевым, объяснен квантовой электродинамикой.

ределения радиационных поправок к наблюдаемым эффектам и положено начало быстрому развитию современной квантовой теории поля. Эти идеи получили систематическое развитие в работах (1948—1949) Ю. Швингера, Р. Фейнмана и др. В результате был

Схема сдвига уровней энергии в атоме водорода



создан метод перенормировок, давший возможность исключить бесконечности и дать однозначный рецепт расчета любых процессов взаимодействия электронов с электромагнитным полем с любой желаемой точностью, т. е. позволивший изучать электромагнитные взаимодействия в более высоких порядках.

● Получены мощные источники нейтронов от ядерного реактора (Э. Ферми, Л. Маршалл).

● У. Либби совместно с А. Гроссе открыл в космических лучах радиоуглерод и разработал радиоуглеродный метод геохронологии.

У. Либби



Веревоочная сандалия, найденная в пещере штата Орегон, возраст которой согласно радиоуглеродному методу составляет 9 тыс. лет



● Открытие синхротронного излучения (Г. Поллок и др.). В 1946 Дж. Блюит обнаружил изменение траектории электронов в синхротроне, обусловленное потерями на излучение.

● К. Андерсоном установлен распад мюона на три частицы:

электрон и две нейтральные частицы (нейтрино и антинейтрино).

● Создан первый советский электронный синхротрон на энергию 30 МэВ (В. И. Векслер).

● Изобретен сцинтилляционный счетчик (Х. Кальман).

● Х. Снайдер выдвинул идею релятивистского квантования пространства — времени.

● Н. Н. Боголюбов построил микроскопическую теорию сверхтекучести для неидеального Бозе-газа.

● Предложен метод расчета зонной структуры — метод функций Грина (Я. Корринга). Развита в 1954 Коном и Н. Ростокером.

● И. М. Франк и В. Л. Гинзбург разработали теорию аномального эффекта Доплера.

● Дж. Бардин, основываясь на идее «уровней Тамма», построил теорию явлений в полупроводниках, которая объяснила непонятные ранее факты и предсказала результаты некоторых возможных экспериментов.

● Л. Сосновский высказал идею $p-n$ -перехода, лежащую в основе действия плоскостных полупроводниковых усилителей с $p-n-p$ и $n-p-n$ переходами. Впервые $p-n$ -переход был обнаружен экспериментально в закиси меди в 1941 В. Е. Лашкаревым.

● Ч. Киттель построил теорию ферромагнитного резонанса, которую обобщил в 1948, включив в нее эффекты магнитной анизотропии. В 1948—1949 теорию ферромагнитного резонанса (классическую и квантовую) развил Д. Полдер. 1947—1948. Х. Коппе получил примерно экспоненциальную температурную зависимость тепловых характеристик сверхпроводников. В 1953 Б. Гудман обнаружил экспериментально экспоненциальную зависимость теплоемкости от тем-

пературы и появление энергетической щели в спектре сверхпроводника $2\Delta \sim K_B T_c$ (здесь K_B — постоянная Больцмана; 2Δ — величина энергетической щели; T_c — температура сверхпроводящего перехода). 1947. А. Пипшард построил теорию аномального скин-эффекта в металлах.

● И. Пригожин сформулировал теорему о минимальности производства энтропии (теорема Пригожина).

● Выращены первые сравнительно чистые кристаллы титаната бария $BaTiO_3$ (Б. Маттиас).

● Открыты звездные ассоциации (группы молодых звезд), чем было подтверждено, что процесс звездообразования во Вселенной продолжается и ныне (В. А. Амбарцумян).

1948. П. Каш экспериментально обнаружил и измерил аномальный магнитный момент электрона.

П. Каш



● Ю. Швингер вычислил (в низшем порядке теории возмущений) аномальный магнитный момент электрона, возникающий из-за взаимодействия электрона с квантованным электромагнитным полем, получив результат, совпадающий с экспериментальным.

● А. Снелл и Л. Миллер экспериментально обнаружили бета-распад свободного нейтрона и оценили период полураспада в 15—30 мин. В 1950 это также сделали Дж. Робсон и П. Е. Сливак и повторил А.

Снелл. Величина периода полураспада нейтрона $T_{1/2}$ у всех трех авторов равнялась 8—15 мин. В дальнейшем значение $T_{1/2}$ уточнялось: $10,61 \pm 0,16$ мин (К. Кристенсен с сотр., 1972); $10,13 \pm 0,09$ мин (П. Е. Сливак с сотр., 1978).

● Выдвинута идея об универсальном характере слабых взаимодействий (μ — e -универсальность) (Дж. Пуппи).

● Ф. Дайсон развил в квантовой электродинамике метод канонического преобразования (преобразование Дайсона).

● Р. Фейнман предложил метод интегралов по траекториям.

1948—1949. Первые ковариантные вычисления собственной энергии электрона (Ю. Швингер, Р. Фейнман).

● Завершено создание современной квантовой электродинамики (С. Томонага, Р. Фейнман, Ю. Швингер, Ф. Дайсон).

Ф. Дайсон



1948. Искусственное получение пионов (Э. Гарднер, Ч. Латтес). Возникали при взаимодействии с ядрами ускоренных до энергии 380 МэВ альфа-частиц на фазотроне в Беркли.

● Изобретение нейтронной радиографии (Х. Кальман).

● Сооружен первый микротрон, идею которого высказал В. И. Векслер.

● Первое наблюдение когерентного рассеяния нейтронов (К. Шалл и др.).

● Наблюдение L -захвата (Б. М. Понтекерво).

1948—1949. В СССР сформулированы основные идеи реакторов на быстрых нейтронах с расширенным воспроизводством ядерного горючего (А. И. Лейпунский с сотр.). 1948. Построена R -матричная теория ядерных реакций (Ю. Вигнер, М. Айзенбуд).

М. Гёпперт-Майер



1948—1950. Создание оболочечной модели ядра (М. Гёпперт-Майер; Х. Йенсен, Х. Зюсс, О. Хаксель). Впервые модель ядерных оболочек пред-

Х. Йенсен



ложена в 1934 В. Эльзассером и К. Гуггенгеймером. В 1948 Гёпперт-Майер, обобщив большое количество экспериментальных данных, показала, что «магические» ядра с Z и N , равными 2, 8, 20, 50, 82, и $N = 126$, обладают повышенной стабильностью. В 1949 она предположила существование между нуклонами в ядрах сильного спин-орбитального взаимодействия и просто объяснила «магические» числа. Тщательное аналитическое исследование оболочечной модели с учетом спин-орбитальной связи провели в 1950 Йенсен, Зюсс и Хаксель. В 1955 С. Нильссон усовершенствовал

оболочечную модель, разработав метод, позволяющий вычислять потенциалы отдельных нуклонов в деформированном или несферическом поле ядра (метод орбиталей Нильссона). 1948. Создана теория резонансных ядерных реакций (А. И. Ахиезер, И. Я. Померанчук). ● Обнаружение релятивистских ядер в космических лучах (Х. Брадт, Б. Петерс). Во время полетов неуправляемых воздушных шаров с фотографическими эмульсиями на высоте до 29 км были зарегистрированы треки тяжелых частиц с атомными номерами от 11 до 41.

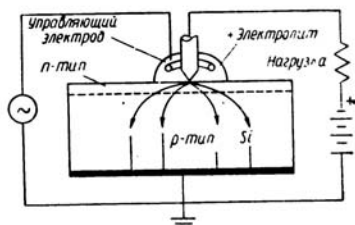
● К. Горттер предложил метод поляризации ядер кобальта-60. В 1951 методы получения ориентированных ядер разработали также Б. Блини и Р. Паунд.

● Изобретен искровой счетчик (Дж. Кейфель).

● У. Шокли и Дж. Пирсон обнаружили эффект поля, имевший важное значение для изобретения транзистора.

● Изобретен транзистор (Дж. Бардин, У. Браттейн).

Схема первого транзистора



● Разработана теория ядерного парамагнитного резонанса (Н. Бломберген, Э. Парселл, Р. Паунд).

● Н. Бломберген, Э. Парселл и Р. Паунд в связи с рассмотрением вопроса о насыщении спинового резонанса интенсивным высокочастотным полем использовали представление о спиновой температуре, более

высокой, чем температура решетки. Впервые это понятие ввели в 1938 Х. Казимир и Ф. Дю Пре, выделив спиновые степени свободы в отдельную термодинамическую подсистему. В 1951 Э. Парселл и Р. Паунд использовали представление о положительной и отрицательной спиновой температуре. В 1956 Н. Рамзей специально рассмотрел случаи отрицательных спиновых температур, разработав соответствующий математический аппарат. В 1958 А. Абрагам и В. Проктор дали для случая слабого поля аналитическое определение спиновой температуры и экспериментально установили ее идентичность термодинамической температуре.

● Открыта сверхтонкая структура резонансной линии электронного парамагнитного резонанса (С. А. Альшулер, Б. М. Козырев).

● Предсказана пучковая неустойчивость в газозарядной плазме (А. И. Ахиезер, Я. Б. Файнберг, Дж. Пирс). В 1949 это сделал также Д. Бом.

*Дж. Бардин, У. Шокли,
и У. Браттейн*

Обнаружена в 1957—1960 Файнбергом с сотр.

● Л. Неель разработал модель ферромагнетизма, в которой постулировал, что обменное спин-спиновое взаимодействие

А. И. Ахиезер



в ферритах и антиферромагнитных материалах аналогично взаимодействию, которое имеет место в ферромагнитных металлах, с тем лишь отличием, что возможна антипараллельная ориентация спинов. Построил теоретические кривые, описывающие поведение магнитной восприимчивости как функции температуры для нескольких различных типов взаимодействия между спинами.

Прямое доказательство справедливости модели Нееля бы-



ло дано в 1949—1951 гг. Шаллом.

● Б. Маттиас построил микроскопическую теорию сегнетоэлектричества.

● Открыт эффект скачкообразного изменения поляризации сегнетоэлектриков — скачки переполаризации (А. Ахерн и др). Представляет собой аналог эффекта Баркгаузена в ферромагнетиках. Первые наблюдения эффекта Баркгаузена в сегнетовой соли произвел в 1935 Х. Мюллер. Эффект Баркгаузена позволяет с высокой степенью точности измерять ряд магнитных и электрических величин, используется для исследования ферромагнетиков и сегнетоэлектриков.

● В. Е. Лашкарев построил общую теорию фотоЭДС в полупроводниках.

● А. С. Давыдовым создана теория поглощения света в молекулярных кристаллах и предсказано расщепление невырожденных молекулярных термов («давыдовское расщепление»). Экспериментальное доказательство эффекта давыдовского расщепления дано в 1961 В. Л. Броуде.

● Предсказано существование упругих кристаллов мартенсита и термоупругого равновесия фаз в твердом состоянии (Г. В. Курдюмов, Л. Г. Хандрос).

● Получен жидкий гелий ^3He .

● Обнаружено явление одновременного возбуждения первого и второго звуков в сверхтекучих растворах ^3He — ^4He колебаниями температуры (В. П. Пешков).

● И. М. Лифшиц разработал теорию процесса двойникования.

● Н. Бломберген, Э. Парселл и Р. Паунд заложили основы микроскопической теории релаксации в жидкостях.

● П. Жакино в фурье-спектроскопии сформулировал не-

которые соображения относительно выигрыша в геометрическом факторе (выигрыш Жакино). В 1951 П. Фелжет рассмотрел так называемый «выигрыш Фелжета» и первый применил численное преобразование интерферограмм.

1948—1950. Заложены физические основы учения о разрушении периодически неоднородных и анизотропных сред (А. В. Степанов).

1948. Б. И. Степанов разработал теорию колебательных спектров многоатомных молекул.

● Создана Д. Габорм голография (идею голографического метода получения изображений выдвинул в 1920 М. Вольфке).

Д. Габор

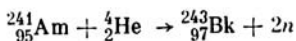


1949. Р. Фейнман ввел понятие континуального интеграла в конфигурационном пространстве и дал новую формулировку квантовой механики.

● Экспериментально подтвержден обменный характер ядерного взаимодействия между протоном и нейтроном (К. Бракнер и др.).

● Дж. Дюмонд измерил длину волны излучения аннигиляции, образовавшегося в результате превращения пары электрон — позитрон в гамма-квант.

● Синтезирован берклий в реакции:



(Г. Сиборг, С. Томпсон, А. Гиорсо).

● Э. Финберг ввел представление об «островках» изомерии.

● 29 августа испытана первая советская атомная бомба (И. В. Курчатов), что ликвидировало монополию США в области ядерного оружия и обрело на провал политику атомного шантажа США.

● Осуществлен пуск первого советского тяжеловодного ядерного реактора (А. И. Алиханов).

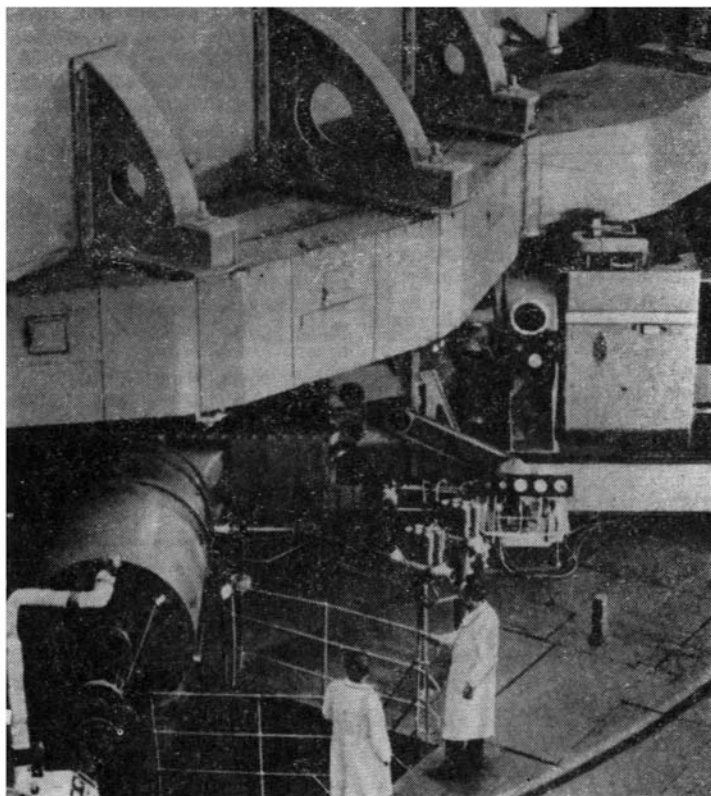
● Осуществлен пуск советского синхротрона на энергию протонов 680 МэВ (М. Г. Мещеряков).

*Синхротрон на 680 МэВ
(Дубна)*

● Э. Ферми и Ч. Янг выдвинули идею о том, что пион можно рассматривать как связанное состояние нуклона и антинуклона (первая модель составной элементарной частицы).

● Получены поляризованные пучки нейтронов (Д. Юз, М. Бёрджи).

А. И. Алиханов



● Построена теория дифракционного рассеяния быстрых заряженных частиц ядрами (А. И. Ахиезер, И. Я. Померанчук).

● Введено понятие о диффузии ядерного спина (Н. Бломберген, Б. Роллин). Дальнейшее развитие теории спиновой диффузии получило в работах Г. Р. Хуцшвили (1954, 1956), П. Де Жёна (1958) и др.

● Ю. Вигнер сформулировал закон сохранения числа барионов (первое отчетливое выражение этого закона содержалось уже в работе Э. Штукельберга, 1938).

● Ф. Дайсон развил рецептуру вычитательного формализма в квантовой электродинамике.

● Р. Фейнман предложил графический метод представления амплитуд рассеяния и рожде-

ния частиц в квантовой электродинамике (диаграммы Фейнмана).

● Открытие электронно-ядерных ливней (Д. В. Скобельцын, Н. А. Добротин, Г. Т. Зацепин).

● Э. Ферми предложил теорию галактического происхождения космических лучей.

● А. Е. Чудаков открыл при высоких энергиях явление ослабления ионизации, вызываемой электронно-позитронной парой (эффект Чудакова).

● Описан аномально быстрый уход плазмы сквозь магнитное поле на стенки сосуда (Д. Бом). Получено эмпирическое выражение для коэффициента диффузии (бомовский коэффициент диффузии).

● Открытие оптической ориентации атомов и разработка метода оптической накачки (А. Кастлер). Оптическая накачка осуществлена в 1952 А. Кастлером и Ж. Бросселем. 1949—1950. Наблюдение Г. Торри (1949) и Э. Ханом (1950) неустановившейся нутации и свободной прецессии магнитных моментов.

1949. Д. Габор предложил принцип дифракционной (голографической) микроскопии.

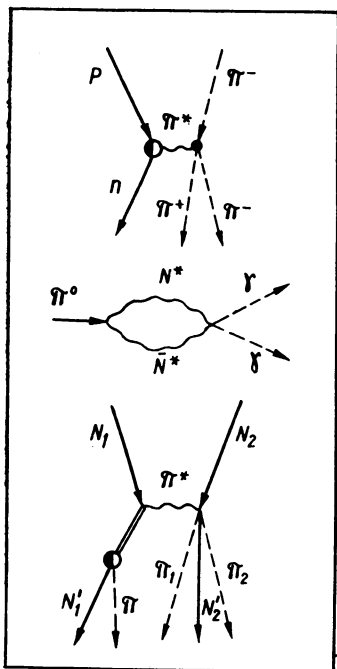
● Г. Сулом и У. Шокли открыто влияние магнитного поля на концентрацию дырок и электронов в полупроводниках (эффект Сула).

● Дж. Хейнс и У. Шокли осуществили эксперимент, позволивший непосредственно определить подвижность и время жизни неосновных носителей заряда в германии (эксперимент Хейнса — Шокли).

● У. Шокли, Дж. Пирсон и Дж. Хейнс выполнили подробные исследования эффекта усиления и контролируемой инжекции носителей заряда в полупроводниках.

● У. Шокли построил теорию $p-n$ -перехода, показав, что наличие $p-n$ -перехода создает поток дырок в прилегаю-

Диаграммы Фейнмана



ций образец n -типа и такой переход выполняет по сути функции эмиттера неосновных носителей тока.

● Дж. Пирсон подтвердил экспериментально теорию p — n -перехода Шокли, используя для этой цели плоскостной полупроводниковый диод с p — n -переходом, приготовленный путем добавления примесей галлия к образцу германия n -типа. Этот диод обладал высоким обратным напряжением.

● У. Шокли предложил полупроводниковый усилитель p — n — p -типа.

● Дж. Шив построил фототранзистор.

● У. Найт обнаружил в металлах и сплавах смещение резонансных частот ядерного магнитного резонанса (сдвиг Найта). Вызван релаксацией, связанной с взаимодействием электронов проводимости с магнитными моментами ядер.

● Н. Д. Моргулис и П. М. Марчук открыли термоэмиссионный метод преобразования энергии.

1949—1951. К. Шалл получил прямое доказательство существования антиферромагнитной структуры нейтронографическим методом.

1949. Л. Онсагер предсказал возникновение квантованных вихрей в сверхтекучей компоненте жидкого гелия, движущейся с критической скоростью, при температурах ниже точки фазового перехода (в 1955 это сделал и Р. Фейнман). Экспериментально эта гипотеза была подтверждена в 1961 У. Вайненом.

● Обнаружен двойной резонанс в монокристалле железа (А. Кип, Р. Арнольд). В этом же году Л. Бикфорд наблюдал в магнетите при низких температурах многократный резонанс.

● Г. В. Курдюмов и Л. Г. Хандрос обнаружили явление

термоупругого равновесия при фазовых превращениях мартенситного типа (эффект Курдюмова); теоретически предсказали в 1948.

Г. В. Курдюмов



● В. Л. Гинзбург заложил основы динамической теории сегнетоэлектричества, в дальнейшем получившей развитие в работах самого Гинзбурга (1960—1962) и Ф. Андерсона (1960). Феноменологическая теория сегнетоэлектричества построена в 1945 В. Л. Гинзбургом и в 1949 А. Девонширом (теория Гинзбурга — Девоншира).

1950. Открытие нейтрального пиона по гамма-квантам от его распада: $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ (Дж. Штейнбергер, В. Пановский и др.). Рождался в столкновениях фотонов и протонов высокой энергии (~ 300 МэВ) с ядрами мишени.

● Наблюдение резонансного рассеяния на ядре — гигантского резонанса (М. Гольдхабер и др.). Предсказан в 1948 Гольдхабером и Э. Теллером.

● Синтезирован калифорний в реакции $^{242}_{96}\text{Cm} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{245}_{98}\text{Cf} + n$ (Г. Сиборг, С. Томпсон, А. Гиорсо).

● М. Розенблют рассчитал сечение упругого рассеяния электрона на заряженной частице, обладающей спином $1/2$, конечными размерами и произвольным магнитным моментом (формула Розенблюта).

● Дж. Рейнуотер предложил сфероидальную модель ядра. 1950—1952. Построена коллек-

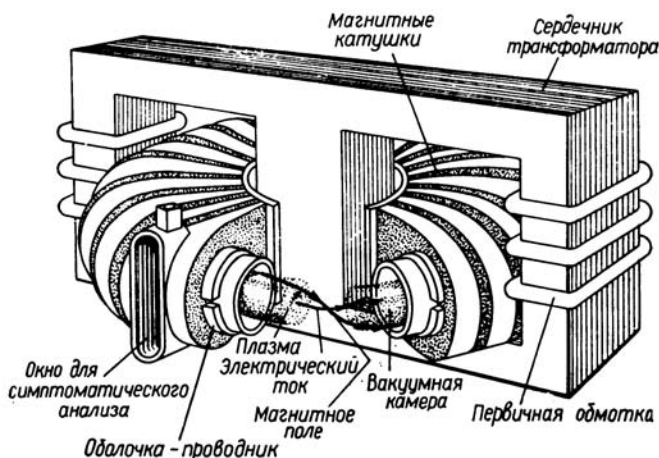
тивная модель ядра (О. Бор, Б. Моттельсон). Вклад в разработку этой модели внесли также Дж. Рейнуотер (1950), Д. Хилл и Дж. Уилер (1953). 1950. Выдвинута идея термоизоляции высокотемпературной плазмы сильным магнит-

ным полем (И. Е. Тамм, Л. Снитцер и др.).

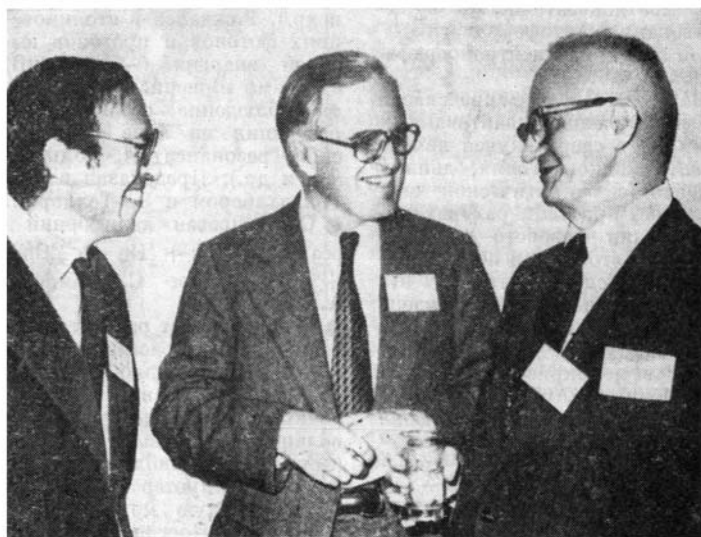
● И. Е. Тамм с сотр. предложил для удержания высокотемпературной плазмы использовать тороидальное магнитное поле (концепция токамака).

● Высказана идея сильной фокусировки (Н. Кристофилос).

Схема Токамака



Б. Моттельсон, О. Бор и Дж. Рейнуотер



В 1952 метод жесткой фокусировки предложили также Э. Курант, М. Ливингстон и Х. Снайдер. В 1944 на возможность осуществления в ускорителях нового метода фокусировки пучка быстрых частиц на основе параметрического повышения его устойчивости указал В. С. Фурсов.

● Выдвинута гипотеза о том, что источником космических лучей являются сверхновые звезды (Д. тер Хаар). В 1956 ее поддержал С. Хаякава.

● Разработана статистическая теория множественной генерации частиц космических лучей (Э. Ферми). В 1951 И. Я. Померанчук предложил вариант теории, свободный от внутренней противоречивости, свойственной теории Ферми.

● Дж. Уорд установил в квантовой теории поля тождество для перенормировочных констант, обеспечивающее градиентную инвариантность (тождество Уорда).

● Дж. Вик в квантовой теории поля для произведений операторов установил теорему (теорема Вика).

● Л. Мишель ввел параметр для описания распада мюона (параметр Мишеля).

● Изобретен черенковский счетчик (Дж. Джелли). Идею использовать излучение Вавилова — Черенкова для регистрации быстрых частиц предложил в 1947 И. Геттинг.

● Дж. Бардин и Г. Фрелих предсказали притяжение между электронами металла за счет обмена виртуальными фононами.

● Г. Фрелих построил теорию сверхпроводимости, согласно которой последняя обусловлена взаимодействием электронов с фононами, приводящим к косвенному взаимодействию между электронами. Теорию сверхпроводимости, основанную на аналогичном электрон-фононном механизме взаимо-

действия, разработал в 1950—1951 Дж. Бардин (теория Фрелиха — Бардина).

● Г. Фрелих предсказал изотопический эффект.

● Открыт изотопический эффект в сверхпроводниках (Э. Максвелл, К. Рейнольдс). Явился свидетельством связи сверхпроводимости с взаимодействием между электронами и фононами.

● В. Л. Гинзбург и Л. Д. Ландау разработали феноменологическую теорию сверхпроводимости (теория Гинзбурга — Ландау). В 1959 Л. П. Горьков дал микроскопический вывод результатов теории Гинзбурга — Ландау с помощью функций Грина, а в 1960 совместно с А. А. Абрикосовым — феноменологическую теорию сверхпроводников с помощью магнитных атомов. Отсюда и название «теория Гинзбурга — Ландау — Абрикосова — Горькова» (ГЛИАГ).

● Введено понятие о деформационном потенциале (Дж. Бардин, У. Шокли). Представление о потенциале деформации разработал в 1952 также С. И. Пекар.

● Ф. Лондон предположил квантование магнитного потока в сверхпроводнике.

● И. М. Лифшиц сформулировал правило квантования движения электрона с произвольным законом дисперсии в магнитном поле (правило Лифшица — Онсагера).

● Первое наблюдение квадрупольного эффекта в твердом теле (Р. Паунд). Чисто квадрупольный резонанс в кристаллах обнаружен в этом же году Х. Демельтом и Х. Грюгером.

● Ф. Лондон ввел представление о глубине λ проникновения поля в сверхпроводник: $\lambda = mc^2/4\pi nq^2$, где m и q — масса и заряд сверхпроводящих носителей тока; n — плотность носителей.

● Дж. Халм и Б. Маттиас начали систематические испытания на сверхпроводимость различных сплавов и соединений.

Б. Маттиас



● И. Я. Померанчук для достижения сверхнизких температур предложил метод кристаллизации жидкого ${}^3\text{He}$ под давлением (метод Померанчука). Впервые применен в 1965 Ю. Д. Ануфриевым. С помощью этого метода Дж. Уитли удалось достичь в 1969 температуры 0,002 К.

● Э. Парселл и Р. Паунд впервые в радиодиапазоне наблюдали индуцированное излучение.

● Открыты магнитогидродинамические волны (Х. Альфвен). Предсказаны им в 1942.

Х. Альфвен



● Э. Хал в экспериментах по ядерному магнитному резонансу обнаружил и объяснил эффект спинового эха.

1950—1951. Ф. Андерсон и Дж. Ван Флек выполнили детальное исследование основных взаимодействий в спиновых системах, развив теорию косвенного обмена в этих системах и применив некоторые основные принципы, пред-

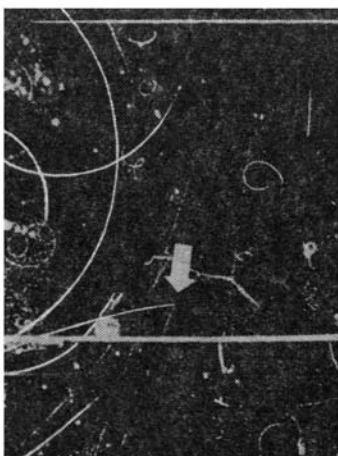
ложенные Х. Крамерсом (1934).

1950. Открытие гранатовых ферритов (Г. Форестье, Г. Гюи-Гийэн).

● Л. С. Стильбансом создан термоэлектрический полупроводниковый холодильник, основанный на использовании эффекта Пельтье.

1951. Открыт лямбда-нуль-гиперон Λ^0 (Р. Арменгерос, К. Батлер и др.).

Фотография, на которой зафиксирован лямбда-нуль-гиперон



Первые экспериментальные указания на существование гиперонов получены в 1947 Дж. Рочестером и К. Батлером, обнаружившими в космических лучах так называемые V -частицы (нейтральные и заряженные), которые были идентифицированы с каонами и гиперонами. В 1953 Р. Томпсон установил четкое различие между нейтральными V -частицами: V_1^0 -частица представля-

ляла распад $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$, а V_2^0 — распад $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$.

● Выдвинута гипотеза о парном рождении V -частиц, названных впоследствии странны-

ми частицами (И. Намбу, К. Нишиджима, Й. Ямагучи, С. Онеда). В 1952 ассоциативный механизм генерации странных частиц предложил также А. Пайс. Подтвержден экспериментально в 1953 У. Б. Фаулером, Р. Шаттом, А. Торндайком и У. Виттемором.

● Открыт позитроний при исследовании излучения от аннигиляции позитронов, остановившихся в газах (М. Дейч). Предсказан в 1934.

● Определены значения масс $p^{\pm}$ (Э. Гарднер и др.).

● Д. Юз и М. Бёрджи осуществили эксперимент по зеркальному отражению нейтронов от намагниченного железа, который подтвердил токовую модель нейтрона, предложенную в 1937 Ю. Швингером.

● Поставлен первый опыт по поиску электрического дипольного момента у нейтрона (Дж. Смит, Э. Парселл, Н. Рамзей). Получена верхняя граница меньше $5 \cdot 10^{-20}$ е. см. В 1980—1981 В. М. Лобашев с сотр. получил значение $(2,3 \pm \pm 2,3) \cdot 10^{-25}$ е. см.

● Определен спин заряженных пионов и измерено их среднее время жизни.

● Определена масса нейтрального пиона (В. Пановский).

● Обнаружена трехквантовая аннигиляция (С. Дебenedетти).

● Р. Ястров выдвинул идею о существовании отталкивания между нуклонами на малых расстояниях.

● Ю. Швингер получил систему уравнений в функциональных производных для функций Грина (уравнения Швингера).

● Б. С. Дзелепов предсказал протонную радиоактивность. Открыта в 1970 Дж. Черни.

● Х. Бете и Э. Солпитер сформулировали релятивистское уравнение для описания связанных состояний (уравнение Бете — Солпитера).

● Вступил в строй первый

экспериментальный реактор-размножитель с расширенным воспроизводством ядерного топлива (бридерный реактор), от которого впервые получена электрическая энергия (В. Зинн).

Начал проектировать совместно с Э. Ферми в 1944. В 1955 запущен первый советский реактор на быстрых нейтронах БР-1 (А. И. Лейпунский).

● Открыт антиферромагнитный резонанс при СВЧ (К. Гортнер и др.).

● Разработана теория антиферромагнитного резонанса (Ч. Киттель, Т. Нагамия).

● Ч. Киттель и К. Херринг построили теорию спиновых волн в ферромагнитных средах. (В 1958 Киттель развил теорию стоячих спиновых волн в тонкой ферромагнитной пленке).

● Обнаружен эффект Фарадея в ферритах (Ф. Робертс). Использован для создания (1953) СВЧ-переключателя.

● Предсказан диамагнитный (циклотронный) резонанс в полупроводниках (Я. Г. Дорфман, Р. Дингл).

● У. Шокли дал теорию транзистора $n-p-n$ -типа.

● Построены плоскостные полупроводниковые триоды $p-n-p$ -типа (Дж. Сэби).

● У. Шокли предсказал эффект насыщения в полупроводниках.

● У. Шокли ввел понятие «горячих» электронов в полупроводниках.

● Е. Ф. Гросс и Н. А. Каррыев обнаружили экситон Ванье — Мотта в кристаллах закиси меди, предсказанный в 1937—1938 независимо Г. Ванье и Н. Моттом.

● Наблюдение процесса ассоциативной ионизации, являющегося основным каналом образования заряженных частиц в газах, возбуждаемых излучением (Дж. Хорнбек, Дж. Молнар).

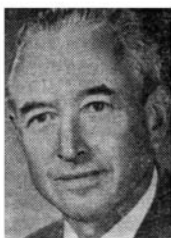
● Открыто явление образования устойчивого кольца релятивистских электронов с собственным электромагнитным полем — стабилизированного электронного пучка (Будкер).

Г. И. Будкер



● Г. И. Будкер (независимо от Р. Поста и Г. Йорка) выдвинул идею удержания плазмы магнитным полем, силовые линии которого имеют места сгущений (магнитные пробки).

Р. Пост



1952—1953. Выполнены первые опыты по удержанию плазмы в ловушках с магнитными пробками (Р. Пост).

Д. Глезер

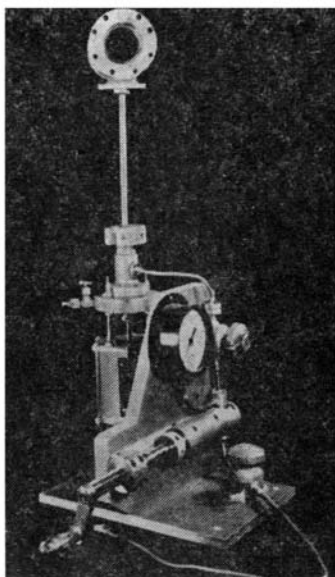


1952. Построен первый стелларатор (К. Уиллис).

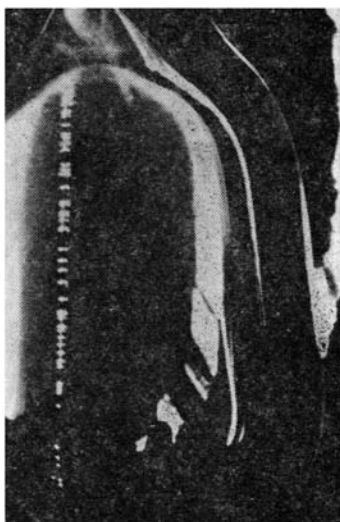
● Д. Глезер изобрел пузырьковую камеру.

● Наблюдение электронного парамагнитного резонанса в металлах (Т. Грисуолд и др.).

Первая пузырьковая камера



Фотография следа частицы в первой пузырьковой камере



● А. А. Абрикосов предсказал сверхпроводники II рода (открыты в 1934—1937 экспериментально Л. В. Шубниковым).

● Создан первый сверхпроводящий гальванометр (А. Пиншард, Г. Пуллан).

● Наблюдение люминесценции германиевых $p-n$ -переходов (Дж. Хейнс). В 1955 она наблюдалась от переходов на основе арсенида галлия GaAs (Р. Браунштейн).

● Экспериментально обнаружено сверхобменное взаимодействие (Р. Потенз). Предсказано в 1934 Х. Крамерсом и в 1948 Л. Неелем.

● У. Шокли предложил теорию униполярного полевого транзистора. Построен в 1953.

● Разработан четырехэлектродный полупроводниковый тетрод, представляющий модификацию транзистора $n-p-n$ -типа (Р. Валак и др.).

● Заложены физические основы вакуумной металлургии (К. Д. Сивельников, В. Е. Иванов).

● Наблюдение ядерного резонанса в антиферромагнетике при температуре жидкого гелия (Н. Поулис, Дж. Хардеман). В ферромагнетиках ядерный резонанс наблюдался в 1959—1960.

● Открытие оптической накачки (А. Кастлер, Ж. Броссель) по схеме, предложенной ими же в 1949. В 1953 оптическую накачку наблюдал также Р. Дикке.

● Я. Яфет и Ч. Киттель обобщили теорию магнитных подрешеток Нееля в ферритах, постулировав неколлинеарное расположение моментов подрешеток (модель Яфета — Киттеля). Экспериментальное доказательство неколлинеарного расположения моментов подрешеток дал в 1954 Э. Гортер.

● Ж. Броссель и Ф. Биттер разработали метод двойного радиооптического резонанса.

Позволяет определять структуру атомов в возбужденном состоянии.

● Впервые измерено время жизни позитронов в металлах (С. Дебенедетти).

А. Кастлер



● Предсказан акустический парамагнитный резонанс (С. А. Альтшулер).

1952—1953. Открыты радиогалактики (В. Бааде, Р. Минковский).

1953. Открыт сигма-плюс-гиперон Σ^+ (А. Бонетти, К. Йорк и др.). Наблюдался в камере Вильсона и фотоэмульсиях по распадам:

$$\Sigma^+ \rightarrow \pi^+ + n; \quad \Sigma^+ \rightarrow \pi^0 + p.$$

● Искусственное получение каонов на космотроне в Брукхейвене.

● Обнаружен распад $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ (Р. Томпсон).

● Обнаружено кулоновское возбуждение ядер, предсказанное в 1938 В. Вайскопфом.

● Выработана современная терминология в области элементарных частиц (барионы, гипероны, лептоны) и соответствующая символика.

● В. Фитч и Дж. Рейнуотер измерили радиусы ядер в области значений Z от 13 до 83, показав, что ядерный радиус равен $1,2 \cdot 10^{-13}$ см.

● Введено понятие странности и открыт закон сохранения странности (М. Гелл-Манн, К. Нишиджима), позволившие предсказать существование и свойства ряда странных час-

● Открыл первый антисегнетоэлектрик PbZnO_3 (Г. Ширани и др.).

● Ч. Киттель построил феноменологическую теорию антисегнетоэлектричества.

● А. Абрагам и Г. Прайс для расчета спектров электронного парамагнитного резонанса предложили метод спинового гамильтониана.

● А. Кастлер указал на существование прямой связи между электронным парамагнитным резонансом и магнитооптическими эффектами.

● В. А. Фабрикант, М. М. Вудинский и Ф. А. Бутаева предложили новый способ усиления электромагнитных волн индуцированным излучением (идея квантового усилителя).

● Наблюдение пинч-эффекта в тороидальной камере (А. Уэйр) Предсказан в 1934 У. Х. Беннетом и в 1938 Л. Тонксом.

● Х. Лондон для получения температур ниже 1 К предложил метод растворения ^3He в ^4He . Экспериментально реализован в 1965 Б. С. Негановым.

● Л. Спитцер выдвинул идею стелларатора — системы магнитного удержания плазмы с использованием внешнего продольного магнитного поля.

Л. Спитцер



Первые эксперименты на стеллараторах начались в 1952, в 1954 на них было обнаружено существование различного типа неустойчивостей плазмы.

● Изобретен автономный микроскоп (Э. Мюллер).

● Экспериментально обнаружено радиоизлучение нейтрального межзвездного водорода на волне 21 см (Э. Парселл, Х. Юин), предсказанное в 1944 Х. Ван де Хюлстом.

Э. Мюллер



● Построены аммиачные часы, стабильность которых составляла 10^{-8} (Г. Лайонс).

1952. Э. Ферми и Г. Андерсон открыли в рассеянии пионов на протонах первую резонансную частицу — пион-нуклонный резонанс Δ (1238, $3/2^+$).

● Открыт в космических лучах в камере Вильсона кси-минус-гиперон Ξ^- — каскадный гиперон (Р. Арменгерос, К. Батлер и др.). Распадается по схеме $\Xi^- \rightarrow \pi^- + \Lambda^0$

$$\downarrow p + \pi^-$$

● Открыты пси-мезоатомы — атомы, в которых электрон заменен пионом (М. Камак).

● М. Данышем и Е. Пневским открыты гиперядра — нестабильные ядра, в состав которых входит также гиперон (Λ^0).

● К. Бракнер и К. Ватсон развили теорию фоторождения мезонов.

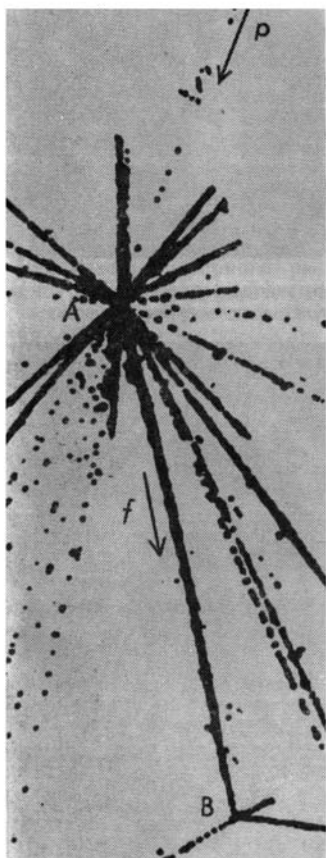
1952—1953. Введено понятие лептонного числа и сформулирован закон сохранения лептонного заряда (Я. Б. Зельдович, Д. Маркс, Э. Конопинский, Х. Махмуд).

1952. Р. Сакс установил так называемую зеркальную теорему, связывающую сумму магнитных моментов нейтрона и протона.

● Л. Нордгейм предложил полумпирические правила для определения результирующего момента ядер, основанные на гипотезе о том, что наиболее устойчивым состоянием системы нейтрон — протон является состояние с параллельной ориентацией спинов, т. е. триплетное состояние.

1952—1954. Получены спектральные представления функций Грина для квантовой электродинамики (Г. Челлен, 1952) и мезонной теории (Г.

Леман, 1954) (спектральные Микрофотография, на которой зарегистрировано первое гиперядро



представления Челлена — Лемана).

1952. Выполнен эксперимент по регистрации ядер отдачи, возникающих при электронном захвате в аргоне (Дж. Родебак, Дж. Аллен). Тем самым было доказано соблюдение закона сохранения импульса при испускании нейтрино.

● Осуществлено неуправляемое высвобождение большого количества термоядерной энергии в первом экспериментальном термоядерном взрыве (о. Бикини).

● Идентифицирован эйнштейний из осколков первого термоядерного взрыва (Г. Сиборг, А. Гиорсо, С. Томпсон). Образовался в результате последовательного захвата ураном-238 большого числа нейтронов и последующей цепочки бета-распадов.

● Стал в строй первый протонный синхрофазотрон на энергию 2,3 ГэВ — так называемый «брукхейвенский космотрон» (М. Ливингстон с сотр.). В 1954 энергия ускоряемых частиц в нем была доведена до 3 ГэВ. Начало разработки конструкций синхрофазотрона относится к 1947.

● Открыто излучение нейтронов и жестких гамма-лучей от мощных импульсных разрядов в газах (Л. А. Арцимович, С. Ю. Лукьянов, И. М. Подгорный, Н. В. Филиппов и др.).

● В опытах с $\pi^\pm$ -мезонами при энергии 73 МэВ получено подтверждение релятивистской формулы для замедления времени: $\tau_L = \tau (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$, где τ_L — время жизни в лабораторной системе отсчета с точностью до 8 % (У. Хавенс и др.). Аналогичные измерения в опытах с $K^\pm$ -мезонами подтвердили (1959) эту формулу с точностью до 5 % (Г. Бурровес и др.).

тиц, которые впоследствии были открыты. Ими же дана формула, связывающая электрический Q и барионный B заряды, странность S и третью проекцию изотопического спина I_3 :

$$Q = I_3 + \frac{1}{2} (S + B)$$

(формула

Гелл-Манна—Нишиджимы).

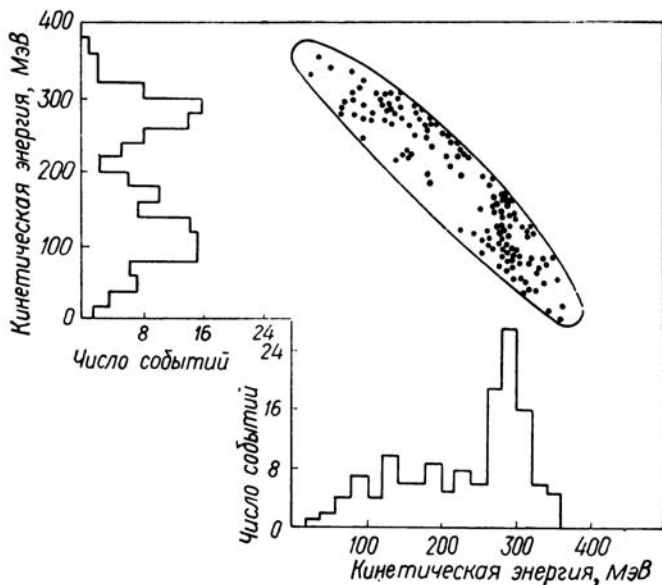
К. Нишиджима



● Открыты мю-мезоатомы (В. Фитч, Дж. Рейнуотер).

● Р. Далитц для анализа трехчастичных резонансных состояний предложил диаграммы (диаграммы Далитца).

Диаграмма Далитца



● Выдвинута гипотеза зарядовой независимости сильных взаимодействий (Р. Сакс).

● 12 августа впервые испытана водородная бомба (И. В. Курчатов).

● Показано, что можно создать бомбу, основанную на делении ядер и их синтезе (атомно-термоядерная бомба).

● Идентифицирован фермий из продуктов, образованных в первом термоядерном взрыве (Г. Сиборг, А. Гиорсо, С. Томпсон).

● Предложена модель прямых ядерных реакций (С. Батлер).

● Открыто вращательное возбуждение в ядре (предсказано О. Бором и Б. Моттельсоном в 1952).

● Л. Шифф вычислил сечение упругого рассеяния электрона на дейтроне.

● Экспериментально подтвержден механизм генерации странных частиц, их ассоциативное рождение в сильных взаимодействиях и распад в слабых (У. Б. Фаулер, Р. Шатт А. Торндайк, У. Виттемор).

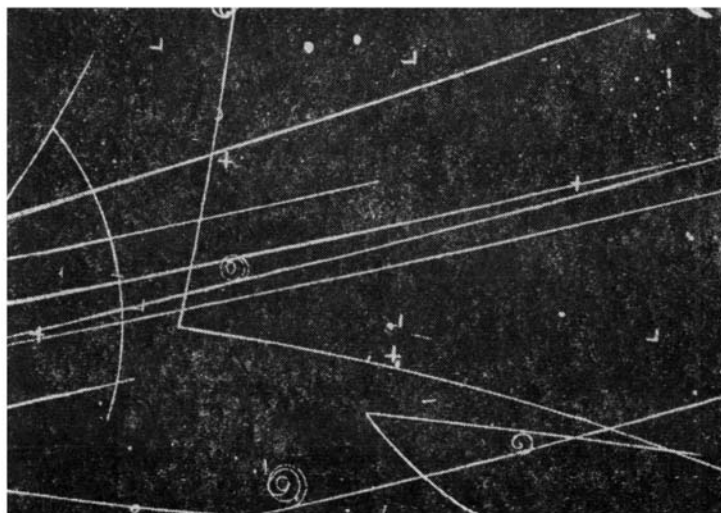
● Предложен новый тип ускорителя с сильной фокусировкой — кольцевой фазотрон (А. А. Коломенский, В. А. Петухов, М. С. Рабинович, Д. Керст и др.).

● А. Оверхаузер предсказал явление значительного увеличения интенсивности ядерного магнитного резонанса при возрастании насыщения электронного парамагнитного резонанса в образце, содержащем парамагнитные центры и обладающем спином ядра (эффект Оверхаузера). Наблюдался в том же году Т. Карвером и Ч. Сличтером в металлическом литии.

● Л. Спитцер предложил метод нагрева плазмы — магнитную накачку. Разработана также А. Шлютером.

● Открытие циклотронного резонанса в полупроводниках (Дж. Дрессельхаус, А. Кип, Ч. Киттель). Предсказан в 1951 независимо Я. Г. Дорфманом и Р. Динглом.

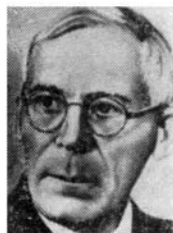
Фотография процесса ассоциативного рождения частиц:
 $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$



● У. Шокли предложил один из первых методов определения эффективной массы в полупроводниках.

● М. А. Леонтович построил теорию инерционного сжатия плазмы с током, лежащую в основе импульсных процессов.

М. А. Леонтович



● А. Пинпард ввел представление о длине когерентности ξ_0 сверхпроводника. Является минимальной длиной, на которой могут происходить изменения параметра порядка, иными словами наименьший размер сверхпроводящей области, окруженной нормальным материалом, $\xi_0 = 0,18 \hbar v_F / k T_c$.

где v_F — скорость Ферми; T_c — критическая температура; k — постоянная Больцмана.

● А. Пиппард модифицировал модель сверхпроводимости Лондонов на основе представлений о длине когерентности, предложив нелокальную теорию сверхпроводников (уравнение Пиппарда).

А. Пиппард



● Первое экспериментальное подтверждение существования энергетической щели (Б. Гудман).

● Б. Маттиас установил, что твердый раствор NbN и NbC имеет $T_{кр} = 18K$.

● Дж. Халм и Дж. Харди открыли сверхпроводник со структурой β -вольфрама (или A15) с $T_{кр} = 17K$, являющийся прототипом семейства сверхпроводящих соединений с высокой критической температурой.

● Открытие А. Е. Чудаковым переходного излучения, предсказанного в 1946 В. Л. Гинзбургом и И. М. Франком.

● Д. Бом и Д. Пайнс ввели представление о плазмах — элементарных возбуждениях, связанных с колебаниями плазмы в твердом теле.

● И. М. Лифшиц и А. М. Косевич построили полную теорию эффекта де Гааза — ван Альфена.

1953—1956. Р. Вангснес построил теорию ферромагнитного резонанса.

1953. Б. Платен синтезировал алмаз. В 1955 синтез алмазов осуществлен в США (Р. Вен-

торф) и в 1960 в СССР (Л. Ф. Верещагин).

● Создание каскадных электронно-оптических преобразователей высокой чувствительности, способных регистрировать отдельные кванты света (Е. К. Завойский, М. М. Бутслов).

● Создание электронно-дырочных фотодиодов (В. М. Тучкович, С. М. Рывкин).

1954. Открыт сигма-минус-гиперон Σ^- (С. Дебенедетти, У. Б. Фаулер и др.). Наблюдался по распаду $\Sigma^- \rightarrow \pi^- + n$.

1954—1956. Возникновение проблемы тау- и тэта-мезонов (τ - и Θ -частиц), или (τ — Θ)-парадокса, который привел к гипотезе о несохранении четности в слабых взаимодействиях. Во многих экспериментах τ - и Θ -мезоны вели себя как одна частица. Было также обнаружено с достаточно большой точностью, что их массы и времена жизни одинаковы, однако природа их распада указывала, что τ - и Θ -мезоны совершенно различные частицы. Этот парадокс впервые четко сформулировал Р. Далитц, показавший, что τ -мезон, распадающийся на три пиона, должен иметь отрицательную четность, а Θ -мезон, распадающийся на два пиона, — положительную.

1954. Я. Б. Зельдович оценил скорость бета-распада заряженных пионов.

● Открыта поляризация пучка протонов при прохождении через водородную мишень (Ч. Оксли).

● Построена оптическая модель ядра (Г. Фешбах, Ч. Портер, В. Вайскопф).

● И. М. Франк обнаружил эффект диффузионного охлаждения нейтронов — зависимость их среднего коэффициента диффузии от геометрического параметра.

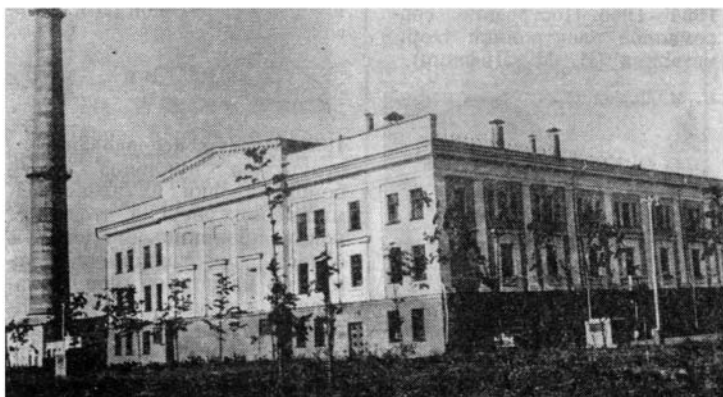
- Обнаружен эффект поляризации вакуума (М. Стирнс).
- В Беркли вступил в строй протонный синхрофазотрон (бэватрон) на 6,3 ГэВ (Э. Мак-Миллан).

В. Вайскопф



- Методом атомных пучков установлено существование магнитных окупелей (П. Каш и др.).
- Предсказан эффект дифракционного расщепления дейтрона (А. И. Ахиезер, А. Г. Ситенко, Е. Л. Фейнберг).
- В Обнинске 27 июня вступила в строй первая в мире атомная электростанция мощностью 5000 кВт, положившая начало ядерной энергетике (И. В. Курчатов, Д. И. Блохинцев).
- В квантовой теории поля предложен метод дисперсионных соотношений (М. Гелл-

Первая атомная электростанция



Манн, М. Гольдбергер, В. Тирринг). Строго обоснован Н. Н. Боголюбовым в 1956 для пион-нуклонного рассеяния. Сыграл большую роль в теории сильных взаимодействий.

Д. И. Блохинцев



- Т. Ли предложил точно решаемую модель квантовой теории поля (модель Ли). 1954—1955. Дж. Чу (1954) и Ф. Лоу (1955) предложили модель рассеяния пионов нуклонами при низких энергиях (модель Чу — Лоу), в которой нуклон рассматривается как статический протяженный источник мезонного поля и состоит из «остова» и «мезонного облака».
- Построение количественной теории тормозного излучения и образования пар при прохождении быстрой частицы через вещество (А. Б. Мигдал).

Качественную картину явления построили в 1953 П. Я. Померанчук и Л. Д. Ландау. 1954—1958. Построение аксиоматической теории возмущений в квантовой теории поля (Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков).

1954. Ч. Янг и Р. Миллс сформулировали первую неабелевую калибровочную теорию поля (теория Янга — Миллса). Независимо ее предложил также Р. Шоу.

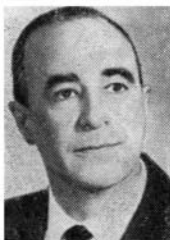
● Создан первый квантовый генератор на пучке молекул аммиака (Н. Г. Басов, А. М. Прохоров, Ч. Таунс), чем положено начало квантовой электронике. Идеи практического использования индуцированного излучения для усиления и генерации были выдвинуты в 1951—1952 Ч. Таунсом, А. М. Прохоровым, Н. Г. Басовым и Дж. Вебером.

● Предсказание М. Крускалом и М. Шварцшильдом неустойчивости плазменного шнура в магнитном поле (неустойчивость Крускала — Шварцшильда).

● Построен первый советский «Токамак» (И. Н. Головин, Н. А. Явлинский).

● С. Колгейт рассмотрел возможность нагрева плазмы с помощью ударных волн. 1954—1965. Построение современной электронной теории металлов (И. М. Лифшиц).

И. М. Лифшиц



1954. А. А. Абрикосов провел полный точный расчет уравнения состояния водорода при сверхвысоких давлениях (в

1935 Ю. Вигнер выполнил первый расчет и оценку давления перехода молекулярного водорода в металлическое состояние) (У. Пфани и др.).

● Предложено использовать p — n -переходы для преобразования ядерной энергии в электрическую. (У Пфани и др.).

● Х. Бёммелль обнаружил эффект затухания ультразвука в металле (свинце), вызванный взаимодействием звуковых колебаний решетки со свободными электронами в металле.

● Созданы кремниевые фотодиоды.

● Э. Бурштейн и Т. Мосс обнаружили изменение положения края фундаментального поглощения в полупроводниках при сильном увеличении концентрации электронов или дырок (эффект Бурштейна — Мосса).

● М. Розенблют развил теорию динамического самостягивающего шнура.

● Р. Дикке ввел представление о сверхизлучении — кооперативном спонтанном излучении света многоатомной системой (сверхизлучение Дикке).

● Открыт акустоэлектрический эффект (Р. Парментер).

● Сконструированы солнечные батареи из последовательно соединенных кремниевых p — n -переходов (Дж. Пирсон).

ТРЕТИЙ ЭТАП

1955. Начаты исследования структуры нуклонов путем бомбардировки их электронами высоких энергий, что знаменовало проникновение в новую область пространственно-временных масштабов — на субъядерный уровень (Р. Хофштадтер). Впервые (1956) была получена количественная информация о распределении электрического заряда внутри нуклонов.

● Открыт антипротон $\bar{p}$ в соударении ускоренных протонов с нуклонами ядра-мишени (О. Чемберлен, Э. Сегре, К. Виганд, Т. Ипсилантис). Первые экспериментальные указания на существование $\bar{p}$ были получены при исследовании космических лучей (Э. Хейворд, 1947; Э. Амальди и др., 1955).

Р. Хофштадтер



1955—1956. Получены экспериментальные данные о том, что τ - и Θ -мезоны имеют примерно одинаковые массы и время жизни; это свидетельствовало об идентичности этих частиц (Л. Альварес, В. Фитч, Ф. Крауфорд и др.).

Э. Сегре



● Р. Дэвис, используя хлораргоновый метод для детектирования реакторного антинейтрино, не обнаружил реакции $^{37}_{17}\text{Cl} + \bar{\nu}_e \rightarrow ^{37}_{18}\text{Ar} + e^-$, что доказывало нетождественность ν_e и $\bar{\nu}_e$.

1955. М. Гелл-Манн и А. Пайс для описания свойств нейтральных каонов K^0 и $\bar{K}^0$ ввели в рассмотрение понятие «смешанных» частиц, или состояний,

являющихся суперпозициями

$$K^0 \text{ и } \bar{K}^0: K_1^0 = \frac{1}{\sqrt{2}} (K^0 + \bar{K}^0);$$

$$K_2^0 = \frac{1}{\sqrt{2}} (K^0 - \bar{K}^0). \quad K_1^0 \text{ и}$$

K_2^0 -состояния выступают как

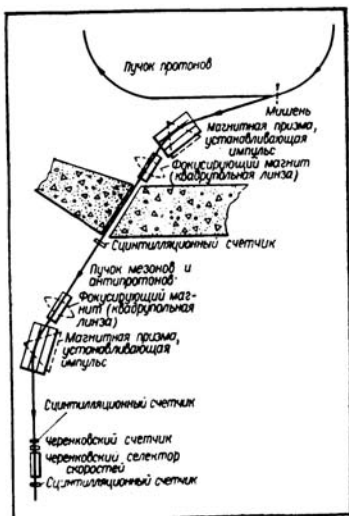
различные частицы, имеющие разные времена жизни и немного отличные массы, смесь

их и является K^0 - и $\bar{K}^0$ -мезонами. В сильных взаимодействиях нейтральные K -мезоны выступают как K^0 или $\bar{K}^0$, в слабых распадах, не сох-

О. Чемберлен



Схема установки, на которой впервые был открыт антипротон



раняющих странность, — как K_1^0 и K_2^0 .

● А. Пайс и О. Пиччиони предсказали осцилляции в пучке нейтральных каонов и эффект регенерации и предложили опыт, в котором должны наглядно проявиться свойства нейтральных каонов K^0 и $\bar{K}^0$ (опыт Пайса — Пиччиони).

А. Пайс



Возникновение K_1^0 и K_2^0 обусловлено переходами $K^0 \rightleftharpoons \bar{K}^0$.

● Синтезирован менделевий в реакции ${}^{253}_{99}\text{Es} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{256}_{101}\text{Md} + n$ (Г. Сиборг, А. Гиорсо, С. Томпсон).

О. Пиччиони



● М. А. Марков предложил систематику мезонов и гиперонов, в ряде моментов превосходящая идеи модели Сакаты.

● Экспериментально доказан закон сохранения странности в процессах взаимодействия нуклонов и установлена нетождественность K^0 - и $\bar{K}^0$ -мезонов (Б. М. Понтекорво и др.).

● М. Г. Мещеряков и Б. С. Негапов открыли резонансный характер реакции $p + p \rightarrow \pi^+ + d$.

● В Физико-энергетическом институте (Обнинск) запущен первый советский экспериментальный реактор на быстрых нейтронах БР-1 (А. И. Лейпунский, О. Д. Казачковский, И. И. Бондаренко, Л. Н. Усачев). Измерение на нем коэффициента воспроизводства ядерного топлива — $2,5 \pm 0,2$.

● Построена первая атомная подводная лодка.

● В. Паули сформулировал *CPT*-теорему. К ее формулировке близко подошли Ю. Швингер (1951, 1953) и Дж. Белл (1955). Некоторые частные случаи этой теоремы рассмотрел в 1954 Г. Людерс, отсюда ее второе название «теорема Людерса — Паули».

1955—1957. Н. Н. Боголюбов, Б. В. Медведев, М. К. Поливанов, а также Г. Леман, К. Симанзик, В. Циммерман и А. Вайтман предложили аксиоматический подход в квантовой теории поля.

1955. Н. Н. Боголюбов в рамках аксиоматического подхода в квантовой теории поля сформулировал условие причинности для *S*-матрицы (условие микропричинности Боголюбова).

● Разработана последовательная теория ренормализационной группы (Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков). Впервые на существование ренормализационной группы обратил внимание Э. Штюкельберг (1953), эта группа использовалась в 1954 также М. Гелл-Манном и Ф. Лоу.

● В. А. Марченко дано решение обратной задачи рассеяния. Показано, что для однозначного определения потенциала необходимо задать, кроме значений фазы рассеяния при всех энергиях, собственные значения энергии связанных состояний и нормировочные постоянные волновых функций связанных состояний.

● Построена резонансная тео-

рия ядерных реакций (В. Вайскопф, Ю. Вигнер, Л. Томас).

● С. Нильссон предложил модель ядра, в которой деформированное ядро рассматривается как состоящее из не взаимодействующих частиц, движущихся в деформированной потенциальной яме (модель Нильссона). Объясняет многие физические свойства деформированных ядер, в частности предсказывает значения полных моментов количества движения основных состояний ядер.

1955—1957. М. Гелл-Манн и А. Пайс сформулировали правило отбора по изотопическому спину для слабых адронных распадов с изменением странности.

1955. Н. Г. Басов и А. М. Прохоров разработали трехуровневый метод создания неравновесных квантовых систем (применительно к газам). В 1956 этот же метод предложил Н. Бломберген для случая твердого тела.

● Н. Ван Кампен показал, что собственные колебания электронной плазмы состоят из так называемых модулированных пучков частиц, движущихся со скоростью, равной фазовой скорости волны (волны Ван Кампена), и ленгмюровских волн.

● Выдвинута термоядерная теория образования химических элементов в звездах (Дж. и Э. Бёрбиджи, У. А. Фаулер, Ф. Хойл).

● Б. Маттиас установил ряд эмпирических закономерностей сверхпроводников (правила Маттиаса). Дают возможность определить направление поиска сверхпроводящих сплавов с высокими $T_{кр}$ и $H_{кр}$.

● Начало исследований в области квантовой теории необратимых процессов (Л. Ван Хов, Р. Кубо).

● А. Г. Ситенко и К. Н. Степанов впервые построили тензор диэлектрической проница-

емости для плазмы в магнитном поле, учитывающий временную и пространственную дисперсию.

● Х. Бёммель экспериментально открыл пространственный магнетоакустический резонанс. Первое качественное объяснение его дал в 1957 А. Пиппард.

● И. М. Лифшиц и А. М. Косевич разработали теорию эффекта де Гааза — ван Альфена в металлах со сложными поверхностями Ферми.

● С помощью метода ядерного магнитного охлаждения получена температура 0,0001 К (Н. Курти).

● Создан первый атомный стандарт частоты (времени) на пучке атомов цезия (Л. Эссен).

● А. Абрагам предположил, что в зависимости от характера связи между двумя спиновыми системами может иметь место прямой или обратный эффект Оверхаузера. В последнем случае более высокие энергетические уровни ядерных спинов населены больше (отрицательная спиновая температура). В дальнейшем теория была развита самим Абрагамом, Н. Бломбергеном и др.

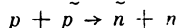
● Ж. Фридель разработал теорию ферромагнетизма (модель Фриделя).

● Р. Фейнман развил микроскопическую теорию жидкого гелия (теория Фейнмана) и предсказал (независимо от Л. Онсагера, 1949) существование в жидком гелии при достаточно больших скоростях квантованных вихрей.

● Б. Н. Степанов построил квантовую теорию люминесценции сложных молекул.

● Первые наблюдения дислокаций с помощью автоионного микроскопа (М. Дрехслер и др.).

1956. Открыт антинейтрон в процессе перезарядки антипротонов:



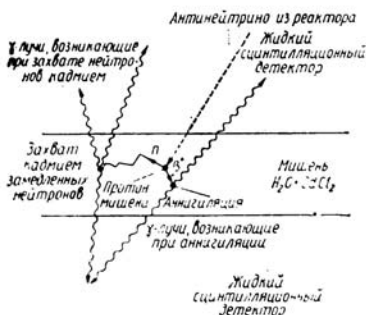
(Б. Корк, О. Пиччиони, У. Венцель, Г. Ламбертсон).

● Экспериментальное обнаружение нейтрино, точнее антинейтрино, в обратном бета-распаде: $\bar{\nu} + p \rightarrow e^+ + n$ (Ф. Рейнес, К. Коуэн). Предсказано в 1930 В. Паули.

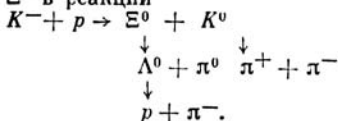
Ф. Рейнес



Схема регистрации антинейтрино



● Наблюдение Л. Альваресом каскадного кси-нуль-гиперона Ξ^0 в реакции



Была определена его масса и доказано, что он распадается на Λ^0 и π^0 . При этом наблюдалось рождение и распад нейтрального Λ^0 -гиперона.

● В экспериментах по поглощению K^- в водороде получены убедительные доказательства существования сигма-нуль-гиперона Σ^0 : $K^- + p \rightarrow \Sigma^0 + \pi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$ (Л. Альварес).

Первые данные о существовании Σ^0 получены в 1954 У. Б. Фаулером и др.

● Выдвинуто допущение, что распады τ - и Θ -мезонов представляют собой два различных способа распада одной и той же частицы.

● Открыт долгоживущий нейтральный K_S^0 -мезон (Л. Ледерман и др.).

● Открыт мюонный катализ (Л. Альварес), предсказанный в 1947 Ф. Франком и в 1953 Я. Б. Зельдовичем.

Мюонный катализ



● Т. Ли и Ч. Янг, исходя из так называемого (τ - Θ)-парадокса, высказали предположение о том, что в слабых взаимодействиях не сохраняется четность (нарушается P -инвариантность) и предложили ряд экспериментов, которые позволили бы установить нарушение закона сохранения четности, в частности в бета-распаде. Проанализировав большое количество экспериментов, они пришли к выводу, что в сильных и электромагнитных

взаимодействиях закон сохранения четности подтверждается с высокой степенью точности, однако в слабых процессах является лишь экстраполяционной гипотезой, не подкрепленной экспериментальными доказательствами. В результате получила свое разрешение вышеназванная загадка τ - и Θ -мезонов. Они оказались одной частицей (K^+ -мезоном), имеющей различные каналы распада, не сохраняющие четность.

● С. Саката предложил схему классификации элементарных частиц, положив в основу протон, нейтрон и лямбда-гиперон (схема Сакааты). Модель сыграла полезную роль при классификации мезонов и построении теории слабого взаимодействия. Позднее однако выяснилось, что модель Сакааты приводит к неправильной классификации барионов. Ее сменила октетная модель Гелл-Манна — Неемана.

С. Саката



● М. Гольдхабер разработал схему классификации элементарных частиц, положив в основу протон, нейтрон и отрицательный каон (модель Гольдхабера).

● Введено понятие гиперзаряда как нового квантового числа для сильно взаимодействующих частиц (Б. Д'Эспанья, Ж. Прентки). Ю. Швингер связал его со странностью и барионным числом уравнением $Y = S + B$.

● Д. Керст выдвинул идею встречных пучков ускоренных

заряженных частиц (развита независимо Г. И. Будкером).

● Предприняты первые попытки теоретически описать форм-факторы с помощью теории возмущений в применении к пион-нуклонной системе (Х. Миязава). В дальнейшем (1956—1959) Р. Саксом, С. Трейманом и др. проведены более убедительные расчеты, основанные на статистической модели Чу — Лоу. Однако количественное рассмотрение нуклонных форм-факторов стало возможным (1958—1959) лишь при использовании дисперсионных соотношений (Дж. Чу, М. Гольдбергер, С. Трейман и др.)

● Получены данные о процессах фоторождения мюонных пар — $\mu^+\mu^-$ (В. Пановский).

● Положено начало коллективным методам ускорения частиц (В. И. Векслер, Г. И. Будкер, Я. Б. Файнберг). Первые идеи высказаны У. Х. Беннетом (1934) и Х. Альфвенем (1939). Векслером были разработаны основные принципы конструкции и работы ускорителя с электронными кольцами, Файнбергом выполнены исследования по ускорению ионов в плазме, Будкером — по автостабилизированным пучкам.

● Л. Купер показал, что в системе фермионов при наличии сколь угодно слабого притяжения возникают связанные пары (эффект Купера).

● Разработка Л. Д. Ландау теории Ферми-жидкости.

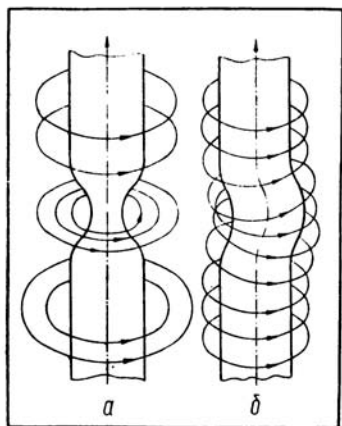
● Открытие циклотронного резонанса в металлах (Э. Фосет). Предсказан в этом же году.

1956—1957. В экспериментальных исследованиях пинч-эффекта получены данные, свидетельствующие, что созданный в плазме самостягивающийся разряд существует в сжатом состоянии около 1 мкс, после чего становится неус-

тойчивым и разрушается, взаимодействуя со стенками камеры (И. В. Курчатов, Дж. Так и др.). Такое протекание процесса было предсказано в 1954 М. Крускалом и М. Шварцшильдом. Наблюдавшиеся неустойчивости Крускала — Шварцшильда носили характер изгибов и перетяжек.

Неустойчивости самосжимающегося разряда:

*а — перетяжка плазменного шнура;
б — изгиб шнура*



1956. Построена теория стабилизированного плазменного шнура (М. Розенблют, В. Д. Шафранов).

М. Розенблют



● М. Розенблют предсказал шланговую неустойчивость в плазме (в 1958 это сделали также А. А. Веденов и Р. З. Сагдеев).

● Ч. Таунс и др. выдвинули идею об использовании в ма-

зерах на твердом теле электронного парамагнитного резонанса (первый твердотельный двухуровневый мазер). Эта идея привлекла внимание, когда Н. Бломберген в 1956 предложил трехуровневый твердотельный мазер на ЭПР.

● Обнаружен слабый ферромагнетизм антиферромагнетиков (А. С. Боровик-Романов). ● Разработан метод двойного электронно-ядерного резонанса (Дж. Феер).

● Предсказан магнитоакустический резонанс (А. И. Ахиезер, В. Г. Барьяхтар, С. В. Пелетминский).

● Э. Мюллер обнаружил явление испарения адсорбированных на поверхности острия атомов и молекул (десорбция полем), а также атомов матрицы под действием сильных электрических полей (испарение полем). Открытие этого явления значительно расширило возможности автоионной микроскопии.

1956—1958. Ж. Фридель выдвинул идею о виртуальном связанном состоянии d -электронов в переходных металлах и построил теорию сплавов (теория сплавов Фриделя). Усовершенствована в 1961 Ф. Андерсоном.

Ц. Ву



1957. Экспериментально доказано несохранение четности в слабых взаимодействиях. Обнаружена асимметрия в распределении электронов, испускаемых поляризованными ядрами в бета-распаде кобальта-60 (Ц. Ву и др.). В этом же

году нарушение закона сохранения четности обнаружили Л. Ледерман, Р. Гарвин, В. Телегди и др. при распаде пионов и мюонов, Ф. Крауфорд и др. при распаде гиперонов.

● Постулировано, что в бета-распаде не сохраняется не только пространственная четность (P -инвариантность), но и зарядовое сопряжение — C -инвариантность (Т. Ли, Ч. Янг, Р. Эме).

● Выдвинута гипотеза сохранения комбинированной четности (CP -инвариантности) в слабых взаимодействиях (Л. Д. Ландау, Ю. Вигнер).

● Предложена теория двухкомпонентного нейтрино, согласно которой нейтрино имеет отрицательную (правый), а антинейтрино положительную спиральность (левый винт), т. е.

ν и $\bar{\nu}$ — различные, нетождественные частицы (Л. Д. Ландау, А. Салам, Т. Ли и Ч. Янг). Впервые возможность построения двухкомпонентной релятивистской теории частиц со спином $1/2$ рассмотрел в 1929 Г. Вейль. В 1937 формулировку двухкомпонентной теории дал Э. Майорана.

● Предсказано, что нейтрино, возникающие при бета-распаде и распадах мезонов, разные частицы — электронное ν_e и мюонное ν_μ нейтрино (М. А. Марков, К. Нишиджима, Ю. Швингер).

М. А. Марков



● И. Намбу на основании анализа экспериментов Хофштадтера по рассеянию электронов

на нуклонах высказал предположение о существовании нестабильных векторных мезонов (ω - и ρ -мезона). В 1956 к этому пришел также В. Холдей, в 1959 — Дж. Фулко и У. Фрезер, а в 1960 — Дж. Чу.

● Г. Людерс и Б. Зумино вывели следствие CPT -теоремы о равенстве масс и времен жизни частиц и античастиц.

1957—1958. Создание универсальной теории слабых взаимодействий (М. Гелл-Манн, Р. Фейнман, Р. Маршак, Э. Сударшан, Дж. Сакураи).

1957. Р. Йост и Г. Леман ввели интегральное представление для матричных элементов каузальных коммутаторов, явившееся мощным средством исследования аналитического поведения амплитуд рассеяния как функций всех возможных импульсных и энергетических переменных.

● Введена кроссинг-симметрия, или перекрестная симметрия (М. Гольдбергер, И. Намбу, В. Тирринг).

● М. Гелл-Манн и Ю. Швингер предложили модель глобальной симметрии.

1957—1958. Р. Хофштадтер в экспериментах по рассеянию электронов высокой энергии на нуклонах впервые определил форм-факторы нуклонов: в 1957 зарядовый и магнитный форм-фактор протона, в 1958 — магнитный форм-фактор нейтрона.

1957. Б. М. Понтекорво указал на возможность возникновения нейтринных осцилляций.

● Получена нижняя оценка времени жизни протона по схеме $p \rightarrow e^+ + \pi^0$ порядка $3 \cdot 10^{24}$ лет (Ф. Рейнес).

● Дж. Смит, Э. Парселл и Н. Рамзей экспериментально определили электрический дипольный момент нейтрона (меньше $5 \cdot 10^{-20}$ см). Первые измерения они выполнили

в 1950. В 1967 Рамзей получил для дипольного момента нейтрона значение $(0,02 \pm 0,85) \times 10^{-22}$ см.

● Ю. Швингер выдвинул идею объединения слабых и электромагнитных взаимодействий (в 1958 ее предложили также Ш. Глэшоу, А. Салам и Дж. Уорд).

● Р. Далитц и Д. Йенни выполнили одну из первых работ по расчету электророждения пионов.

● Построена теория фоторожения пионов (Дж. Чу, М. Гольдбергер, Ф. Лоу, И. Намбу). Обобщена (1958) С. Фубини, И. Намбу и Г. Ватагиным, использовавших дисперсионную технику.

● Дж. Лоусон, рассмотрев энергетический баланс в термоядерном реакторе, вывел условия, при которых реактор должен работать: температура $\sim 2 \cdot 10^8$ К, плотность $\sim 10^{14}$ см $^{-3}$, время жизни ~ 1 с (критерий Лоусона).

● Показано, что синтез тяжелых элементов в звездах может происходить в результате захвата свободных нейтронов в так называемых s- и r-процессах (Э. и Дж. Бёрбиджи, У. А. Фаулер, Ф. Хойл).

● Вступил в строй синхрофазотрон на 10 ГэВ (В. И.

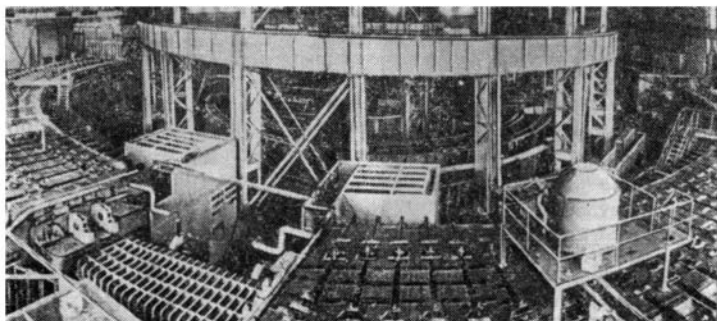
Векслер, А. Л. Минц, Д. В. Ефремов, А. А. Коломенский, Е. Г. Комар, М. С. Рабинович и др.).

● Изобретена искровая камера (Т. Кэрншоу, Дж. де Бир).

● Дж. Бардин, Л. Купер и Дж. Шриффер построили микроскопическую теорию сверхпроводимости (теория Бардина — Купера — Шриффера, или теория БКШ). В 1958 последовательную микроскопическую теорию сверхпроводимости создал Н. Н. Боголюбов. Теория БКШ — Боголюбова объяснила сверхпроводимость возникновением в энергетическом спектре металла вблизи поверхности Ферми области запрещенных электронных состояний, связанных с появлением в сверхпроводнике ниже температуры сверхпроводящего перехода скореллированных электронных пар с противоположными импульсами и спинами — так называемых куперовских пар. Образование пар происходит за счет обмена виртуальными фононами и наступает, когда связанное с этим электрон-фононным взаимодействием притяжение электронов начинает превалировать над их кулоновским отталкиванием.

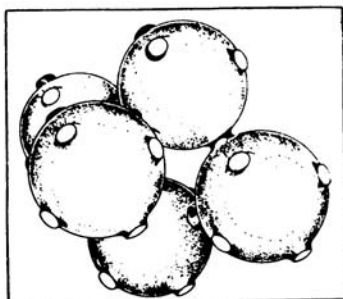
● А. Пиппард выполнил одно из первых определений поверхности Ферми, установив внешний вид поверхности Ферми для меди.

*Синхрофазотрон на 10 ГэВ
(Дубна)*



1957—1958. Л. В. Келдыш разработал теорию туннельных явлений в полупроводниках.

Поверхность Ферми меди



1957. Л. В. Келдыш предсказал туннельный эффект с участием фононов.

Л. В. Келдыш



● А. А. Абрикосов построил теорию магнитных свойств сверхпроводящих сплавов (сверхпроводников второго рода), введя представление о двух критических полях и «смешанном» состоянии с вихревой структурой (вихри Абрикосова).

● И. С. Дзялошинский построил теорию слабого ферромагнетизма.

● Предсказан пьезомагнетизм (И. С. Дзялошинский).

● Экспериментальное наблюдение флуктуаций электромагнитного поля (Р. Браун, Р. Твисс).

● Х. Демельт разработал метод накачки светом интенсивной линии (оптическая накачка на уровне поглощения).

● Э. Кейн теоретически установил пропорциональность эффективной массы электронов ширине щели в энергетическом спектре узкощелевых полупроводников (закон Кейна).

● Разработана теория поглощения ультразвука в металлах (А. И. Ахиезер, М. И. Каганов, Г. Я. Любарский).

● Г. А. Аскарьян предсказал возбуждение звуковых волн от движущихся в жидкостях заряженных частиц, предложив гидродинамический и термоакустический механизмы, вызывающие звуковое излучение.

● А. И. Ахиезер, И. Г. Прохода и А. Г. Ситенко предсказали явление комбинационного рассеяния электромагнитных волн в плазме и явление превращения электромагнитных волн в продольные плазменные волны. Изучение рассеяния электромагнитных волн в плазме является важнейшим методом диагностики плазмы в термоядерных установках.

● Предсказана желобковая неустойчивость плазмы (Б. Б. Кадомцев, М. Розенблют, К. Лонгмайр). Обнаружена в 1961 М. С. Иоффе.

● Т. Стикс рассмотрел и обнаружил плазменный резонанс вблизи ионной циклотронной частоты. Это привело к разработке метода нагрева плазмы ионным циклотронным резонансом (Т. Стикс, Р. Калсруд, Э. Ленард).

● Открыт осциллирующий эффект — винтовая неустойчивость в плазме твердого тела (Ю. Л. Иванов, С. М. Рывкин). Объяснен в 1961 М. Гликсманом на основе теории винтовой неустойчивости плазмы газового разряда Кадомцева — Недоспасова.

● С. И. Пекар предсказал добавочные световые волны в кристаллах в области экситонного поглощения (светоэкситоны).

● Л. Эсаки открыл туннелирование в полупроводниках и создал туннельный диод.

Л. Эсаки



● Открыт эффект осцилляций магнитопоглощения в полупроводниках (Б. Лэкс, Е. Ф. Гросс, Б. П. Захарченя и др.).

● Создан твердотельный парамагнитный мазер (Г. Сковил, Дж. Феер). Идею его предложил в 1956 Н. Бломберген.

● Предложен мазер, использующий ядерный магнитный резонанс (Р. Браунштейн, И. Ито).

● Р. Паунд и независимо Дж. Артман построили теорию шумов квантового усилителя.

● И. Е. Дзялошинский построил термодинамическую теорию антиферромагнетизма.

● А. Абрагам разработал метод получения отрицательной намагниченности.

К. Сигбан



● К. Сигбан разработал метод электронной спектроскопии для химического анализа (ЭСХА), дающий возможность получать узкие электронные спектры, максимумы которых соответствуют энергиям связи электронов на внутренних оболочках атомов.

● Предложен эффективный метод получения сверхсильного импульсного магнитного поля, основанный на кумулятивном сжатии магнитного поля замкнутой проводящей оболочкой (Я. П. Терлецкий). В 1966 этим методом достигнута напряженность импульсного магнитного поля 25 млн. Э.

● Построен ферритовый усилитель (М. Вейсс). Предложен в этом же году Г. Сулом.

● Б. И. Степанов сформулировал универсальное соотношение между спектрами поглощения и люминесценции сложных молекул (соотношение Степанова).

● Р. Кубо разработал общий статистико-механический метод расчета термодинамически равновесных и кинетических коэффициентов (метод Кубо).

● Созданы квантовые часы с молекулярным аммиачным генератором в качестве стандарта частоты.

● 4 октября запущен первый искусственный спутник Земли (С. П. Королев, М. В. Келдыш).

● Разработка Дж. Уилером геометродинамики.

1957—1960. Создание первого водяного черенковского калориметра (А. Е. Чудаков).

1958. Открыт антилямбда-пульс-гиперон $\bar{\Lambda}_b$ (М. Бальдо-Чеолин, Д. Праус).

● Открыт прямой распад $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu$, что явилось экспериментальным подтверждением V—A-теории слабых взаимодействий (Дж. Штейнбергер, Т. Фаззини и др.).

● Определен магнитный момент мюона с точностью до 0,001: $g = 2 (1,0026 \pm 0,0009)$ (Р. Гарвин, Л. Ледерман и др.).

● Получены доказательства инвариантности слабых взаимодействий относительно обращения времени (T-инвариантность) (В. Телегди, М. Бёрджи, А. И. Алиханов).

● Получено значение радиуса ядра на основе данных по рассеянию нейтронов низких энергий: $(1,25 \pm 0,05) A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ см (С. Фермбах).

● С. Бладмен сформулировал $SU(2)$ -калибровочную теорию слабых взаимодействий.

● С. Мандельштам получил двойное дисперсионное соотношение для амплитуд рассеяния частиц (представление Мандельштама).

● Экспериментально М. Гольдхабером с сотр. определена спиральность нейтрино, обнаружено, что электронное нейтрино обладает левовинтовой спиральностью (опыт Гольдхабера). В дальнейшем показано, что мюонное нейтрино также левовинтовое, а электронное и мюонное антинейтрино имеют правую спиральность.

М. Гольдхабер



● И. Я. Померанчук сформулировал теорему, согласно которой при предельно высоких

И. Я. Померанчук



энергиях сечения взаимодействия с нуклоном частицы и античастицы одинаковы (теорема Померанчука).

● М. Гольдбергер и С. Трейман нашли связь между л-мезон-

ными процессами и величиной форм-фактора $g_A(0)$ (формула Гольдбергера — Треймана) и положили начало применению дисперсионных соотношений к слабым взаимодействиям.

1958—1962. В. Н. Грибов и А. А. Ансельм разработали метод получения данных о пион-пионном взаимодействии (метод Ансельма — Грибова).

1958. Получены данные, свидетельствующие об образовании фэйрболов при высоких энергиях (М. Менсович и др.).

● Сооружен первый изохронный циклотрон (Ф. Хейн).

Предложен в 1938 Л. Томасом. ● А. Г. Ситенко и независимо Р. Глаубер развили дифракционный метод исследования структуры ядер (метод Ситенко — Глаубера). Широко используется для получения информации о структуре ядер и характере ядерного взаимодействия из экспериментов на ускорителях при высоких энергиях.

● Е. С. Фрадкин независимо от Ю. Швингера предложил евклидову формулировку квантовой теории поля.

● В. Гейзенберг проквантовал нелинейное спинорное уравнение квантовой теории поля. Впервые это уравнение исследовал в 1938 Д. Д. Иваненко.

● Р. Мессбауэром открыто явление ядерного гамма-резонанса без отдачи (эффект Мессбауэра).

● Построена сверхтекучая модель ядра (Н. Н. Боголюбов, О. Бор, Б. Моттельсон, Д. Пайнс).

● Открыто явление спинового обмена при столкновении атомов (Х. Демельт).

● Э. Бакингом предсказал эффект оптически наведенной ориентации поляризованных молекул (оптический эффект Керра). Открыт в 1964.

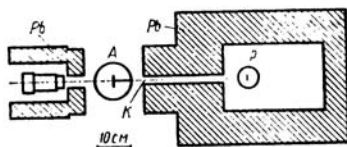
● А. Абрагам и В. Проктор открыли динамическую ядерную поляризацию, обусловлен-

ную наличием фиксированных парамагнитных примесей (солид-эффект).

Р. Мессбауэр



Схема первого эксперимента Мессбауэра



1958—1960. А. С. Давыдов разработал теорию коллективных возбужденных состояний нефермионических атомных ядер, учитывающую нарушения аксиальной симметрии ядер (теория неаксиальных ядер Давыдова).

1958. Р. Ван де Грааф разработал тандемный ускоритель отрицательных ионов (ему же принадлежит и идея этого ускорителя).

● Дж. Феер и др. осуществили усиление и генерацию по двухуровневой схеме, предложенной в 1956 Ч. Таунсом (двухуровневый твердотельный мазер).

● Ч. Таунс и А. Шавлов разработали принцип работы лазера.

● А. М. Прохоров, А. Шавлов и Р. Дикке предложили резонатор открытого типа, широко применяемый в современных лазерах.

1958—1959. А. Пекара и С. Келлих разработали теорию магнитного и электрического насыщения в изотропных диэлектриках, в которой предсказали

вынужденное двулучепреломление и изменения диэлектрической и магнитной проницаемостей и показателя преломления среды под действием мощного оптического излучения.

А. Шавлов



1958. Экспериментально обнаружено явление образования высокотемпературной стационарной плазмы с электронной температурой 10^6 К при мощном высокочастотном газовом разряде (П. Л. Капица).

● Вступила в строй термоядерная установка с магнитными пробками «Огра-1» (И. Н. Головин).

● В. Франц и Л. В. Келдыш независимо разработали теорию влияния сильного электрического поля на поглощение света в полупроводниках вблизи края собственного поглощения (эффект Франца — Келдыша). Явление описывается как вызываемый фотоном туннельный переход через энергетический барьер, равный ширине запрещенной зоны. Существует как в изоляторах, так и в полупроводниках. Наблюдался в 1961 В. С. Вавиловым в кремнии и Т. Моссом в арсениде галлия.

● В. Л. Гинзбург и Л. П. Питаевский построили полуфеноменологическую теорию сверхтекучести (теория Гинзбурга — Питаевского).

● Л. П. Питаевский предсказал сверхтекучесть ^3He .

● Разработан метод функций Грина для Ферми-систем (А. Б. Мигдал, В. М. Галицкий).

1958—1959. Л. П. Горьков раз-
вил микроскопическую теорию
сверхпроводимости с помощью
функций Грина,

В. Л. Гинзбург



1958. Экспериментально дока-
зано усиление волн в системе
плазма — пучок (Л. Филд и
др.). Первые эксперименталь-
ные подтверждения усиления
электромагнитных волн при
плазменнопучковом взаимо-
действии получены также в
1960 Я. Б. Файнбергом и Р. А.
Демирхановым с сотр.

● М. Гликсман и М. Стил об-
наружили пинч-эффект в плаз-
ме твердого тела.

● Предложен принцип стаби-
лизации плазменного столба с
током сильным продольным
магнитным полем (М. А. Ле-
онтович, В. Д. Шафранов,
М. Крускал, Дж. Так).

● Ф. Андерсон сформулиро-
вал представления о локали-

зации электронов в неупорядо-
ченных системах.

● Б. Маттнас получил ферро-
магнитный сверхпроводник, в
котором совмещены эффекты
ферромагнетизма и сверхпро-
водимости.

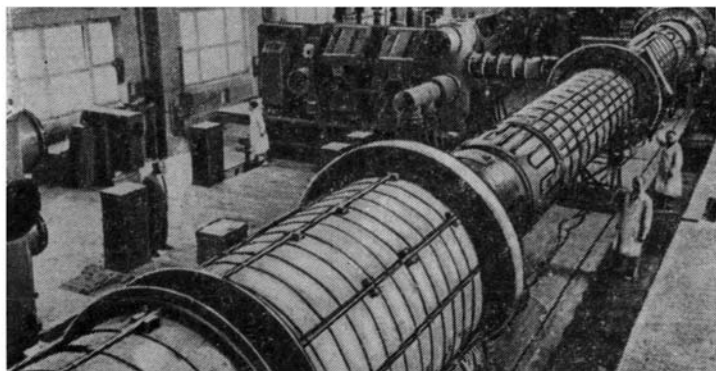
● Г. А. Смоленский показал
принципиальную возможность
получения кристаллов, в ко-
торых одновременно возникает
магнитное и электрическое упо-
рядование (сегнетоферромагне-
тики). В 1963 открыты сегнето-
электрики-антиферромагнети-
ки (Г. А. Смоленский и др.),
в 1964—1965—сегнетоэлектри-
ки-ферромагнетики (Э. Ашер
и др.). В 1962 построена тер-
модинамическая теория сегне-
тоферромагнетиков (Г. С. Смо-
ленский и др.).

● Экспериментально подтвер-
ждено существование фоонов
(Г. Палевский, К. Отнес,
К. Ларсон).

● Введено представление об
анизотропии энергетической
щели сверхпроводников (А. А.
Абрикосов, И. М. Халатни-
ков). В 1959 это сделал также
Л. Купер.

● Н. Н. Боголюбов раз-
работал последовательную ми-
кроскопическую теорию сверх-
проводимости. Используя ме-
тод канонических преобразо-
ваний, он показал, что сверх-

Термоядерная установка «Огра-1»



проводимость может рассматриваться как сверхтекучесть электронного газа. Математические методы, развитые при построении теории сверхпроводимости, получили в дальнейшем широкое применение в различных областях физики.

● Наблюдение спин-волнового резонанса (П. Танненвальд).

● Дж. Берналом создана структурная теория жидкостей.

● Открыты радиационные пояса Земли: внутренний (Дж. Ван Аллен) и внешний (С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков).

С. Н. Вернов



● П. Дирак построил первую корректную схему квантования гравитационного поля в рамках гамильтонова метода (гамильтонова формулировка теории тяготения).

● Выдвинута идея голографического телевидения (Г. Роджерс). Начало разработки голографической системы трехмерного телевидения относится к 1965 (Э. Лейт и др.). В 1966 осуществлена первая успешная телетрансляция крупноструктурных голограмм. 1958—1960. Созданы установки для получения сверхвысоких давлений и высоких температур: белт и установка с тетраэдрическими наковальнями (Г. Холл).

1959. Т. Редже для описания и исследования рассеяния элементарных частиц разработал в нерелятивистской квантовой механике и квантовой теории поля метод комплексных угловых моментов (полюса Редже, траектории Редже). Нашел ши-

рокое применение в описании высокоэнергетических процессов взаимодействия частиц.

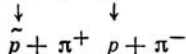
● Б. М. Понтекорво предложил идею эксперимента по доказательству существования двух разных нейтрино — мюонного и электронного, реализованную в 1962.

● Открыто явление безрадиационных переходов в мезоатомах (Б. М. Понтекорво).

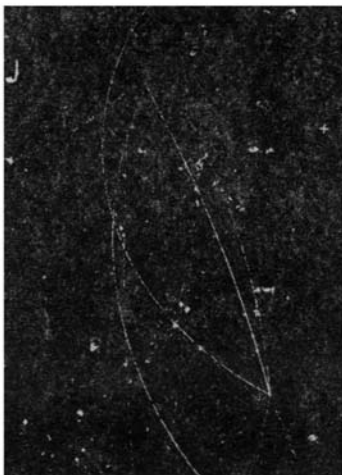
● Поставлен эксперимент по проверке закона сохранения электрического заряда (исследовалась возможность распада электрона). Установлено, что период полураспада для процесса $e^- \rightarrow \nu + \gamma$ превосходит 10^{19} лет (М. Гольдхабер, Дж. Фейнберг).

● Дж. Чу и Ф. Лоу разработали аппарат для определения сечения пион-пионного рассеяния (метод Чу — Лоу).

● Обнаружено образование гиперонных пар ($\tilde{\Lambda}^0 - \Lambda^0$) в реакции $p + p \rightarrow \tilde{\Lambda}^0 + \Lambda^0$



Фотография, на которой зарегистрирован первый антилямбда-нуль-гиперон



(Л. Альварес, Л. Стивенсон, Ф. Эберхард и др.).

● Открыто рентгеновское переходное излучение (Г. М. Гарибян).

● Предложена теория $SU(3)$ -симметрии, или унитарной симметрии (Й. Онуки, С. Огава, М. Икеда). Развита в дальнейшем М. Гелл-Манном и Ю. Нееманом.

● Получены доказательства существования процесса $K_1^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$ (Д. Глезер и др.).

● Д. В. Волков и Г. Грин показали, что квантовая теория поля допускает существование не только статистик Бозе — Эйнштейна и Ферми — Дирака, но также некоторых промежуточных, или парастатистик.

● Стал в строй протонный синхрофазотрон с жесткой фокусировкой на 28 ГэВ (ЦЕРН).

● Р. Уолтон впервые применил ЭВМ для расчета динамики движения ускоренных частиц.

1959—1961. С. Юханссон впервые попытался рассчитать влияние внутренней структуры ядра на вероятность его деления. 1959. Б. Моттельсон и С. Нильссон указали на существование в ядре протонной оболочки $Z = 114$ (а не 126).

● Предложены мазеры на циклотронном резонансе (А. В. Гапонов-Грехов).

А. В. Гапонов-Грехов



● Обнаружено явление многоквантовых переходов в атомах (Ж. Винтер).

● Открыт эффект «световых биевний» (Дж. Сериес), Заклю-

чается в гармоническом изменении интенсивности рассеянного атомной системой света. Используется в качестве метода изучения структуры энергетических уровней атомов.

● Н. Г. Басов, Б. М. Вул и Ю. М. Попов предложили полупроводниковый лазер.

● Разработан мазер бегущей волны (Г. Сковил и др.).

● Предложен мазер с нулевым полем (Дж. Богль, Г. Симмонс). Осуществлен в этом же году Р. Терхьюном, использовавшим кристалл сапфира, содержащий ионы железа.

● Получен мазерный эффект при СВЧ возбуждении.

● Н. Бломберген и Дж. Вебером предложены приборы, преобразующие низкочастотные кванты в оптические (квантовые счетчики).

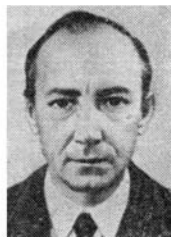
● Осуществлена генерация фононов в кристалле (Э. Якобсен). В 1960 это сделал также Х. Бёммель.

● Ф. Г. Басс и М. И. Каганов построили теорию рассеяния света спиновыми волнами.

● Обнаружены эффекты «пересечения» и «антипересечения» энергетических уровней атомов (П. Франкен и др.).

● А. С. Боровик-Романов открыл пьезомагнитный эффект, предсказанный в 1957 И. Е. Дзялошинским.

А. С. Боровик-Романов



● Дж. Филлипс и Л. Клейнман, исходя из метода ортогонализированных плоских волн Херринга, разработали в теории металлов модель псевдопотенциала (модель ПП).

● Получены изолированные цилиндрические домены малых размеров в магнитных кристаллах (Дж. Ремейка и др.).

● Д. Н. Астров открыл магнитоэлектрический эффект, предсказанный в этом же году Л. Д. Ландау, И. Е. Дзялошинским и Е. М. Лифшицем.

● Построение теории кинетических, релаксационных и высокочастотных процессов в ферродиелектриках (А. И. Ахпизер, В. Г. Баряхтар, С. В. Пелетминский).

● Теоретически обосновано явление электронно-топологических фазовых переходов металлов при упругих деформациях (И. М. Лифшиц и др.). В 1965 было экспериментально обнаружено аномальное изменение термодинамических характеристик металлов (сверхпроводников), а в 1966 — аномальное изменение кинетических характеристик металлов.

● Обнаружена анизотропия энергетической щели в сверхпроводящем Sn (А. А. Галкин и др.).

● Построена теория «грязных сверхпроводников» (Ф. Андерсон).

● Разработана общая теория ван-дер-ваальсовых сил в конденсированных средах (Е. М. Лифшиц, И. Е. Дзялошинский, Л. П. Питаевский).

● Обнаружено разрушение пинча электронно-дырочной плазмы полупроводника в продольном магнитном поле (исчезновение аномального сопротивления, сопровождающего пинч-эффект) (М. Гликсман, М. Стил).

● Спущен на воду первый атомный ледокол «Ленин», осуществивший в 1960 первый рейс по Северному морскому пути (А. П. Александров).

1959—1960. Открытие туннельного эффекта с участием фоонов (Н. Холовьяк, Л. Эсаки и др.). Предсказан в 1957 Л. В. Келдышем. Исследование этого эффекта привело к возникновению электронной туннельной спектроскопии.

1959—1961. Дж. Вебер подробно проанализировал возможность реализации в лабо-

Атомный ледокол «Ленин»



раторных условиях схемы передатчик — приемник гравитационного излучения с использованием механических колебаний протяженных масс. В 1966—1967 им был разработан первый вариант детектора гравитационных волн (гравитационный приемник Вебера).

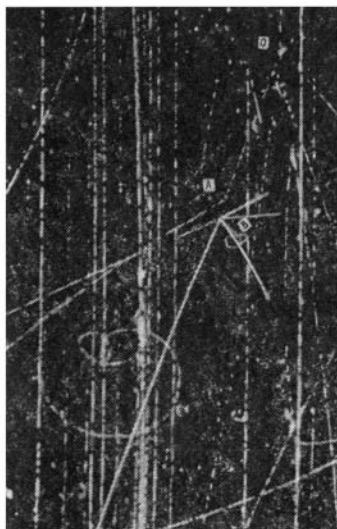
1959. Создан первый экспериментальный МГД-генератор мощностью 11,5 кВт.

1960. Открыт антисигма-нуль-гиперон $\tilde{\Sigma}^0$ (Ф. Эберхард, Б. Маглич, Л. Стивенсон и др.).

● В эмульсии, облученной антипротонами, обнаружен антисигма-плюс-гиперон $\tilde{\Sigma}^+$, распадающийся по схеме $\tilde{\Sigma}^+ \rightarrow p + \pi^0$ (Э. Амальди, К. Костаньоли, А. Манфреддини).

● На дубненском синхротроне при взаимодействии π^- -мезонов высокой энергии с ядром углерода открыт антисигма-минус-гиперон $\tilde{\Sigma}^-$, рас-

Фотография, на которой зарегистрирован первый антисигма-минус-гиперон



падающийся по схеме $\tilde{\Sigma}^- \rightarrow \bar{n} + \pi^-$ (В. И. Векслер и др.).

● Открыт в реакции $K^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \pi^+ + \pi^-$ первый странный резонанс Y_1^* (1385) (Л. Альварес). Показано, что Y_1^* (1385) не просто резонанс в полном сечении в $(\pi + N)$ -системе, а новая элементарная частица. В этом же году группа Альвареса обнаружила еще два странных резонанса K^* (890) и Y^* (1405).

Л. Альварес



Первую резонансную частицу — пион-нуклонный резонанс — наблюдали еще в 1952 Э. Ферми и Г. Андерсон.

● Экспериментальное наблюдение спиральности мюонов. Обнаружено, что μ^+ -мезон обладает отрицательной спиральностью, а μ^- -мезон — положительной (А. И. Алиханов).

● Определена с высокой точностью масса мюона:

$$m_\mu = (206,76 \pm 0,03) m_e$$

(Дж. Латроп и др.).

● Получены убедительные экспериментальные доказательства закона сохранения изоспина в сильных взаимодействиях (для случая пион-нуклонных взаимодействий) (А. Крю).

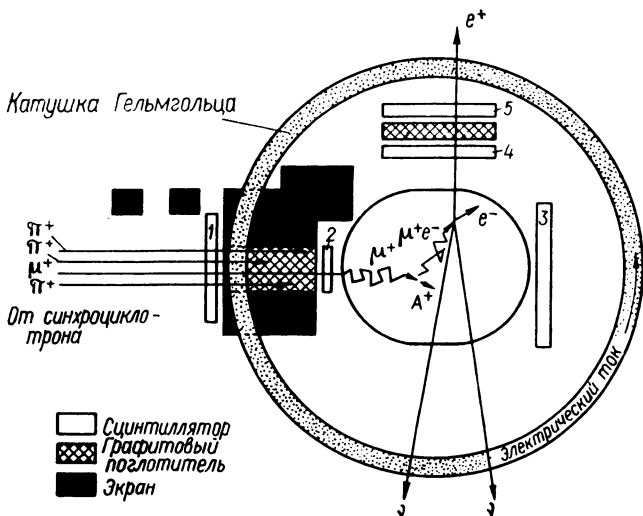
● Предсказана двухнейтронная и двухпротонная радиоактивность (В. И. Гольданский). Обнаружена соответственно в 1979 и 1982.

● Обнаружен мюоний (μ^+e^-) (В. Юз). Первое косвенное

доказательство образования мюония дал в 1957 Л. Ледерман.

Открытие мюония

● Т. Ли и Ч. Янг показали, что из-за невыполнения условия унитарности в области высоких энергий должна нару-



● Получено доказательство существования ядерных молекул (Д. Бромли).

● Дж. Сакураи разработал теорию векторных компенсирующих полей — первую феноменологическую калибровочную теорию $SU(2) \times U(1)$, в которой предсказал существование изоскалярного и трех изовекторных мезонов.

● Й. Намбу и независимо М. Гелл-Манн и М. Леви выдвинули гипотезу частичного сохранения слабого аксиального тока адронов.

● Й. Намбу высказал идею о вакуумном состоянии с нарушенной симметрией, связав ее с появлением безмассовой частицы (бозон Намбу — Голдстоуна). В 1961 это сделали также Дж. Иона-Лазинио, В. Г. Вакс, А. И. Ларкин и Дж. Голдстоун.

● М. Гелл-Манн, М. Леви и Ф. Гюрсей предложили модели теории поля с киральной динамической симметрией.

шаться локальность слабых взаимодействий, и предположили, что слабые взаимодействия обусловлены промежуточным векторным бозоном $W^\pm$.

● Экспериментально обнаружено различие масс K_1^0 и K_2^0 -мезонов и явление переходов $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$, обусловленное этим различием (регенерация K_1^0 -мезонов при рассеянии K_2^0 -мезонов).

В вакууме первоначально чистый пучок K^0 -мезонов со временем превращался в пучок, содержащий одинаковое количество K^0 и $\bar{K}^0$. Первое измерение разности масс K_1^0 - и K_2^0 -мезонов (О. Пиччиони и др.).

● Обнаружено явление электрической и магнитной поляризуемости протона (В. И. Гольданский).

● Стал в строй протонный синхрофазотрон с жесткой фоку-

сировкой на 33 ГэВ (Брукхейвен).

● В Дубне запущен ускоритель тяжелых ионов, позволяющий получать интенсивные пучки ускоренных ионов вплоть до ионов аргона ($Z = 18$) (Г. Н. Флеров).

● Запущен импульсный реактор на быстрых нейтронах ИБР-1 (Д. И. Блохинцев).

● Л. Д. Фаддеев получил интегральные уравнения для системы трех взаимодействующих нерелятивистских бесспиновых частиц (уравнения Фаддеева). А. Г. Ситенко и В. Ф. Харченко сформулировали интегральные уравнения для трех нуклонов с учетом спиновых и изоспиновых степеней свободы и исследовали их решение в случае сепарабельных потенциалов (1963).

● Создан квантовый генератор на пучке атомов водорода (водородный мазер), получивший применение в качестве стандарта частоты (стабильность порядка 10^{-12}) (Н. Рамзей).

Н. Рамзей

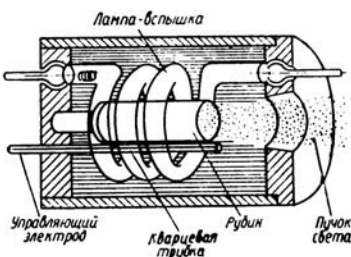


● Создан первый оптический квантовый лазер на кристалле рубина, дающий когерентное излучение в видимом диапазоне на линии 0,7 мкм (Г. Мейман).

● Создан газовый (гелий-неоновый) лазер, работающий на переходе между двумя возбужденными состояниями атомов неона в непрерывном режиме и дающий лазерное излучение в близкой инфракрасной области с длиной волны 1,15 мкм

(А. Джаван, У. Р. Беннет, Д. Эрриот). Впервые на возможность использования в лазерах неравновесных условий газового разряда указал в 1958 У. Бойль. Первую схему газового лазера предложил Джаван.

Схема рубинового лазера



● П. Сорокин и М. Стивенсон построили четырехуровневый твердотельный лазер на кристалле CaF_2 , активированном ионами редкоземельных элементов.

1960—1961. Положено начало лазерной спектроскопии (А. Шавлов, Н. Бломберген). 1960. Обнаружена пиковая структура импульса излучения лазера (А. Шавлов, Ч. Гаррет, В. Кайзер).

Б. Б. Кадомцев



● В. Дерр и др. получили эффект квантового усиления в газах при помощи оптической накачки.

● Л. Шифф предложил использовать лазер для проверки эффекта гравитационного красного смещения.

● Б. Б. Кадомцев и А. В. Недоспасов построили теорию

винтовой неустойчивости в слабоионизированной плазме газового разряда (теория Кадомцева — Недоспасова).

● Обнаружено гравитационное красное смещение в лабораторных условиях (Р. Паунд, Дж. Ребка).

Р. Паунд



● Н. Н. Боголюбов разработал общий метод исследования спонтанного нарушения симметрии вакуума в теории многих тел (метод квазисредних Боголюбова).

● И. Живер впервые наблюдал туннелирование тока из сверхпроводника через изоляционный барьер в другой металл (нормальный или сверхпроводящий). Объясняется туннелированием одиночных электронов. При этом зависимость туннельного тока от приложенного к такому «сэндвичу» напряжения нелинейна и дает возможность определить щель в энергетическом спектре сверхпроводника.

И. Живер



● И. Живер создал сверхпроводящий туннельный диод.

● А. А. Абрикосов и Л. П. Горьков разработали теорию сверхпроводников с примесью

магнитных атомов и предсказали явление безщелевой сверхпроводимости, открытое в 1962 Ф. Райфом и М. Вулфом.

● И. М. Лифшицем предсказан квантовый циклотронный резонанс.

● Предсказан магнитно-звуковой резонанс (Д. А. Франк-Каменецкий).

● У. Харрисон предложил метод построения поверхности Ферми металлов (модель Харрисона).

● Открытие в тонких пленках цилиндрических магнитных доменов (В. Энц, Р. Гемперле и др.). Показано, что в тонких пленках под действием внешнего магнитного поля обычная полосовая доменная структура становится неустойчивой и полосы распадаются на «капли» круглой формы, которым соответствуют в пленках прямые круговые цилиндры, «прорастающие» через всю пленку. Особенностью этих цилиндрических магнитных доменов («баблов») является их высокая подвижность и малые (до микрона) размеры. В 1967 Э. Бобек предложил их использовать для передачи и записи информации в ЦВМ.

Ч. Киттель



● Ч. Киттель построил теорию магнитных фазовых переходов I рода (теория Киттеля). Предположение, что чисто магнитные превращения могут быть фазовыми переходами I рода впервые высказал в 1954 О. Райс. В 1962 Ч. Бин и Д. Родбелл определили конк-

рентные условия возникновения таких переходов (теория Бина — Родбелла). Впервые обнаружены экспериментально в 1937 М. Фалло (в сплавах FeRh).

● Предсказаны геликоны — электромагнитные возбуждения в хорошо проводящих твердых телах, находящихся в сильном магнитном поле (О. В. Константинов, В. И. Перель, П. Эгрен). Обнаружены экспериментально в 1961 в натрии.

● Предсказана электромагнитная неустойчивость типа раскочки «свистов» электронной горячей плазмы (Р. З. Сагдеев, В. Д. Шафранов).

● Т. Рид сконструировал безэлектродный плазмотрон — индукционную плазменную горелку.

● А. А. Галкин открыл анизотропию энергетической щели в сверхпроводнике (олове).

● Синтезирован первый ферромагнитный полупроводник (Й Тсубокава).

● С. Отлер построил сверхпроводящий соленоид из ниобиевой проволоки, создающий поле 4700 гс при температуре 4,2 К.

● В СССР синтезированы первые алмазы (Л. Ф. Верещагин).

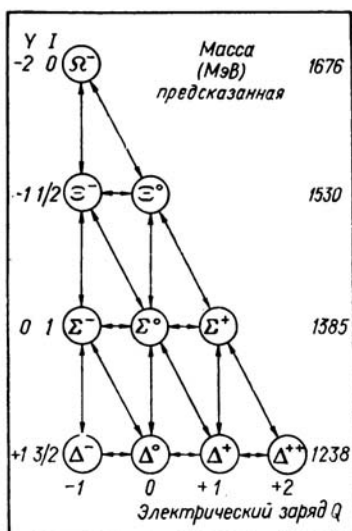
Л. Ф. Верещагин



● Обнаружены изотонные эффекты при упругом рассеянии протонов на ядрах (А. П. Ключарев, М. В. Пасечник и др.). 1961. М. Гелл-Манн и Ю. Нееман выдвинули гипотезу, согласно которой сильно взаи-

модействующие частицы и их взаимодействия удовлетворяют $SU(3)$ -симметрии, и предложили схему классификации адронов, объединив зарядовые мультиплеты в супермультиплеты и предсказав ряд частиц («восьмеричный путь», или модель Гелл-Манна — Неемана). На основе модели Гелл-Манна — Неемана были успешно систематизированы мезоны и барионы и предсказаны массы новых частиц.

Декаплет барионов со спином $3/2$



● Открыты векторные мезоны: ω -мезон (Л. Альварес, Б. Маглич, А. Розенфельд, Л. Стивенсон), ρ -мезон (У. Уокер, А. Эрвин и др.).

● Открыт η -мезон, распадающийся по схеме $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ (А. Певзнер).

● Дж. Голдстоун сформулировал теорему, важную для определения типа нарушения симметрии (теорема Голдстоуна). Общее математическое доказательство теоремы Голдстоуна дали в 1962 Голдстоун, А. Салам и С. Вайнберг.

● Дж. Чу выдвинул гипотезу бутстрапа.

● Дж. Чу и С. Фраучи распространили идею полюсов Редже на физику элементарных частиц.

● В Дубне открыто явление спонтанного деления ядер, находящихся в изомерном состоянии (В. А. Друин, В. А. Карнаухов и др.).

● Построен первый нейтронный интерферометр (Х. Майер-Лейбниц, Т. Шпрингер).

1961—1962. Впервые измерено гиромagnetное отношение ($g - 2$) мюона с точностью $4 \times 10^{-4} \%$ (Р. Гарвин, А. Зики и др.). Измерение величины $g - 2$ является хорошим способом проверки квантовой электродинамики на малых расстояниях.

● Поиски безнейтринных (редких) процессов распада мюона: $\mu \rightarrow e + \gamma$; $\mu \rightarrow 3e$ (С. Девонс, А. И. Алиханов и др.). Отрицательный результат поисков (вероятность распада $\sim 10^{-7}$) послужил основанием для гипотезы о двух типах нейтрино, — мюонном и электронном.

1961. М. Фруассар сформулировал теорему, устанавливающую ограничение возможной скорости роста полных сечений взаимодействия адронов с увеличением энергии (теорема Фруассара).

А. Б. Мигдал



● А. Б. Мигдал дал строгую формулировку ядерной модели оболочек (в терминах функций Грина) и развил диаграммную технику для ко-

нечных ферми-систем со сверхтекучестью.

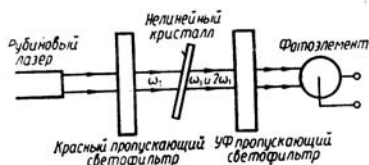
● Выдвинут принцип автокоррекции, положенный в основу кибернетического ускорителя на 1000 ГэВ (А. Л. Минц, Э. Л. Бурштейн, В. А. Петухов, С. М. Рубчинский и др.).

А. Л. Минц



● Открыт эффект удвоения частоты света в кристаллах — генерация второй гармоники света, превращение красного света рубинового лазера в ультрафиолетовый после прохождения через кристалл кварца (П. Франкен), что знаменовало рождение нелинейной оптики. Нелинейный эффект в оптике обнаружили еще в 1923 С. И. Вавилов и В. Л. Лёвшин. Теоретически нелинейные эффекты впервые рассмотрел Д. И. Блохинцев.

Генерация второй гармоники световых волн



● Наблюдение двухфотонного поглощения света (В. Кайзер, Ч. Гаррет). Предсказано М. Гёпперт-Майер в 1931.

● Наблюдение самовоздействия световой волны, обусловленного двухфотонным поглощением (В. Кайзер, Ч. Гаррет).

● Н. Ширен обнаружил многоквантовые спиновые переходы, т. е. переходы, индуцируе-

мые одновременной подачей фотонов и фоонов, частоты которых в сумме равны частоте перехода.

● Наблюдения оптических сдвигов (К. Козн-Таннуджи).

● Построен неодимовый лазер (Э. Снитцер).

● Н. Г. Басов предложил метод накачки лазера электронным пучком.

● Построена квантовая теория оптической накачки (Ж. Баррат, К. Козн-Таннуджи).

● А. Фокс и Т. Ли разработали теорию резонатора Фабри — Перо применительно к лазерам.

● М. С. Иоффе экспериментально обнаружил желобковую неустойчивость плазмы и в 1962 застабилизировал ее с помощью магнитных полей, нарастающих во всех направлениях от центра ловушки, — полей с так называемым «минимумом В». Теория устойчивости плазмы в ловушках с «минимумом В» была развита Дж. Тейлором и Р. Хастис (1963—1964), а также Б. А. Трубниковым (1966).

● На «Огре-1» впервые зарегистрирована циклотронная неустойчивость разреженной плазмы (И. Н. Головин). Предсказана в том же году Э. Харрисом.

● Л. И. Рудаков и Р. З. Сагдеев впервые рассмотрели неустойчивость дрейфовых волн, обусловленную слабой неоднородностью плазмы.

● Установлено явление аномального увеличения сопротивления и турбулентного нагрева плазмы электрическим током (Е. К. Завойский, Л. И. Рудаков, Я. Б. Файнберг).

● Обнаружен пучковый нагрев плазмы (Я. Б. Файнберг).

● Н. Г. Басов и О. Н. Крохин выдвинули идею получения высокотемпературной плазмы с помощью сфокусированного излучения лазера (лазерный термоядерный синтез).

● Экспериментально обнаружено квантование магнитного потока в сверхпроводниках (Б. Диавер, У. Фэрбенк, Р. Долл, М. Небауэр). Предсказано в 1950 Ф. Лондоном.

● В кристаллах CdS обнаружено явление усиления звуковых волн (Э. Хатсон и др.) Возникает, если к полупроводнику приложить такое электрическое поле, чтобы электрон или дырка двигались в нем со скоростью большей, чем фазовая скорость звуковых волн. Этот эффект лежит в основе акустоэлектроники.

● Открытие электронного термомангнитного эффекта (А. Н. Выставкин и др.).

● Обнаружена геликонная волна в твердом теле (в натрии) (Р. Бауэрс и др.).

● Предсказан магнитофононный резонанс (В. Л. Гуревич, Ю. А. Фирсов, М. И. Клигер). Открыт в 1963 С. Пури и Т. Джебаллом.

1961—1962. Дж. Займан разработал теорию жидких металлов (теория Займана).

1961. Открыт ультразвуковой капиллярный эффект (Е. Г. Коновалов).

● Л. А. Ривлин впервые рассмотрел принципиальную возможность создания лазера на ядерных гамма-переходах — гамма-лазера, или газера.

● С. Г. Раутиан и И. И. Сובельман предсказали возможность усиления излучения без инверсии заселенности.

● Г. А. Аскарьяном предсказан эффект самофокусировки электромагнитных лучей. В 1966 он теоретически установил самофокусировку звуковых, ультразвуковых и гиперзвуковых лучей.

1961—1963. Р. В. Хохлов развил математический аппарат нелинейной акустики.

1961. Изготовлен сверхпроводящий болометр (Д. Мартин, Дж. Блур). Эффект изменения сопротивления при сверхпро-

водящем переходе был использован для создания болометра еще в 1942 Д. Эндрюсом.

● Дж. Кюнцлер создал первые мощные сверхпроводящие магниты (в 1955 Дж. Интема описал сверхпроводящий соленоид, дающий поле до 7 кГс).

● В Физико-энергетическом институте (г. Обнинск) запущена в эксплуатацию передвижная атомная электростанция ТЭС-3 мощностью 1500 кВт.

● 12 апреля осуществлен первый полет человека в космос (Ю. А. Гагарин).

● Разработана скалярно-тензорная теория гравитации (Р. Дикке, К. Бранс).

1962. Открыт антикси-минус-гиперон Ξ^- (У. Б. Фаулер и др.).

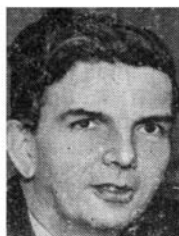
● Открыт резонанс Y_0^* (1520) (Р. Трипп и др.).

● Открыт Ξ^* (1530)-гиперон (Г. Тичо с сотр.), предсказанный в 1961 в модели восьмеричного пути М. Гелл-Манном и Ю. Нееманом.

● Экспериментально доказано существование двух типов нейтрино — электронного ν_e и мю-

онного ν_μ (Л. Ледерман, М. Шварц, Дж. Штейнбергер и др.).

Р. Дикке



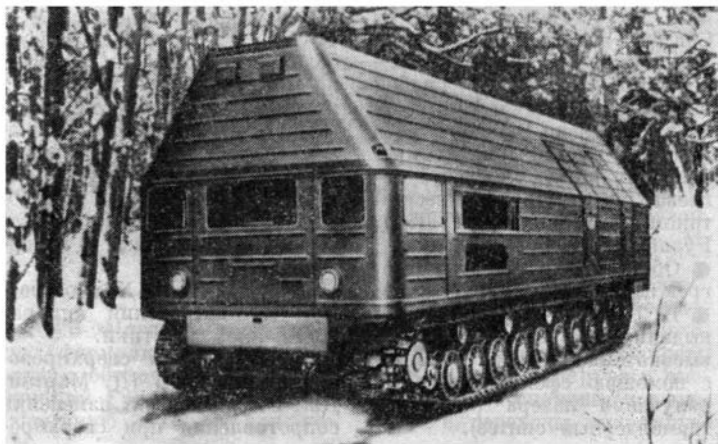
● Л. Б. Окунь предложил термин «адроны» для сильно-взаимодействующих частиц.

1962—1963. Ч. Балтей и др. в реакциях аннигиляции протон-антипротонных пар наблюдали образование антибарионных резонансов.

1962. Экспериментально подтвержден закон сохранения векторного тока в слабых взаимодействиях (Ю. Д. Прокошкин). Открыт также Ц. Ву. Теоретически обоснован в 1955 Я. Б. Зельдовичем и С. С. Герштейном.

● М. Гелл-Манн и С. Окубо вывели массовую формулу для любого единичного мультиплета (формула Гелл-Манна — Окубо).

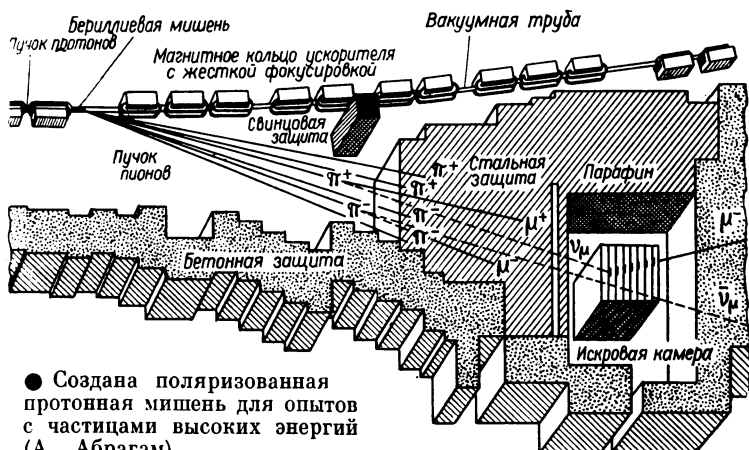
ТЭС-3 — передвижная АЭС



● М. Гелл-Манном предсказан омега-минус-гиперон Ω^- .

● Открыто явление спонтанного деления атомных ядер, находящихся в нестабильном состоянии (Г. Н. Флеров).

Схема двухнейтринного эксперимента



● Создана поляризованная протонная мишень для опытов с частицами высоких энергий (А. Абрагам).

● Д. В. Волков и В. Н. Грибов установили явление «заговора» полюсов Редже.

● А. А. Логунов, Н. А. Черников и И. Тодоров развили мажорационную технику в теории возмущений.

● Открыто явление испускания запаздывающих протонов (В. А. Карнаухов и др.).

● Открыты изобар-аналоговые состояния в средних и тяжелых ядрах.

● Предсказание тахиона (Э. Сударшан и др.). В 1967 подобную гипотезу выдвинул также Дж. Фейнберг.

● Предсказаны реальные и виртуальные оптические и радиочастотные переходы в атомных системах (К. Козв-Таннуджи). Обнаружены экспериментально им же в 1965.

● В. И. Гольданский и С. В. Карягин открыли асимметрию пиков квадрупольных дублетов гамма-резонансных спектров (эффект Гольданского — Каря-

гина). Позволяет изучать анизотропию фононного спектра кристаллов и амплитуд тепловых колебаний атомов в монокристаллах.

● Создан линейный индукционный ускоритель мощных пучков релятивистских электро-

нов (У. Лэмб). Принцип его действия предложил в 1939 А. Буверс.

● Создан лазер с модулированной добротностью, дающий гигантские импульсы света (Ф. Мак-Кланг, Р. Хеллуорт).

● Построен цезиевый лазер (П. Рабинович и др.).

● Созданы первые полупроводниковые лазеры на основе $p-n$ -перехода с использованием арсенида галлия GaAs, преобразующие электрическую энергию в энергию когерентного излучения (Р. Холл, М. Натан, Т. Квист). В 1963 построен и в СССР (Б. М. Вул и др.).

● Построен каскадный мазер (Р. Моррис), предложенный в 1959 А. Сигменом и Моррисом.

● У. Р. Беннет постулировал существование провалов в кривой усиления на частотах генерации (в литературе получили название «провалов Лэмба» по

имени У. Лэмба, построившего в 1964 теорию газового лазера). Обнаружены в 1963 А. Джаваном, Беннетом и Лэмбом.

● Выдвинут и разработан принцип параметрического усиления и генерации электромагнитных волн в оптическом диапазоне (С. А. Ахмапов, Р. В. Хохлов, Р. Кингстон, Н. Кролл).

● Открыто вынужденное комбинационное рассеяние света (Э. Вудбери, У. Нг). В этом же году его теорию разработал Н. Бломберген, а в 1963 — Р. В. Хохлов,

● Н. Бломберген и П. Першан открыли законы отражения и преломления нелинейной оптики.

● Первое использование лазера для спектрального анализа (лазерный спектральный анализ) (Ф. Брех, Л. Кросс).

● Начало опытов по передаче информации с помощью лазеров.

● Наблюдение генерации 3-й гармоники (Р. Терхьюн, П. Мейкер, К. Сэвидж).

● П. Фрэнк получил суммарную частоту при смешении двух лучей света от двух рубиновых лазеров с разными частотами: $\omega = \omega_1 + \omega_2$.

● Обнаружена генерация когерентных оптических фононов в поле интенсивной световой волны (Э. Вудбери и др.).

Н. Бломберген



● Н. Кролл и Н. Бломберген с П. Першаном разработали теорию оптики нелинейных сред.

● Ю. Н. Денисюк предложил выполнять голографические записи в толстослойных фотографических эмульсиях (голограммы Денисюка). Изображения, полученные при помощи этих голограмм, обладают объемностью и цветностью.

1962—1964. Использование лазерного излучения в голографии, значительно расширившего возможности применения голограмм (Э. Лейт, Дж. Упатниекс). Создание оптической голографии.

1962. Б. Джозефсон теоретически показал, что через контакт из двух слабо связанных между собой сверхпроводников (джозефсоновский контакт) могут туннелировать не только отдельные электроны, но и электронные пары, и предсказал на этой основе новые эффекты: 1) через контакт из двух сверхпроводников может

Б. Джозефсон



протекать постоянный туннельный ток даже при нулевом напряжении на пленке контакта (стационарный эффект Джозефсона); 2) если к контакту приложено постоянное напряжение V , то через контакт будет течь сверхпроводящий ток, осциллирующий с частотой $\nu = 2eV/h$ (нестационарный эффект Джозефсона) и другие эффекты (джозефсоновское излучение, джозефсоновский плазменный резонанс и др.).

● Л. Эсаки открыл явление сильного возрастания магнитосопротивления при определенном значении электрического поля (эффект Эсаки).

● Наблюдение бесщелевой сверхпроводимости, обусловленной наличием магнитных примесей (Ф. Райф, М. Вулф), предсказанной в 1960 А. А. Абрикосовым и Л. П. Горьковым.

● Дж. Бардин вычислил критические поля и критические токи тонких пленок.

● Выдвинута идея криостата растворения ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$ (Х. Лондон). Осуществлена в 1965 Б. С. Негановым. Позволяет поддерживать температуру 0,01—0,02 К.

● Наблюдение акустического эффекта Фарадея (Г. Мэтьюз, Р. Легроу).

● Создан лазерный гироскоп (А. Розенталь).

● Р. Андерсон первый изучил свойства гетеропереходов и описал основные принципы их работы.

● В. Л. Гуревич, А. И. Ларкин и Ю. А. Фирсов разработали теорию сверхпроводимости применительно к полупроводникам (полярным). В 1964 в общем виде построена М. Коэном.

● Открыт первый галактический рентгеновский источник с помощью аппаратуры, поднятой на ракете (Б. Росси).

● Х. Альфвен и О. Клейн развили зарядово-симметричную космологическую модель (модель Альфвена — Клейна).

● Вступили в строй советские термоядерные установки ПР-5 и «Токамак-3».

● Предсказано явление распада параметрической неустойчивости волн в нелинейной волновой среде (Р. З. Сагдеев, В. Н. Оравский).

● Разработан метод строгого решения задач дифракции в радиофизике и электронике (З. С. Агранович, В. А. Марченко, В. П. Шестопалов). 1963. Открыт антикси-нуль-гиперон $\tilde{\Xi}^0$ (У. Б. Фаулер и др.).

● Экспериментально установлено явление двойной перезарядки пионов (С. А. Бунятков, В. М. Сидоров, Ю. Н. Батузов, В. А. Ярба).

● Экспериментально установлено явление распада омега-мезона на нейтральный пион и гамма-квант, обусловленное электромагнитным взаимодействием (А. Г. Мешковский и др.).

● Открыты двойные гиперъядра ($\text{Be}_{\Lambda\Lambda}^{10}$) (М. Давыш, Е. Пневский и др.).

● Н. Кабиббо распространил теорию слабого взаимодействия $V-A$ на процессы с участием странных частиц (теория Кабиббо).

● А. А. Логунов, Нгуен Ван Хьеу, И. Тодоров и О. А. Хрусталева (независимо от Л. Ван Хофа) доказали равенство дифференциальных сечений рассеяния частицы и античастицы.

● Ю. Швингер разработал метод эффективных лагранжианов в квантовой теории поля.

● Д. Уилкинсон и Х. Крейн с высокой точностью определили g -фактор электрона: $g = 2,002319244 \pm 0,000000054$ (первые значения g -фактора были получены Крейном в 1954). Измерением g -фактора электрона непосредственно проверяется квантовая электродинамика.

● Проведено экспериментальное сравнение времен жизни частиц и античастиц для μ^+ и μ^- (Л. Ледерман и др.). В 1966 выполнено для π^+ и π^- (Ледерман и др.) и K^+ и K^- (Ф. Лобкович и др.). Доказательство их равенства явилось проверкой CPT -теоремы.

● Р. Фейнман сформулировал программу квантования неабелевых калибровочных теорий Янга — Миллса и реализовал ее в однополеовом приближении. Полную реализацию программы осуществили

в 1967 Л. Д. Фаддеев, В. Н. Попов и Б. Де Витт.

● В Новосибирске сооружено первое накопительное электрон-электронное кольцо ВЭП-1 с энергией частиц в пучке 130 МэВ (Г. И. Будкер). В 1965 вступил в строй накопитель e^+e^- АКО в Орсе с энергией частиц в пучке 540 МэВ.

● Создана стримерная искровая камера (Г. Е. Чиковани).

● Открыто явление оптического пробоя газа (П. Мейкер, Р. Терхьюн, К. Сэвидж). В 1967 Н. Г. Басов с сотр. впервые наблюдал искру двухметровой длины (протяженный оптический пробой), инициированную при помощи неодимового лазера, в 1976 была получена искра длиной более 60 м.

● Экспериментальное наблюдение провала в центре линии усиления излучения газового лазера — провала Лэмба (У. Р. Беннет, У. Лэмб, А. Джаван). Предсказан в 1962 Беннетом, объяснен в 1964 Лэмбом.

● Получена лазерная генерация в ультрафиолетовом диапазоне (Г. Херд).

● А. Джаван и Ч. Таунс повторили опыт Майкельсона — Морли с помощью гелий-неонового лазера, достигнув точности в измерении 0,03 мм/с.

● Положено начало нелинейной спектроскопии (А. Джаван).

● Открыт светогидравлический эффект — явление возникновения ударных волн при взаимодействии лазерного луча с водой (А. М. Прохоров, Г. А. Аскарьян, Г. П. Шипуло).

● Наблюдение стоковых и антистоковых линий вынужденного комбинационного рассеяния света (Р. Терхьюн).

● Открытие явления спонтанного 3- и 4-фотонного параметрического рассеяния света в

твердом теле (С. М. Рывкин, Д. Н. Клышко и др.).

● Предложен метод тепловой накачки для создания инверсной населенности (Н. Г. Басов, А. Н. Ораевский). Впервые возможность получения инверсной населенности при охлаждении газа была рассмотрена А. М. Прохоровым и В. К. Конюховым.

● Обнаружение «световых» сдвигов энергетических уровней в атомных системах (А. Кастлер).

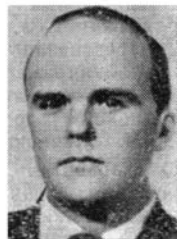
● Л. Голд рассмотрел возможность создания рентгеновского лазера (разера).

● Р. Глаубер положил начало квантовой оптики, введя представления когерентных состояний (когерентность света на языке квантовой теории).

● Предсказана дрейфово-циклотронная неустойчивость плазмы — появление неустойчивых колебаний в плазме, сильно вытянутых вдоль магнитного поля (А. Б. Михайловский, А. В. Тимофеев). В 1966 рассмотрена Р. Постом и М. Розенблютом, давшими ее теорию.

● Предсказано явление ионизационной турбулентности низкотемпературной плазмы (Е. П. Велихов, А. М. Дыхне, А. В. Недоспасов, И. Я. Шипуц). Экспериментально подтверждено ими в 1964.

Е. П. Велихов



● Экспериментально обнаружено, что в процессе развития электронно-ионных пучковых неустойчивостей происходит ус-

корение ионов плазмы до весьма больших энергий — порядка энергий электронов пучка и выше (турбулентный нагрев ионов плазмы электронным пучком) (М. В. Незлин, А. М. Соляцев).

● Ф. Андерсон и Дж. Роуэлл экспериментально обнаружили стационарный эффект Джозефсона.

Ф. Андерсон



● Обнаружено явление микроволновой индукции токовых ступенек постоянного напряжения (С. Шапиро). Ступеньки появляются на вольт-амперной характеристике джозефсоновских переходов, подвергающихся микроволновому облучению, высота ступеньки равна разности полного и стационарного джозефсоновского токов. Явление лежит в основе метода прямого измерения отношения e/h с высокой точностью для существенного уточнения многих физических постоянных.

● Дж. Ганн открыл явление генерации СВЧ излучения кристаллами арсенида галлия и фосфида индия в сильных электрических полях (эффект Ганна).

● Открыто явление термомагнитного охлаждения (Р. Вольфе).

● Экспериментальное наблюдение циклотронных волн в металле (М. С. Хайкин).

● Наблюдение гибридного резонанса в твердом теле (С. Бухсбаум и др.).

● Открыт эффект каналирования частиц в кристаллах

(Р. Нельсон, М. Томпсон). Предсказан в 1961 М. Робинсоном и О. Озном (рассматривался еще в 1912 И. Штарком). Теория каналирования разрабатывалась Робинсоном (1963), Томпсоном и Нельсоном (1963) и Й. Линдхардом (1964—1965).

● Установлен эффект радиационной самополяризации электронов и позитронов в магнитном поле (А. А. Соколов, И. М. Тернов).

● Открыто явление возникновения холодной эмиссии электронов при пропускании тока через тонкие металлические пленки с островной структурой (П. Г. Борзяк, О. Г. Сарбей, Р. Д. Федорович).

● Экспериментальное наблюдение магнитофонного резонанса (С. Пури, Т. Джебалл). Предсказан в 1961 В. Л. Гуревичем, Ю. А. Фирсовым, М. И. Клингером.

● Б. Г. Лазарев открыл фазовый переход $2\frac{1}{2}$ -го рода, предсказанный в 1960 Н. М. Лифшицем.

1963—1965. В. Г. Барьяхтар развил квантовую теорию термоядерномагнитных явлений в металлах и полупроводниках. 1963. Р. Кубо выполнил общий расчет спиновых флуктуаций, в том числе и критических.

● Р. Керр дал решение, описывающее гравитационное поле, создаваемое вращающимся телом (решение Керра). В 1965 обобщено Э. Ньюменом на случай тела, обладающего также электрическим зарядом (решение Керра — Ньюмена).

● Открыты квазары (М. Шмидт).

● Разработка основ физики прочности и пластичности тугоплавких металлов, ковалентных и частично ковалентных кристаллов, включая алмаз, нитрид бора и ряд других тугоплавких соединений (В. И. Трефилов).

1964. Открыт омега-минус-гиперон (Н. Самиос, У. Б. Фау-

лер, Р. Шатт, А. Торндайк и др.), предсказанный в 1962 М. Гелл-Манном. Обнаружение Ω^- явилось триумфом группового подхода в теории элементарных частиц.

● Выдвинута модель кварков — частиц (u , d , s), обладающих дробными электрическим и барионным зарядами, из которых состоят все адроны (М. Гелл-Манн, Дж. Цвейг). Согласно этой модели мезоны состоят из кварка и антикварка, барионы — из трех кварков.

● П. Хиггс предложил механизм «появления» масс у векторных бозонов в результате спонтанного нарушения симметрии (механизм Хиггса). Это сделали также Ф. Энглерт и Р. Браут. В результате возникло понятие «хиггсовского бозона». Механизм Хиггса является основой при построении перенормируемых калибровочных теорий с массивными векторными полями. В 1967 Т. Киббл

применил механизм Хиггса к калибровочным теориям Янга — Миллса.

В. Фитч

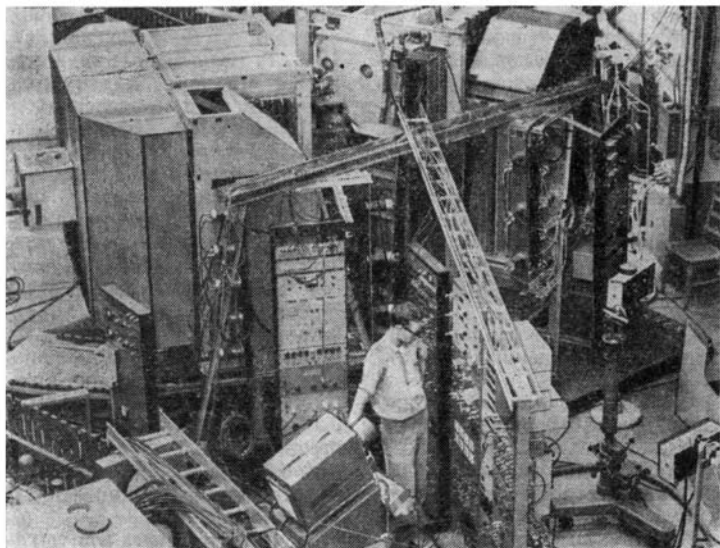


● Обнаружен распад долгоживущего нейтрального каона: $K_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$, свидетельствующий о нарушении CP -

Дж. Кронин



Установка Кронина — Фитча, на которой было обнаружено нарушение CP -инвариантности



январности в слабых взаимодействиях (Дж. Кристенсон, Дж. Кронин, В. Фитч, Р. Тарлей). В дальнейшем обнаружены еще процессы его распада, запрещенные CP -симметрией: $K_2^0 \rightarrow 2\pi^0$; $K_2^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu$; $K_2^0 \rightarrow \pi^- \mu^+ \nu$.

1964—1967. Доказано в экспериментах, что ν_μ и $\bar{\nu}_\mu$ — различные, не тождественные частицы.

1964. Дж. Бьёркен и Ш. Глэшоу выдвинули гипотезу нового квантового числа — очарования (чарма) и ввели в рассмотрение новый, очарованный кварк (c -кварк). В 1970 Ш. Глэшоу, Дж. Илиопулос и Л. Майани показали, что введение c -кварка объясняет чрезвычайно малую вероятность некоторых слабых адронных процессов, обнаруженную на опыте.

1964—1965. Введено новое квантовое число — цвет и построена схема сильных взаимодействий, основанная на трех триплетях кварков с целочисленными зарядами. (Н. Н. Боголюбов, Б. В. Струминский, А. Н. Тавхелидзе; Й. Намбу, М. Хан; Й. Миямото).

1964. Открыто явление несохранения пространственной четности в ядерных электромагнитных переходах (Ю. Г. Абов, П. А. Крупчицкий, Ю. А. Оратовский). Обусловлено слабым нуклон-нуклонным взаимодействием, приводящим к асимметричному относительно направления поляризации испусканию гамма-квантов поляризованными ядрами. Открытие подтвердило универсальность слабого взаимодействия.

● Предложена гипотеза сверхслабого взаимодействия (Л. Вольфенштейн).

● С. Адлер и У. Вайсбергер независимо вывели правила сумм, позволяющие выразить

отношение g_A/g_V аксиально-векторной и векторной констант связи в бета-распаде через полные сечения взаимодействия пионов с нуклонами (правила сумм Адлера — Вайсбергера).

● Предложена $SU(6)$ -симметрия элементарных частиц (А. Пайс, Л. Радикатти, Ф. Гюрсей, Б. Сакита).

● Э. Буроп осуществил первый опыт, давший возможность «увидеть» нейтринные взаимодействия в эмульсии.

Э. Буроп



● Т. Филиппас и Дж. Фокс установили с точностью до 8 % на π^0 -мезонах постоянство скорости света при движущемся источнике излучения. В 1963 Д. Саде, используя в качестве движущегося источника аннигиляцию позитронов на лету, установил постоянство скорости света с 10 %-ной точностью. Впервые этот постулат Эйнштейна был проверен В. де Ситтером в 1913 путем спектроскопических наблюдений двойных звезд.

1964—1967. В Дубне осуществлен синтез 104-го элемента при облучении плутония-242 ионами неона: ${}_{94}^{242}\text{Pu} + {}_{10}^{22}\text{Ne} \rightarrow {}_{104}^{260} + 4n$ (Г. Н. Флеров с сотр.).

1964. Предсказана ядерная прецессия нейтронов (В. Г. Барышевский, М. И. Подгоречный). Открыта в 1973 А. Абрагамом.

● 14 августа вступила в строй первая в мире ядерная установка «Ромашка» с непосред-

ственным превращением ядерной энергии в электрическую (М. Д. Миллионщиков).

Г. Н. Флеров



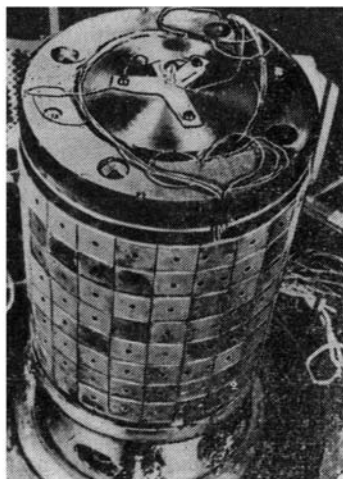
● Вступил в строй электронный синхротрон ДЭЗИ (Гамбург) на энергию 7,5 ГэВ.

● Создан лазер на углекислом газе — молекулярный лазер (К. Пател, Ф. Легей, Х. Легей-Соммер).

М. Д. Миллионщиков



Ядерная установка «Ромашка»



● Впервые получен лазерный эффект в CdS при возбуждении электронным лучом (Н. Г. Басов, О. В. Богданкевич, А. Г. Девятков).

● Создан ионный лазер (У. Бриджес).

● Обнаружен эффект квантовых биений (Е. Б. Александров, Дж. Додд).

● Наблюдение трехфотонного поглощения (Ш. Синг, Л. Брэдли).

● Обнаружено вынужденное двойное лучепреломление в жидкостях, вызванное интенсивным импульсом света лазера (Ж. Мейер, Ф. Жир). Предсказано А. Пекарой и С. Келихом.

● Построена квантовая теория лазера (Г. Хакен).

● Обнаружен эффект самосинхронизации лазера (М. Дидоменико). В 1966 его открыли А. Де Мариа и Д. Стетсер.

● Открыто вынужденное рассеяние Мандельштама — Бриллюэна (Ч. Таунс, Б. Стойчев, Р. Чиао).

● Наблюдение эффекта самофокусировки светового пучка в стекле — сужение его до тонкой нити (М. Херчер). В 1965 наблюдался в жидкости Н. Ф. Пилипецким и А. Р. Русамазовым.

● Обнаружено расщепление частоты кольцевого лазера (У. Мацек и др.).

● Обнаружено фотонное эхо (М. Курнит и др.).

● Построена общая теория спин-обменных столкновений в атомных системах (Ф. Пипкин и др.).

● У. Лэмб разработал теорию газового лазера.

● Проведены оценки и теоретически указано на принципиальную возможность нагревания плазмы до температур порядка 10^7 К при облучении лазерным излучением мишени из твердого дейтерия (Н. Г. Басов, О. Н. Крохин, Ф. Доусон).

● Открыто обращенное комбинационное рассеяние света (Б. Стойчев).

● Экспериментальное открытие нестационарного эффекта Джозефсона — наблюдение джозефсоновского электромагнитного излучения (И. К. Янсон, В. М. Свистунов, И. М. Дмитренко). Этот эффект в 1965 наблюдали также Д. Лапгенберг, И. Живер и др.

● Открыта сверхпроводимость у сильнолегированных полупроводников (М. Козн и др.).

● У. Литтл предложил модель высокотемпературного сверхпроводника.

● Создан сверхпроводящий магнитометр для измерения сверхслабых магнитных полей, использующий джозефсоновские контакты (Дж. Мерсеро и др.).

● Открыт акустомангнетический эффект Ю. В. Гуляев и др.).

● И. К. Кикоиным открыт фотопьезоэлектрический эффект.

● Наблюдение геликон-фононного взаимодействия (в калли) (Ч. Граймс, С. Бухсбаум).

● Л. В. Келдыш построил теорию многофотонной ионизации в сильном световом поле.

● Дж. Кондо с помощью $s-d$ -модели рассчитал электросопротивление сплава и объяснил минимум в его температурной зависимости (теория Кондо). Экспериментально это явление (эффект Кондо) обнаружено в 30-х годах, в середине 50-х годов выполнено количественное измерение температурной зависимости сопротивления (Н. Е. Алексеевский и др.).

● Изготовлены первые сверхпроводящие мостики (Ф. Андерсон, Дж. Мерсеро, А. Дайем и др.).

● Разработаны основы электродинамики плазмы — теория коллективных колебаний в плазме (А. И. Ахнезер,

И. А. Ахнезер, Р. В. Половин, А. Г. Ситенко, К. Н. Степанов).

● Предсказаны ударные бесстолкновительные волны в плазме (Р. З. Сагдеев).

1964—1965. Дж. Строук разработал голографию Фурье, в частности в 1965 изобрел безлинзовую голографию Фурье, благодаря чему стало возможным получать высокие пространственные разрешения по предмету.

1964. Обнаружен «эффект теней» (А. Ф. Тулинов).

● Начало эксперимента Р. Дэвиса по регистрации солнечных нейтрино в реакции ${}^8_3\text{B} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + e^+ + \nu$.

● М. А. Марков высказал идею нейтринных звезд.

● И. Шапиро предложил эксперимент, в котором можно обнаружить следующее из общей теории относительности (ОТО) замедление радиоимпульса в гравитационном поле Солнца. Заключается в измерении времени задержки радиосигнала, посланного с Земли и отраженного от Меркурия или Венеры. Реализован им же в 1968 (точность измерений составила 5 %). Считается четвертым экспериментальным подтверждением ОТО.

● Р. Дикке произвел экспериментальную проверку принципа эквивалентности с точностью до 10^{-11} .

1965. Открыто космическое фоновое (реликтовое) излучение — остаточное излучение «молодой» Вселенной на ранней стадии ее эволюции (А. Пензиас, Р. В. Вильсон), подтвердившее модель «горячей Вселенной».

● Осуществлено превращение гамма-кванта высокой энергии в пару протон — антипротон.

● Наблюдение интерференции K_1^0 - и K_2^0 -мезонов (В. Фитч).

● Создан рентгеновский интерферометр (У. Бонс, М. Харт). В 1974 показано, что он успешно работает и с пучком нейтронов (нейтронный интерферометр) (У. Бонс и др.).

А. Пензиас



● Синтезировано первое антиядро — антидейтрон, представляющее собой связанное состояние антипротона и антинейтрона (Л. Ледерман).

Р. В. Вильсон



● Экспериментально доказано существование сверхтяжелого гелия-8. Предсказан в 1959 (Ю. Н. Батусов, С. А. Бунятков, В. М. Сидоров, В. И. Гольданский, Я. Б. Зельдович и др.).

1965—1969. Н. Н. Боголюбов с сотр. разработал динамическую модель адронов — модель квазинезависимых кварков.

1965. Создан химический лазер, работающий в импульсном режиме (Дж. Каспер, Дж. Пиментел). В 1969 появился химический лазер непрерывного действия (Т. Кул и др.). Идею химического лазера выдвинули Дж. Полани (1961), А. Н. Ораевский (1963) и др.

● Осуществлен лазер на окиси углерода. Впервые была

получена генерация на переходах CO в импульсном и непрерывном режимах (Х. Легай-Соммер и др.).

● Созданы параметрические генераторы света, перестраиваемые по частоте (С. А. Ахманов, Р. В. Хохлов и др.). Схемы параметрических усилителей и генераторов были предложены Хохловым и Ахмановым и Н. Кроллом в 1962.

Р. В. Хохлов



● Наблюдение трехфотонного молекулярного рассеяния, связанного с гелийными свойствами отдельных молекул (Р. Терхьюн, П. Мейкер, К. Сэвидж).

● Обнаружено явление существования мюония в конденсированных средах (М. Я. Балац, А. И. Бабаев и др.).

● Н. Г. Басов и В. С. Летохов разработали метод получения весьма узких линий усиления (с шириной в 10^4 — 10^5 раз меньше доплеровской), основанный на когерентном возбуждении атомов или молекул в световом луче, и предложили пучковый лазер с когерентной накачкой собственным излучением, обладающий высокой стабильностью частоты излучения.

● Обнаружено вынужденное рассеяние в области крыла линии Рэлея (И. Л. Фабелинский).

● Разработка принципа синтеза оптических изображений (Д. Габор, Дж. Строук).

● Заложены основы голографической спектроскопии (Дж. Строук, А. Фанкхаузер).

● Разработан голографический метод записи и восстановления волнового фронта (Х. Когельник).

● Р. Дулей осуществил «радиовидение» (визуализацию невидимых изображений) с использованием «спинтетических» голограмм.

1965—1966. Начало разработки голографического кино.

1965—1967. А. Г. Ситенко разработал теорию электромагнитных флуктуаций в неравновесной плазме.

● Предложен метод нагрева электронными пучками для создания электронно-горячей плазмы (Б. И. Блинов, В. А. Симонов и др.).

1965. Обнаружено циклотронное эхо в плазме (Р. Хилл, Д. Каплан).

● Наблюдение гигантских осцилляций поглощения ультразвука (А. Токсен, С. Тансал). Впервые рассмотрены теоретически в 1961 В. Л. Гуревичем, В. Г. Скобовым и Ю. А. Фирсовым.

● Предсказаны гигантские осцилляции характеристик металлов (А. Пиппард)..

● Наблюдение спин-магнитофононного резонанса (И. М. Цидильковский с сотр.).

● Обнаружен обратный эффект Фарадея — возникновение намагниченности у прозрачного тела, находящегося в пучке интенсивного циркулярно-поляризованного излучения (Г. Халл и др.). Теория эффекта разработана в 1966 Я. Ван дер Зилом и П. Першаном.

● Обнаружено, что при протекании стационарного тока через сверхпроводник II рода, находящийся в смешанном состоянии, может появиться электрическое сопротивление (Й. Ким и др.). Объяснение дано Ф. Андерсоном и Кимом.

● Построена теория сверхпроводников с сильной связью (Б. Т. Гейлиман, В. З. Кресин).

● Ю. В. Шарвин открыл динамическое промежуточное состояние сверхпроводников.

● Обнаружена фазовая когерентность в макроскопических объемах сверхпроводников (Дж. Мерсеро).

● Открыт в плазме эффект Т-слоя (А. Н. Тихонов, А. А. Самарский).

● И. М. Лифшиц завершил создание современной электронной теории металлов.

● Создана феноменологическая теория фазовых переходов II рода, основанная на законах подобия (М. Фишер, Л. Каданов; А. З. Паташинский, В. Л. Покровский).

● В. Томаш открыл геометрический резонанс в сверхпроводниках (эффект Томаша).

● Создана голографическая интерферометрия.

● Открыто излучение межзвездных молекул ОН вблизи длины волны $\lambda = 18$ см (Г. Уивер и др.). В 1969 группой Ч. Таунса обнаружено излучение космических молекул H_2O на волне 1,35 см. Оба эти источника отличала необычайно высокая интенсивность, сильная поляризация, переменность во времени. Как было показано в дальнейшем, в основе источников ОН и H_2O лежит мазерный механизм усиления в облаках с инверсной населенностью соответствующих молекулярных уровней.

(В 1966 была установлена мазерная природа источника ОН). Отсюда и их название — космические мазеры.

1965—1970. Доказано существование сингулярных точек в решениях уравнений ОТО (Р. Пенроуз, С. Хокинг).

1965. 18 марта осуществлен первый выход космонавта космического корабля в открытый космос во время орбитального полета (А. А. Леонов).

1966. Синтезирован ряд изотопов 102-го элемента при облучении урана-238 ускоренными

ми ионами неона-22: $^{238}_{92}\text{U} + ^{22}_{10}\text{Ne} \rightarrow ^{256}_{102} + 4n$ (Г. Н. Флеров с сотр.). Результаты, полученные в 1957 американскими, английскими и шведскими физиками в Нобелевском институте физики (Стокгольм) по обнаружению 102-го элемента, оказались ошибочными. В 1967 А. Гиорсо с сотр. в Радиационной лаборатории в Беркли подтвердил данные советских физиков по синтезу ряда изотопов ($251-256$) 102-го элемента.

● Теоретически установлено явление образования сильно деформированных тяжелых атомных ядер в квазистационарном состоянии (В. М. Струтинский). Сыграло решающую роль в утверждении новых представлений о процессе деления тяжелых ядер (двугорбый барьер деления).

● Г. И. Будкер предложил метод электронного охлаждения для тяжелых частиц, используемый в ускорителях на встречных пучках. Экспериментально осуществлен им же в 1974.

● Х. Мелднер высказал предположение, что за заполненной протонной оболочкой с $Z = 82$ должна следовать заполненная протонная оболочка с $Z = 114$, а не с $Z = 126$, как считали по аналогии с нейтронами. В дальнейшем это предположение получило дополнительные доказательства.

● В Станфорде вступил в строй линейный ускоритель электронов на энергию 22 ГэВ (В. Пановский).

● Создан лазер ультракоротких (длительностью до 10^{-12} с) импульсов света с самофазировкой мод нелинейным поглотителем (А. Де Мариа, Д. Стетсер, Г. Хейнау). В 1968 Н. Г. Басовым при усилении ультракороткого импульса света была достигнута мощность 10^{12} Вт.

● Предложен газодинамический способ возбуждения лазера (А. М. Прохоров, В. К. Конюхов).

В. Пановский



● Создан лазер повышенной мощности на смеси углекислого газа и азота (К. Пател).

● Созданы лазеры на растворах органических красителей, обладающие высокими КПД и яркостью излучения, — жидкостные лазеры (П. Сорокин, Дж. Ланкард). В 1967 построены также Б. И. Степановым.

● Созданы лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния (комбинационные лазеры) с использованием метода каскадного преобразования (П. Авизонис и др.).

● Открыто явление взрывной электронной эмиссии (Г. А. Месяц и др.).

● Открыто явление пересечения мод как нелинейное проявление интерференции состояний (А. Джаван).

● Наблюдение эффекта автоколлимации света (Ч. Таунс, Р. Чиао, Э. Гармайр).

● Р. Стерн и Н. Тцоар экспериментально обнаружили параметрическое возбуждение в плазме ионно-акустических и высокочастотных электронно-плазменных колебаний.

1966—1968. Обнаружено в полупроводнике рассеяние фотонов на фотонах — света на свете (С. М. Рывкин и др.).

При столкновении в кристалле двух интенсивных лазерных пучков наблюдалось появление рассеянных фотонов с измененной энергией.

1966. Предложен метод высокочастотного нагрева на электронно-циклотронном резонансе для создания электронно-горячей плазмы (У. Ард и др.).

● Обнаружена сверхпроводящая энергетическая щель в полупроводниках (Л. Эсаки).

● Создан сверхпроводящий гальванометр, использующий джозефсоновский контакт (Дж. Кларк). Позволяет измерять напряжения в 10^{-15} В.

● Обнаружен эффект спиновой памяти (Ч. Андерсон, Э. Сабиский).

● Наблюдение параэлектрического резонанса (дипольных молекул) (В. Брон и др.). Предсказан в 1964 У. Куном и Ф. Лёти.

● Наблюдение квантования движения электронов в опытах по их туннелированию между тонкими пленками через зазор (В. Н. Луцкий, Д. Н. Корнеев, М. И. Елинсон).

● Обнаружен второй звук в твердом гелии (Г. Фэрбенк и др.). В жидком гелии обнаружен в 1946 В. П. Пешковым, предсказан в 1941 Л. Д. Ландау.

● Построена микроскопическая теория сегнетоэлектриков (А. И. Ларкин и др.).

● Э. И. Рашба построил общую динамическую модель вибронных состояний кристалла, согласно которой экситоны и фононы рассматриваются как стабильные квазичастицы с определенным законом взаимодействия.

● Выдвинута идея комбинированного соленоида для получения сверхсильных магнитных полей (Е. Г. Комар).

● Обнаружен нулевой звук в жидком гелии III (Дж. Уитли). Предсказан в 1957 Л. Д. Ландау. Колебания, соответствующие нулевому звуку в слабо неидеальном ферми-газе, впервые рассмотрены Ю. Л. Климонтовичем и В. П. Силиным (1952).

● Созданы джозефсоновские туннельные переходы (Д. Лагенберг, Д. Скалапино, Б. Тейлор).

● Дж. Роуэлл предложил использовать джозефсоновский переход в качестве запасающего элемента.

● Построен акустический генератор (Д. Уайт, У. Ванг). Осуществлен также в 1968 В. И. Байбаковым.

● Открыто явление кооперативной люминесценции (П. П. Феофилов и др.).

● В Новосибирске вступила в строй установка ВЭПП-2 со встречными электронными и позитронными пучками по 700 МэВ (Г. И. Будкер, А. Н. Скринский).

1967. Построена теория векторной доминантности, основанная на алгебре полей (Т. Ли, С. Вайнберг, Б. Зумино, Н. Кролл).

● С. Вайнберг разработал модель слабых взаимодействий, основанную на одном из вариантов янг-миллсовской теории, в которой калибровочные кванты приобретают массу посредством механизма Хиггса, и предположил возможность ее перенормирования (в 1968 это сделал также А. Салам). В 1971—1972 г. т Хофтом, Б. Ли, А. А. Славновым и др. доказано, что именно такой подкласс янг-миллсовских теорий, объединенный с механизмом Хиггса, может быть перенормирован. Модель Вайнберга — Салама объединила слабые и электромагнитные силы в рамках одной локальной калибровочной теории (объединенная теория электрослабых взаимодействий). Она предсказала существование массивного промежуточного векторного бозона Z^0 — частицы, с массой ~ 90 ГэВ. Z^0 — бозон обуславливает новый тип слабых взаимодействий, связанных с нейтральным слабым током. Обмениваясь нейтральным бозоном

Z^0 , частицы могут взаимодействовать без передачи заряда, сохраняя свои первоначальные свойства. Наблюдение в 1973 слабых нейтральных токов явилось веским доказательством справедливости теории Вайнберга — Салама, а открытие в 1983 самого Z^0 -бозона — ее полным подтверждением.

● Введен в рассмотрение новый класс множественных процессов — инклюзивные реакции (А. А. Логунов, Нгуен Ван Хьеу, М. А. Мествиришвили).

● Получены правила сумм при конечной энергии, явно отражающие связь свойств рассеяния в прямом и перекрестных каналах (А. А. Логунов, Л. Д. Соловьев, А. Н. Тавхелидзе). Эти правила привели к концепции дуальности.

● Синтезирован 103-й элемент при облучении мишени из амерция-243 ускоренными ионами кислорода-18: ${}^{243}_{95}\text{Am} + {}^{18}_8\text{O} \rightarrow {}^{256}_{103} + 5n$ (Г. Н. Флеров с сотр.). Данные А. Гиорсо (1961) о синтезе и идентификации изотопа ${}^{257}_{103}$ требовали дополнительной проверки.

● Обнаружены пионные мезоатомы (Г. Бакенштосс и др.).

● Обнаружен распад фи-ноль-мезона на электрон-позитронную пару, указывающий на существование прямых переходов между фи-ноль-мезоном и гамма-квантом (А. М. Балдин, И. В. Чувило и др.).

● Обнаружены каонные мезоатомы (К. Виганд).

● Обнаружено двойное тормозное излучение.

● Предсказание ядерного эффекта Джозефсона — тунелирования куперовских пар между ядрами (В. И. Гольданский, А. И. Ларкин).

● В Серпухове вступил в строй протонный синхрофазотрон с жесткой фокусировкой на

76 ГэВ (А. А. Логунов, В. В. Владимирский, А. А. Наумов и др.).

● Встал в строй Корнеллский электронный синхротрон на 12 ГэВ (Р. Р. Вильсон).

● Создан первый в СССР сверхточный наносекундный ускоритель электронов (Г. А. Месяц).

● К. Джеффрис предложил ряд возможных схем оптической ядерной ориентации. В 1968 он обнаружил оптическую ориентацию ядер ${}^{169}_{69}\text{Tm}$ в кристалле CaF_2 .

● Разработана неоклассическая теория переноса тепла и частиц в плазме, удерживаемой в тороидальных ловушках (Р. З. Сагдеев, А. А. Галсеев).

Р. З. Сагдеев



● Обнаружен аномальный распад плазмы при параметрическом воздействии излучения большой мощности на плазму (К. Ф. Сергейчев).

● Наблюдение нового нелинейного эффекта в сильном поле с помощью короткого лазерного импульса — увеличения прозрачности поглощающей среды для коротких интенсивных импульсов резонансного излучения (С. Мак-Колл, Э. Хан). Предсказан ими в 1965.

● Обнаружено параметрическое рассеяние света (С. А. Ахманов, Р. В. Хохлов, С. Харрис и др.).

● Открыта параметрическая люминесценция в нелинейных кристаллах, проявляющаяся в том, что квант рассеиваемого излучения частоты ω_0 распадается на два кванта с частота-

ми ω_1 и ω_2 , которые удовлетворяют соотношению $\omega_0 = \omega_1 + \omega_2$ (С. Харрис, С. А. Ахманов, Р. В. Хохлов и др.). Предсказана в 1961 У. Лунселлом и Э. Яривом.

● Наблюдение нелинейных узких резонансов на доплеровски-уширенном переходе (В. С. Летохов).

● Р. В. Хохлов высказал идею резонансного селективного воздействия мощного когерентного излучения на вещество и положил начало лазерной фотохимии.

● Измерение абсолютного значения частот оптического диапазона, что имело важное значение для повышения точности в определении c (А. Джаван).

1967—1969. Создание радиоголографии (СВЧ голографии). 1967. В СССР создана действующая экспериментальная установка с МГД-генератором.

● Предложено использовать цилиндрические магнитные домены («магнитные пузырьки») для создания устройств обработки и хранения информации в вычислительных машинах (Э. Бобек).

● Открыт фотопластический эффект (Ю. А. Осипьян, И. Б. Савченко).

● Ф. Андерсон, основываясь на представлениях о виртуальных связанных состояниях, предложил модель локальных моментов в металлах (модель Андерсона).

● Т. Ни и Р. Пранги развили квантовую теорию поверхностных электронных уровней — стационарных квантовых состояний электронов проводимости, возникающих вблизи поверхности металла под действием слабого постоянного магнитного поля.

● Развита теория рассеяния рентгеновских лучей кристаллами, учитывающая тепловые колебания атомов (Ю. М. Каган, А. М. Афанасьев).

● Обнаружена тонкая структура крыла линии Рэлея (И. Л. Фабелинский).

● Открыто явление фазовых переходов вещества в магнитном поле (А. А. Абрикосов, Н. Б. Брандт и др.).

1967—1968. Создан автономный микроскоп с атомным зондом (Э. Мюллер).

1967. Открыты пульсары, дающие достаточно мощное радиоизлучение (Э. Хьюиш). Впоследствии были открыты оптические и рентгеновские пульсары.

1968. Измерен аномальный магнитный момент мюона: $a_\mu = 0,001\,166\,16$ (Дж. Байлей и др.).

● Получены ультрахолодные нейтроны (Ф. Л. Шапиро). Выполнены (1970—1971) первые прямые наблюдения длительного хранения ультрахолодных нейтронов в ловушках.

● Р. Долен, Д. Хорн и К. Шмид выдвинули гипотезу дуальности.

● Г. Венециано в теории элементарных частиц построил математическую модель дуальной амплитуды рассеяния (дуальная резонансная модель Венециано).

● На установке «Токамак-4» зарегистрированы первые термоядерные нейтроны (Л. А. Арцимович).

● Л. А. Арцимович и Б. Б. Кадомцев провели исследования магнитного удержания плазмы, позволившие сделать вывод о том, что на основе токамака можно создать реактор термоядерного синтеза.

● Запущена термоядерная установка стеллараторного типа «Ураган-1» (В. Т. Толлок). В 1974 вступила в строй «Ураган-2», а в 1982 — «Ураган-3».

● В Гатчине вступил в строй синхротрон на энергию 1 ГэВ.

● Зафиксировано возникновение нейтронов от плазмы, полученной при воздействии луча

лазера на твердую мишень из дейтерида лития (Н. Г. Басов).

● Е. К. Завойский указал на возможность осуществления термоядерного синтеза с помощью релятивистских электронных пучков (независимо эту идею выдвинул также У. Х. Беннет).

● Получена лазерная генерация в области вакуумного ультрафиолета (А. Сведберг и др.).

● Экспериментальное наблюдение эффекта Капицы — Дирака — рассеяния электронов в поле интенсивной стоячей волны (И. Такеда, И. Матсуи).

● Предложен метод нелинейной флюоресценции (Н. Г. Басов, В. С. Летохов). Реализован в 1970 А. Джаваном.

● Экспериментальное наблюдение джозефсоновского плазменного резонанса (А. Дайем и др.).

● Обнаружен эффект оптической памяти (Ф. Чен и др.).

● Открыто явление оптической нутации (Дж. Хокер, Ч. Танг).

● Дж. Кларк проверил справедливость соотношения Джозефсона между частотой и напряжением: $2eV = \hbar\omega$.

● Получено прямое доказательство существования маг-

нитных доменов в неферромагнитных металлах (на примере серебра) (Дж. Кондон, Р. Вальстедт). Предсказано в 1966 Дж. Кондоном.

● Открыто явление возникновения рекомбинационных волн в полупроводниках. Предсказано в 1964 (О. В. Константинов, В. П. Перель, Б. В. Царенков, С. Г. Калашников).

● Открыто явление горячей фотолуминесценции кристаллов, заключающееся в том, что при поглощении ими света в процессе релаксации происходит вторичное свечение (К. К. Ребане).

● Обнаружены диамагнитные экситоны (Б. П. Захарченя).

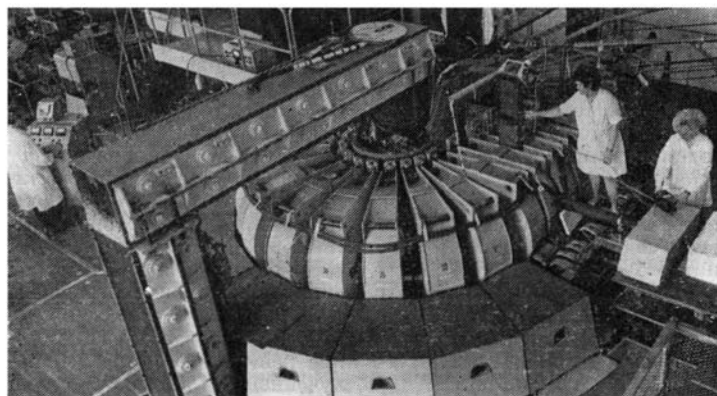
● Предсказана конденсация экситонов (Л. В. Келдыш). Экспериментально открыта в 1969 В. М. Асниным, В. С. Вавиловым, А. А. Рогачевым и др.

● Идентификация пульсаров с вращающимися нейтронными звездами (Т. Голд).

● Получено видимое изображение предметов, освещаемых инфракрасным излучением, с помощью преобразования частоты излучения методами нелинейной оптики (Дж. Мидвинтер, Дж. Уорнер).

1969. Р. Фейнманом разработана партонная модель нуклона.

Стелларатор «Ураган»-2



● Ю. Швингер выдвинул гипотезу дионов.

● Введены дуальные диаграммы (Х. Харари и др.).

● Экспериментально установлена масштабная инвариантность процессов сильного взаимодействия при высоких энергиях (А. А. Логунов, Ю. Д. Прокошкин, Э. Блум). Масштабная инвариантность, или скейлинг, предложена в 1967 независимо Дж. Бёркеном и Р. Фейнманом.

А. А. Логунов



● Установлена экспериментально закономерность изменения радиуса сильного взаимодействия протонов при высоких энергиях, заключающаяся в том, что радиус сильного взаимодействия протона с протоном при энергиях выше 10 ГэВ увеличивается при возрастании энергии (Г. Г. Безногих и др.). Предсказана в 1961 В. Н. Грибовым.

● Измерение магнитного момента позитрона: $a_{e^+} = 0,001160200$ (Дж. Гиллелэнд, А. Рич).

● Стал в строй ускоритель на встречных e^+e^- -пучках АДОНЕ (Фраскати) с энергией частиц 1,5 МэВ.

● Возникновение интегральной оптики (Э. Миллер).

● Созданы лазеры ультрафиолетового диапазона на сцинтилляторах (Р. В. Хохлов).

● Дж. Голдсборо получил лазерную генерацию в парах металлического кадмия. В 1975 создан лазер на парах металлов, генерирующий белый свет

(К. Фуджи, Т. Такахаши, У. Асами).

● Предложены химико-газодинамические лазеры, в которых сочетаются химические и газодинамические методы для лазерной накачки (А. С. Брюков, Б. Ф. Гордиец, Л. А. Шелепин).

● Наблюдение электромагнитного излучения из точечного контакта (В. Грегори и др.).

● Обнаружен гамма-магнитный резонанс (Л. Пфайфер и др.).

● Н. Мотт развил представления об электронной структуре жидких полупроводников.

● Введены примесоны, или волны флуктуации массы, и предсказана квантовая диффузия в квантовых кристаллах (И. М. Лифшиц, А. Ф. Андреев).

● Ю. В. Гуляев независимо от Дж. Блюстейна предсказал существование в пьезоэлектриках нового типа поверхностных акустических волн — чисто сдвиговых (волны Гуляева — Блюстейна).

1969—1970. Построена теория параметрических неустойчивостей в плазме (В. П. Силин и др.).

1969. Б. Тейлор, У. Паркер и Д. Лангенберг, используя нестационарный эффект Джоузефсона, с высокой степенью точности определили значение постоянной тонкой структуры ($\alpha^{-1} = 137,03608 \pm 0,00026$ с точностью $1,9 \cdot 10^{-6}$) и выполнили общий анализ фундаментальных физических постоянных, что дало возможность установить новую прецизионную систему единиц.

● Предсказана возможность существования экситонной сверхпроводимости (У. Литтл).

● Построены электромоторы со сверхпроводящими катушками мощностью 3 тыс. л. с., развивающие 200 об/мин (А. Эпплтон).

● Создан «лунный» лазер для лазерной локации Луны с начальной расходимостью пучка $1,4 \cdot 10^{-3}$ рад (У. Рундл). Лазерный сигнал с Земли направляли на три уголкового отражателя, доставленных на Луну космическими кораблями «Аполлон-11», «Аполлон-14» и «Аполлон-15». За четыре года было послано около 400 тыс. лазерных импульсов. При этом мгновенное расстояние до Луны измерялось с точностью 10—15 см. Оптическая локация Луны осуществлена в 1970 и в СССР.

● Осуществлена высадка человека на Луну. 21 июля космонавты корабля «Аполлон-11» Н. Армстронг и Э. Олдрин впервые ступили на лунный грунт.

1970. Ш. Глэшоу, Дж. Илиопулос и Л. Майяни модифицировали теорию Вайнберга — Салама, включив в нее очарованные кварки и показав, что их введение необходимо для устранения противоречий в калибровочной теории слабых взаимодействий. В рамках своей модели они предсказали существование легких очарованных частиц с массой порядка несколько ГэВ и вполне определенными свойствами слабых распадов.

И. Намбу



● И. Намбу и Л. Сасскайн для объяснения дуального характера амплитуды адрон-адронного рассеяния предложили модель струны.

● Обнаружена протонная радиоактивность (Дж. Черни).
● Экспериментально установ-

лено образование и распад ядер антигелия-3 (Ю. Д. Прокошкин и др.).

● А. Абрагам открыл ядерный антиферромагнетизм.

● Прямое измерение магнитного момента мюона: $\mu_{\mu}/\mu_p =$

$= 3,183373$ (В. Телегди и др.).

● Синтезирован 105-й элемент (Г. Н. Флеров и др.).

● В. П. Саранцев реализовал метод ускорения частиц с помощью электронных колец, предложенный В. И. Векслером.

● Осуществлен двойной оптический резонанс (Р. Брюэр).

● Наблюдение отдельных атомов при помощи сканирующего электронного микроскопа с высоким разрешением (А. Крю и др.).

● Впервые с помощью растрового электронного микроскопа сфотографированы отдельные атомы урана и тория (А. Грэве). В 1976 он заснял движение атомов урана, находящихся на поверхности графита.

● Предсказаны резонансы двухфотонного поглощения — узкие двухфотонные резонансы (В. П. Чеботаев).

● Обнаружен поперечный акусто-электрический эффект — появление разности потенциалов в полупроводнике в направлении, перпендикулярном к распространению поверхностных акустических волн (Ю. В. Гуляев и др.).

● Открыто явление электроакустического эха в пьезоэлектриках (С. Н. Попов и др.).

● Обнаружен в полупроводниках эффект увлечения электронов фотонами (С. М. Рывкин).

● Запущен первый эксимерный лазер (Н. Г. Басов, М. М. Попов и др.). Идею об использовании связанно-свободных переходов эксимеров в качестве активной среды для лазера высказал в 1960 Ф. Хоутерманс.

● Обнаружена термодинамически устойчивая доменная

структура в антиферромагнетиках (В. Г. Барьяхтар, А. А. Галкин, В. В. Еременко и др.).

● Открыт новый магнитооптический эффект — «просветление» антиферромагнитных кристаллов в сильных магнитных полях (В. В. Еременко).

1970—1972. Найдено общее космологическое решение уравнений Эйнштейна (Е. М. Лифшиц, И. М. Халатников, В. А. Белинский).

1970. Открыто явление возникновения электродвижущей силы и асимметрии электропроводности в однородном изотропном полупроводнике (Ю. К. Пожела и др.).

1971. Открыт антиомега-гиперон $\bar{\Omega}^-$ (А. Файстоун и др.).

● Г. 'тХоофт дал первое доказательство перенормируемости спонтанно нарушенной неабелевой калибровочной теории. В 1972 это доказательство завершено 'тХоофтом, М. Велтманом, Б. Ли и Ж. Зинн-Жюстеном.

● Экспериментально установлена закономерность в энергетической зависимости полных сечений сильных взаимодействий — серпуховский эффект (Ю. Д. Прокошкин и др.).

● Установлено явление образования мюонного свободного атома (В. Г. Кириллов-Угрюмов и др.).

● Открыто явление запаздывающего деления атомных ядер (Г. Н. Флеров).

Фотография столкновений рр-пучков на установке в ЦЕРНе



● В ЦЕРНе вступил в строй ускоритель ISR на встречных протон-протонных пучках на энергию 31 ГэВ.

● Ш. Д. Какичавили экспериментально обнаружено явление воспроизведения картины электромагнитного поля, теоретически обоснованного им же в 1973. Лежит в основе поляризационной голографии.

● Создан лазер на сжатом газе (Н. Г. Басов).

● Обнаружена трехфотонная ионизация от лазера (Р. Фокс).

● Прямое измерение времени жизни оптических фотонов в конденсированных средах (10^{-12} — 10^{-11} с) (Р. Алфано).

● К. Вильсон применил к исследованию критических явлений в статистической физике метод ренормализационной группы и построил (1972) их теорию.

К. Вильсон



● Открыт эффект необратимого индуцирования новых магнитных состояний сильным магнитным полем (А. А. Галкин, Э. А. Завадский).

● Открыта доменная структура у антиферромагнетиков (К. Л. Дудко и др.).

● В. Б. Брагинский проверил принцип эквивалентности с точностью до 10^{-12} .

● Открыто явление образования в открытом океане перемещающихся синоптических вихрей (Л. М. Бреховских).

● В СССР создан термоэмиссионный реактор-преобразователь «Топаз».

● Создание новых источников когерентного излучения миллиметровых и субмиллиметровых диапазонов — генераторов дифракционного излучения (В. П. Шестопалов и др.).

1972. В Батавии вступил в строй протонный синхротрон на 200 ГэВ (Р. Р. Вильсон). В 1976 энергия ускоряемых протонов была повышена до 500 ГэВ.

Р. Р. Вильсон



● В Станфорде вступил в строй ускоритель СПИР на встречных электрон-позитронных пучках с энергией каждого 1,2 — 2,6 ГэВ (в 1974 энергия поднята до 4,5 ГэВ).

● У. Бардин, М. Гелл-Манн и Х. Фритч предложили модель адронов, основанную на трех триплетах кварков с дробными электрическими зарядами.

1972—1974. Попытки построения теорий, объединяющих слабые, электромагнитные и сильные взаимодействия (Дж. Пати, А. Салам, Г. Джорджи, Ш. Глэшоу).

● Введена концепция суперсимметрии (Д. В. Волков, Б. Зумпно, Ю. Весс и др.).

1972. Обнаружена квантовая диффузия в квантовых кристаллах (В. Н. Григорьев,

Б. Н. Есельсон, В. А. Михеев).

● Открыто явление обращения волнового фронта света (Б. Я. Зельдович и др.).

● Экспериментально осуществлено умножение частоты в области вакуумного ультрафиолета.

● Проведены радиолокационные измерения смещения перигелия Меркурия (И. Шапиро и др.). Полученный результат согласуется с общей теорией относительности.

● Открыты в жидком гелии III два фазовых перехода: А-переход при 2,6 мК и В-переход при 1,8 мК (явление сверхтекучести гелия III) (Д. Ошеров, Р. Ричардсон, Д. Ли).

● При давлении 1 Мбар осуществлен переход алмаза, кремнезема и других веществ из диэлектрического состояния в металлическое (Е. Н. Яковлев и др.).

1973. Открыты нейтральные токи (Ф. Хазерт и др.). Наблюдались в нейтринном эксперименте на ускорителе в ЦЕРНе в реакции, в которой мюонное нейтрино, рассеиваясь на протоне или нейтроне, рождает адроны с суммарным зарядом, равным заряду начального адрона: $\nu_\mu + p(n) \rightarrow \nu_\mu + \text{адроны}$. Исследования этих процессов показали, что они обусловлены слабым взаимодействием между нейтральными токами мюонных нейтрино и адронов. Нейтральные токи предсказывались в 1937 Дж. Гамовым, Э. Теллером, Н. Кеммером и Г. Вентцелем и в 1958 С. Бладменом и Дж. Лейте-Лопесом.

● Обнаружены димюонные события — события с двумя мюонами и нейтрино в конечном состоянии, возникающие при взаимодействии мюонного нейтрино с нейтроном (ФНАЛ). Наблюдение упругого рассеяния мюонного антинейтрино на электроны в камере Гар-

гамель: $\bar{\nu}_{\mu} + e^{-} \rightarrow \nu_{\mu} + e^{-}$

(Ф. Хазерт и др.).

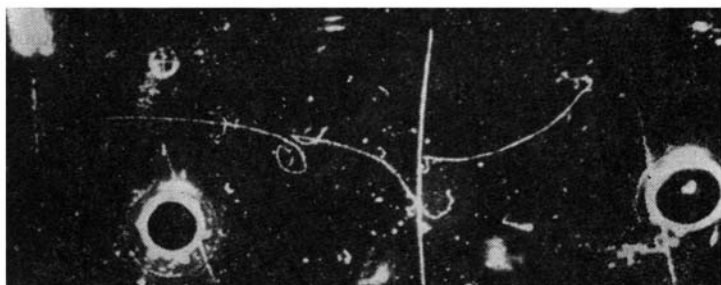
● Зарегистрирован распад нейтрального каона на мюонную пару (У. Каризерс).

● Х. Политцер, Д. Гросс и Ф. Вильчек установили, что в неабелевых калибровочных теориях Янга — Миллса интенсивность взаимодействия уменьшается с ростом энергии (свойство асимптотической свободы), и указали на важную

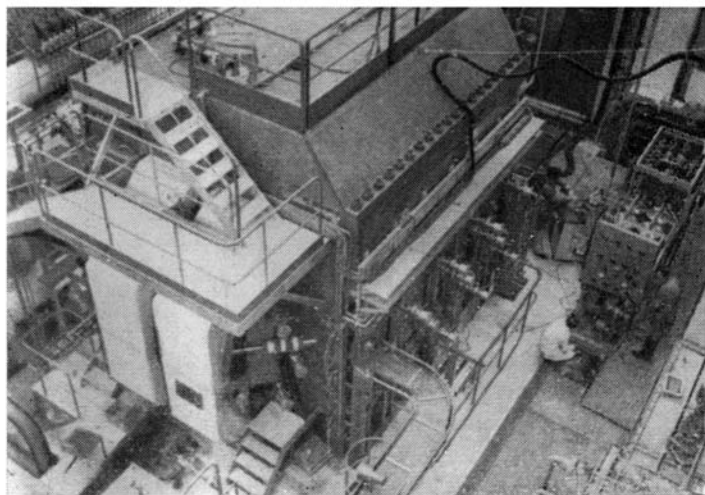
роль этого свойства для объяснения характера сильных взаимодействий. Впервые исследование, показавшее свойство асимптотической свободы теории Янга — Миллса, было выполнено в 1969 И. Б. Хриповичем.

● Предложена микроскопическая теория сильных взаимодействий (квантовая хромодинамика): неабелева калибровочная теория поля с калибровочной (цветной) группой симметрии $SU_c(3)$. Выдвинута концепция ненаблюдаемости цветных частиц, согласно ко-

Фотография, на которой зарегистрированы нейтральные токи



Камера «Гаргамель», в которой были зарегистрированы нейтральные токи



торой адроны являются бесцветными, т. е. синглетными по отношению к группе $SU_c(3)$, связанными состояниями кварков, антикварков и калибровочных бозонов (глюонов) (М. Гелл-Манн, Х. Фритч; Д. Гросс, Ф. Вильчек; С. Вайнберг).

● М. Кобаяши и Т. Маскава предложили шестикварковую модель адронов, введя шестой t -кварк.

● Обнаружен космический дейтерий (А. Пензиас, Р. В. Вильсон).

1973—1974. Созданы лазеры на парах красителей (Н. А. Борисевич, Н. Г. Басов).

1973. Создан первый релятивистский высокочастотный генератор с КПД более 10 % и мощностью в несколько сотен мегаватт в диапазоне волн около 3 см — лампа с обратной

волной (ЛОВ). Положено начало релятивистской электронике (А. В. Гапонов-Грехов и др.).

● Показано с точностью до $3,5 \cdot 10^{-9}$, что c является константой (Р. Бергер и др.).

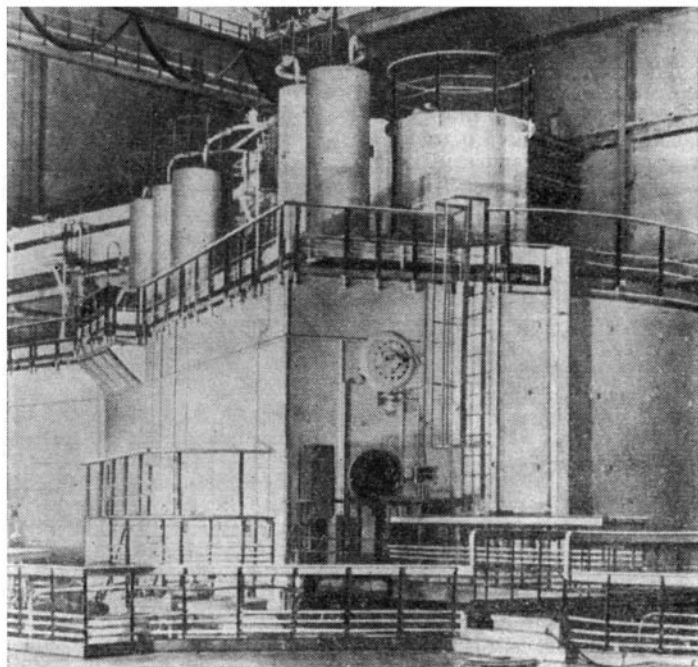
● Дж. Гавалер получил интерметаллическое соединение Nb_3Ge , обладающее рекордно высокой температурой сверхпроводящего перехода $T_{кр} = 22,3$ К.

1973—1976. А. С. Давыдов развил теорию солитонов, на основе которой построил модель мышечного сокращения.

1973. В СССР, в г. Шевченко, осуществлен энергетический пуск опытной промышленной АЭС с реактором БН-350 на быстрых нейтронах и опреснительной установкой.

● В СССР на комбинированном соленоиде получено стационарное магнитное поле напряженностью ~ 250 тыс. Э.

Реактор БН-350
Шевченковской АЭС



1974 (ноябрь). Обнаружены пси-частицы J/ψ — новые частицы с массой $\sim 3,1$ ГэВ и временем жизни $\sim 10^{-20}$ с (Б. Рихтер, С. Тинг). Открыты в процессах аннигиляции электрон-позитронных пар в адроны на установке СПИР и процессах рождения электрон-позитронных пар при столкновении протонов с ядрами бериллия на Брукхейвенском ускорителе. J/ψ распадается на

Б. Рихтер



пары e^+e^- или $\mu^+\mu^-$. Вскоре переоткрыты на установках АДОНЕ (Фраскати) и ДОРИС (Гамбург). В том же ноябре на

Опреснительный комплекс при Шевченковской АЭС

СПИРе нашли еще одну частицу такого же типа с массой 3,7 ГэВ, которую обозначили ψ' . Открытие пси-частиц подтвердило гипотезу чарма (или с-кварка). Интерпретируются как мезоны со скрытым очарованием, т. е. $\psi = (cc)$.

● Синтезированы ядра анти-трития.

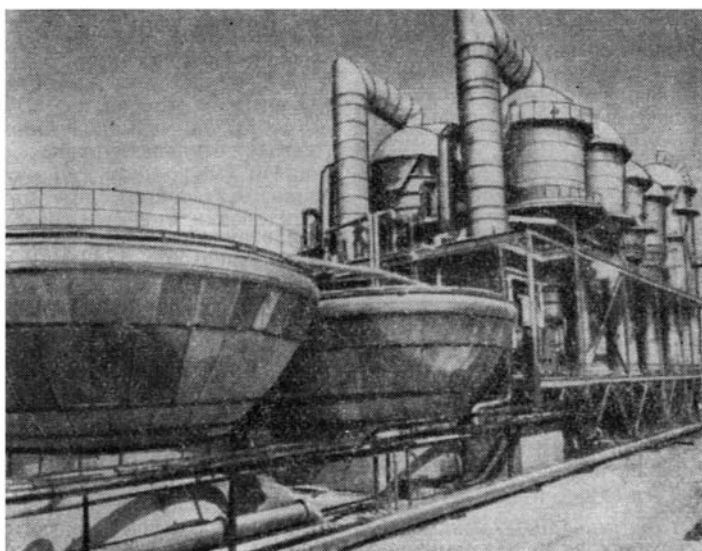
● Синтезирован изотоп 106-го элемента с массовым числом

С. Тинг



259 и периодом полураспада ~ 7 мс при облучении свинца ускоренными ионами $^{54}_{24}\text{Cr}$ (Г. Н. Флеров с сотр.).

● А. М. Балдин предсказал и обнаружил кумулятивный



эффект при столкновении релятивистских ядер.

● Получены первые экспериментальные результаты по электронному охлаждению протонов, подтвердившие правильность основных теоретических представлений метода электронного охлаждения, предложенного Г. И. Будкером в 1966 (Г. И. Будкер, А. Н. Скринский и др.).

● Созданы лазеры на центрах окраски (Л. Молленауэр). Идею использования кристаллов с центрами окраски в лазерах выдвинули в 1961 Д. Мергерян и Ж. Маркхем.

● Выполнены первые экспериментальные наблюдения узких двухфотонных резонансов, предсказанных в 1970 В. П. Чеботаевым, чем положено начало методу двухфотонной спектроскопии без доплеровского уширения (Н. Бломберген, А. Шавлов).

● С. Хокинг предсказал явление квантового рождения частиц в черных дырах (эффект Хокинга).

1974—1975. Выполнены измерения гравитационного отклонения радиоволн Солнцем. Среднее гравитационное отклонение составило $1,007 \pm 0,009$ значения, предсказываемого общей теорией относительности (Э. Фомалонт, Р. Срамек). 1975. Открыт очарованный барион Λ_c^+ (Э. Казолли и др.).

Было найдено, что масса Λ_c^+ равна 2254 ± 12 МэВ и рождение и распад осуществляются по схемам:

$$\nu_\mu + n \rightarrow \mu^+ + \Lambda_c^+;$$

$$\Lambda_c^+ \rightarrow p + \bar{K}^0 + \pi^+ + \pi^-.$$

● Предложена модель чармония — системы адронов, состоящей из связанных состояний c -кварка и соответствующего антикварка $\bar{c}$, взаимодействующих за счет хромодина-

мических сил (Т. Appelquist, X. Politzer, Ш. Глэшоу, А. де Рухула). В рамках модели предсказано, что, кроме J/ψ - и ψ' -частиц, должны существовать еще очарованные D - и F -мезоны. Обнаружены экспериментально соответственно в 1976 и 1977.

● В опытах со встречными e^+e^- -пучками накопителя СПИР получены первые доказательства существования тяжелого лептона — τ -лептона (М. Перл). τ -лептоны рождались в реакции аннигиляции $e^+ + e^- \rightarrow \tau^+ + \tau^-$, сопровождающейся последующими распадами:

$$\tau^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\tau + \nu_e;$$

$$\tau^- \rightarrow \mu^- + \nu_\tau + \bar{\nu}_\mu.$$

Окончательные данные, свидетельствующие об открытии τ -лептона, получены в 1977—1978, когда удалось зарегистрировать множество электрон-одноадронных событий, связанных с существованием τ -лептона (Р. Бранделик, Дж. Кирби и др.):

$$\begin{array}{ccccc} e^+ + e^- & \rightarrow & \tau^+ & + & \tau^- \\ & & \downarrow & & \downarrow \\ & & e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\tau & \text{адроны} & + \nu_\tau. \end{array}$$

При этом получены значения массы τ -лептона: 1782 МэВ и 1807 ± 20 МэВ.

● Открытие лептонных нейтрино ν_τ и антинейтрино $\bar{\nu}_\tau$.

● Х. Харари предложил новую модель спектра адронов, согласно которой адроны построены из 6 кварков — обычного $SU(3)$ -триплета кварков и нового $SU(3)$ -антитриплета тяжелых кварков с новым квантовым числом «тяжесть», равным ± 1 .

● В Гамбурге вступил в строй ускоритель на встречных электрон-позитронных пучках ДОРИС с энергией 3,6 ГэВ.

● Открыты адронные струи в e^+e^- -аннигиляции — узкие пучки адронов, возникающие при фрагментации кварков в процессе $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ (Г. Хансон и др.), что служит косвенным подтверждением существования кварков.

● Обнаружен каскадный распад пси-частицы.

1975—1976. Осуществлена генерация когерентного оптического излучения с помощью релятивистского электронного пучка (Станфорд).

● Наблюдение квантовомеханического сдвига фазы волновой функции нейтрона, что явилось первым подтверждением принципа эквивалентности на квантовом уровне (А. Оверхаузер и др.).

1975. Высказана идея радиационного охлаждения атомных частиц (А. Шавлов и др.).

● И. Е. Дзялошинский развил теорию фазовых переходов I рода в магнетиках.

● Наблюдение многофотонного фотоэффекта (Н. Бломберген и др.).

● Создан первый сверхпроводящий полимер (Р. Грин и др.). Обнаружено, что кристаллический полимерный нитрид серы при температуре ниже 0,26 К переходит в сверхпроводящее состояние.

● Получены первые указания на осуществление перехода водорода в металлическое состояние (Л. Ф. Верещагин, Е. Н. Яковлев).

● Вступили в строй термоядерные установки нового поколения «Токамак-10» и PLT. 1976. Обнаружен очарованный антибарион $\bar{\Lambda}_c^-$ (Б. Кнепп и др.).

● Открыты в процессах e^+e^- -аннигиляции очарованные D -

мезоны (Г. Гольдхабер и др.). Распадаются по схемам:

$$D^0 \rightarrow K^-\pi^+; \bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-;$$

$$D^0 \rightarrow K^-\pi^+\pi^+\pi^-;$$

$$\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^-\pi^+;$$

$$D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+;$$

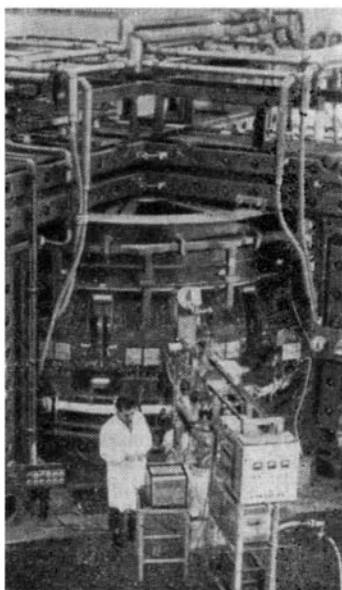
$$D^- \rightarrow K^+\pi^-\pi^-.$$

Массы D^0 и $\bar{D}^0$ равнялись 1865 ± 15 МэВ, D^+ и D^- — 1876 ± 15 МэВ. Экспериментальное обнаружение D -мезонов послужило доказательством правильности теоретических представлений о структуре адронов и их слабых и сильных взаимодействий, развитых в последнее десятилетие.

● Наблюдение упругого рассеяния нейтрино на протоне (Д. Клайн и др.).

● Наблюдение νe -рассеяния в ядерном реакторе (Ф. Рейнес и др.).

«Токамак-10»



● М. Шварц при распаде долгоживущего K_L^0 -мезона: $K_L^0 \rightarrow \pi \mu \nu$ обнаружил пионий — связанное состояние ($\pi\mu$).

● Проведено первое прямое измерение скорости нейтрино, образующихся при бомбардировке мишени протонами высоких энергий (400 ГэВ). С точностью до 0,05 % показано, что скорость нейтрино равна скорости света в вакууме.

● Э. Буроп осуществил опыт, впервые позволивший «увидеть» распад очарованной частицы в эмульсии и измерить ее время жизни.

● Синтезирован изотоп 107-го элемента с массовым числом 261 при облучении $^{209}_{83}\text{Bi}$ ускоренными ионами $^{54}_{24}\text{Cr}$ (Г. Н. Флеров с сотр.).

● Вступил в строй протонный синхротрон SPS на 400 ГэВ (ЦЕРН).

● Проверка принципа эквивалентности путем лазерной локации Луны (Р. Дикке и др.).

● Выполнено уточнение возраста Вселенной. Дж. Браун и Б. Берман методом, основанным на радиоактивном распаде ядер $^{187}_{75}\text{Re}$ в стабильные ядра $^{187}_{76}\text{Os}$, определили время, прошедшее с момента образования во Вселенной тяжелых ядер ($\sim 18 \cdot 10^9$ лет). Если учесть, что между Большим взрывом, в результате которого возникла Вселенная, и началом ядерного синтеза существовал переход, как считают, в $2 \cdot 10^9$ лет, то полный возраст Вселенной составит $20 \cdot 10^9$ лет (долгое время возраст Вселенной полагали равным $10 \cdot 10^9$ лет, исходя из радиоактивного распада уран — торий).

● Выполнены первые работы по супергравитации (Д. В. Волков, Б. Зумино и др.).

1977. Открыта ипсилон-частица, или Υ -мезон массой 9,5 ГэВ (Л. Ледерман). Распадается по схеме

$$\Upsilon \rightarrow \mu^+ + \mu^-.$$

По аналогии с ψ -мезонами была интерпретирована как связанное состояние нового 5-го типа кварка b и его антикварка $\bar{b}$, т. е. $\Upsilon = (b\bar{b})$. Масса b -кварка составляет 4730 МэВ, ему приписано новое квантовое число — красота, или прелесть, равное 1. Таким образом, Υ -мезон привел к введению нового типа кварка и положил начало семейству так называемых прелестных частиц, включающих b -кварки.

Л. Ледерман



● Открыты на ДОРИСе F - и F^* -мезоны ($c\bar{s}$). Подтверждены в том же году в опытах на СПИРе.

● В. Вайскопф, Р. Джаффе и др. построили модель кваркового мешка, имеющую много общего с моделью квазинезависимых кварков Боголюбова.

● Получены указания на существование дибарионных резонансов (И. Ауэр и др.).

● Открыто нарушение пространственной четности при делении ядер поляризованными нейтронами (Г. В. Данилян и др.). Предположение о нарушении четности при делении ядер впервые высказали в 1961 В. В. Владимирский и В. Н. Андреев.

● На «Токамаке-10» получена плазма с плотностью $n \sim 8 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$, ионной температурой $\sim (60-80) \cdot 10^6 \text{ К}$ и энергетическим временем жизни 0,04—0,06 с, т. е. с $n\tau \approx 2 \times 10^{12} \dots 7 \cdot 10^{12}$, или на два по-

рядка меньше необходимой величины (для получения положительного физического выхода энергии термоядерной реакции в смеси дейтерия с тритием n_t должно быть больше 10^{14}).

- Обнаружено взаимодействие двух параллельных пучков света, проходящих через пары натрия (Э. Тэм, У. Хаппер). Обусловлено рассеянием света на свете благодаря поляризованным по спину атомам натрия.

- Превращение полупроводника путем его всестороннего сжатия в металл (Н. Б. Брандт). 1978. Наблюдение несохранения четности в атомах и слабого взаимодействия электронов с нуклонами, обусловленного нейтральными токами (Л. М. Барков, М. С. Золотарев).

- Определение времени жизни Ω^- -гиперона — $(0,82 \pm \pm 0,06) \cdot 10^{-10}$ с (впервые было оценено в 1964).

- В лаборатории ДЭЗИ вступил в строй ускоритель ПЕТРА на встречных e^+e^- -пучках с энергией частиц 19 ГэВ.

- В Дубне запущен изохронный циклотрон У-400, ускоряющий тяжелые ионы (в 1960 был запущен циклотрон У-300).

- Встал в строй «Токамак-7» — первый токамак со сверхпроводящими обмотками тороидального поля.

- Обнаружен сверхдиамагнетизм (Н. Б. Брандт).

- Х. Мёллер предложил обобщение теории гравитации Эйнштейна, основанное на тетрадном описании гравитационного поля (тетрадная теория гравитации).

- Запущен сцинтиляционный телескоп (А. Е. Чудаков). Начал разрабатывать в 1963.

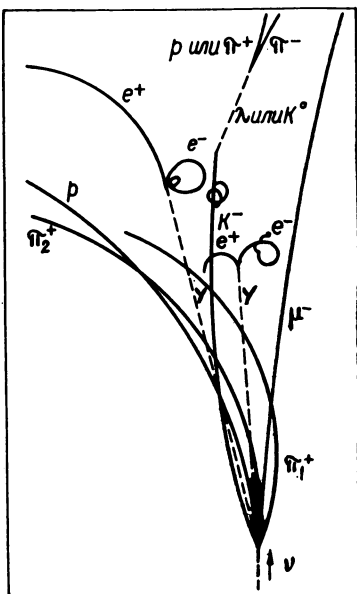
1979. Открыты глюонные струи в e^+e^- -аннигиляции на установке ПЕТРА, возникающие в результате адронной фрагментации глюонов в процессах $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}q$ и $\gamma \rightarrow 3g$ (К. Бер-

гер, Т. Ньюман, Г. Вольф). Тем самым получено косвенное подтверждение существования глюонов — переносчиков сильного взаимодействия между кварками.

- Открыт очарованный η_c -мезон с массой 2,98 ГэВ, представляющий основное состояние парачармония (Станфорд).

- Исследована электромаг-

Схема рождения и распада очарованного сигма-бариона



нитная структура K^0 -мезона, получены данные о его среднеквадратичном зарядовом радиусе: $R^2 = - (0,054 \pm \pm 0,026) \cdot 10^{-26}$ см. Предположение о существовании у K^0 -мезона сложной зарядовой структуры впервые высказал в 1958 Дж. Фейнберг.

- Получена нижняя оценка времени жизни протона — более 10^{30} лет (Ф. Рейнес и др.).

- Открыта запаздывающая двухнейтронная активность ядер (наблюдалось запазды-

вающее испускание пары нейтронов ядром изотопа ${}^6_3\text{Li}$ (Р. Азума и др.).

● Обнаружены в галактическом космическом излучении антипротоны с энергией порядка нескольких ГэВ (Э. А. Богомолов и др.).

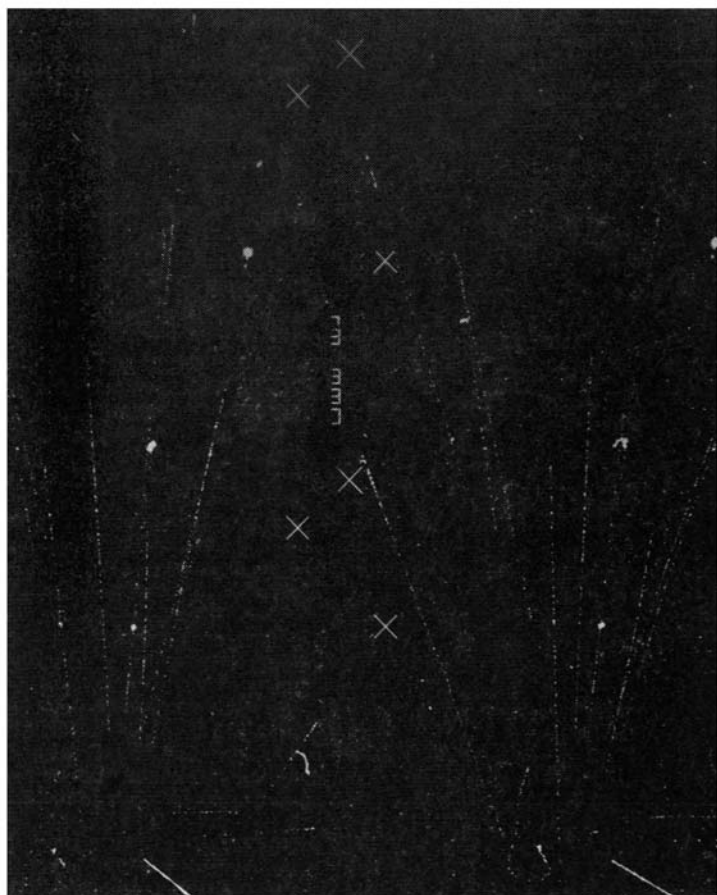
● Наблюдение оптико-акустического переходного излучения (Ф. В. Бункин).

1980. Появились экспериментальные указания на наличие

у электронного нейтрино отличной от нуля массы покоя. Из анализа формы β -спектра грития получены следующие ограничения на массу: $14 \text{ эВ} < m_{\nu_e} < 46 \text{ эВ}$ (В. А. Любимов, Е. Г. Новиков, В. З. Нозик, Е. Ф. Третьяков, В. С. Козик).

● Обнаружен очарованный барион Σ_c^+ в реакции $\nu_\mu + p \rightarrow \mu^- + \Sigma_c^+ + \pi^+$. Масса его $(2457 \pm 4) \text{ МэВ}$, очарование равно единице. Распадается по схеме:

*Одна из первых фотографий
pp-столкновений*



$$\Sigma_c^+ \rightarrow \Lambda_c^+ + \pi^0;$$

$$\Lambda_c^+ \rightarrow K^- + p + \pi^+,$$

где Λ_c^+ — другой очарованный барион.

● Обнаружены гиперъядра, содержащие Σ^0 -гипероны ($^{10}_{\Sigma^0}\text{Be}$). Предсказаны в 1969 Р. Далитцем.

● Открыта трехнейтронная активность ядер ^3Li .

● Обнаружены связанные состояния нейтронов в веществе (К. Штейнхаузер, А. Штайерл). Предсказаны в 1970 Ю. М. Каганом.

● Обнаружен эффект ускорения тепловых нейтронов в результате их столкновения с долгоживущими возбужденными ядрами-изомерами (И. А. Кондуров, Е. М. Коротких, Ю. В. Петров).

● Открытие квантования холловского сопротивления в двумерных электронных системах (квантовый эффект Холла).

● Создан органический сверхпроводник $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$ ($p_{\text{кр}} = 12$ кбар; $T_{\text{кр}} = 0,9 - 1,0$ К).

1981. Получены первые данные о существовании Λ_b бариона.

● Обнаружен переход между различными состояниями в семействе Υ -мезонов. Наблюдается распад Υ^1 -мезона: $\Upsilon^1 \rightarrow \Upsilon + \pi^+ + \pi^-$ с вероятностью $20 \pm 7\%$ и с последую-

щим распадом $\Upsilon \rightarrow e^+ + e^-$ (Л. Ледерман и др.).

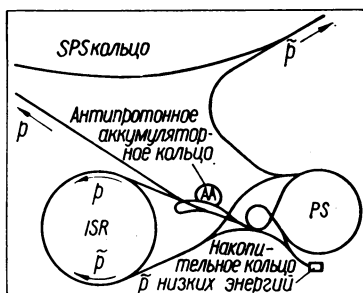
● На СПИРе наблюдали новый распад тяжелого лептона:

$$\tau \rightarrow K^{*-} + \nu_\tau.$$

● Наблюдение вынужденного комбинационного рассеяния звука в антиферромагнетике (Ю. А. Лебедев, В. И. Ожогин, А. Ю. Якубовский).

1982. В ЦЕРНе вступил в строй первый ускоритель со встречными протон-антипротонными пучками с энергией частиц 270 ГэВ.

Схема установки ЦЕРНа с встречными $p\bar{p}$ -пучками



● Обнаружена двухпротонная радиоактивность.

1983. Открытие заряженных $W^\pm$ и нейтрального Z^0 промежуточных векторных бозонов (К. Руббиа и др.). Экспериментальные значения масс этих бозонов находятся в полном согласии с предсказаниями теории Вайнберга — Салама.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
К РАЗДЕЛУ
«ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ
В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ»

1. Маркс К. Экономическая рукопись 1861—1863 годов.— Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 47, с. 3—612.
2. Энгельс Ф. Диалектика природы — Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 20. с. 339—626.
3. Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм.— Полн. собр. соч., т. 18, с. 7—384.
4. Ленин В. И. Философские тетради.— Полн. собр. соч., т. 29, с. 1—782.
5. Александров А. П. Научно-технический прогресс и энергетика.— В кн.: Советская наука.— М.: Наука, 1982, с. 23—42.
6. Ахієзер О. І. Еволюція фізичної картини світу.— К.: Наук. думка, 1973.— 92 с.
7. Бардин Дж., Шриффер Дж. Новое в изучении сверхпроводимости.— М.: Физматгиз, 1962.— 171 с.
8. Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики.— М.: Наука, 1966.— 160 с.
9. Борн М. Эйнштейновская теория относительности.— 2-е изд.— М.: Мир, 1972.— 368 с.
10. Бройль Л. де. Революция в физике.— 2-е изд.— М.: Атомиздат, 1965.— 231 с.
11. Вавилов С. И. Ленин и современная физика.— 2-е изд.— М.: Наука, 1977.— 72 с.
12. Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии.— М.: Атомиздат, 1977.— 270 с.
13. Гельфер Я. М. История и методология термодинамики и статистической физики.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. шк., 1981.— 536 с.
14. Гинзбург В. Л. Как и кто создал теорию относительности.— Вопр. философии, 1974, № 8, с. 125—140.
15. Дайсон Ф. Будущее физики.— Успехи физ. наук (УФН), 1971, т. 103, с. 529—538.
16. Джорджи Г. Единая теория элементарных частиц и сил.— УФН, 1982, т. 136, с. 287—316.
17. Дирак П. Эволюция физической картины природы.— В кн.: Элементарные частицы. М.: Наука, 1965, с. 123—139.
18. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII в.— М.: Наука, 1974.— 352 с.
19. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX в.— М.: Наука, 1979.— 316 с.
20. Дунская И. М. Возникновение квантовой электроники.— М.: Наука, 1974.— 160 с.
21. Иоффе А. Ф. Физика.— В кн.: БСЭ. 2-е изд., 1956, т. 45, с. 7—16.
22. История механики с древнейших времен до конца XVIII в.— М.: Наука, 1971.— 298 с.
23. История механики с конца XVIII до середины XX в.— М.: Наука, 1972.— 414 с.
24. Каганов М. И., Френкель В. Я. Вехи истории физики твердого тела.— М.: Знание, 1981.— 64 с.

25. Кудрявцев П. С. История физики.— М. : Учпедгиз, 1956—1971.— 1—3.
26. Кузнецов Б. Г. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна.— 2-е изд.— М. : Наука, 1966.— 518 с.
27. Кун Т. Структура научных революций.— М. : Мир, 1977.— 288 с.
28. Лауэ М. История физики.— М. : Гостехиздат, 1956.— 230 с.
29. Ленинское философское наследие и современная физика.— М. : Наука, 1981.— 574 с.
30. Липсон Г. Великие эксперименты в физике.— М. : Мир, 1972.— 216 с.
31. Льюис М. История физики.— М. : Мир, 1970.— 464 с.
32. Марков М. А. Будущее науки.— УФН, 1973, т. 111, с. 719—742.
33. На пути к единой теории поля.— М. : Знание, 1980.— 64 с.
34. Окунь Л. Б. Современное состояние и перспективы физики высоких энергий.— УФН, 1981, т. 134, с. 3—44.
35. Основатели кинетической теории материи.— М.; Л. : ОНТИ, 1937.— 220 с.
36. Очерки развития основных физических идей.— М. : Изд-во АН СССР, 1959.— 512 с.
37. Планк М. Единство физической картины мира.— М. : Наука, 1966.— 288 с.
38. Прохоров А. М. Физика.— В кн.: БСЭ. 3-е изд., 1977, т. 27, с. 997—1030.
39. Пуанкаре А. Эволюция современной физики.— Спб., 1910.— 183 с.
40. Содди Ф. История атомной энергии.— М. : Атомиздат, 1979.— 285 с.
41. Спасский Б. И. История физики.— 2-е изд.— М. : Высш. шк., 1977.— Ч. 1—2.
42. Старосельская-Никитина О. А. История радиоактивности и возникновения ядерной физики.— М. : Изд-во АН СССР, 1963.— 428 с.
43. Тамм И. Е. Собрание научных трудов.— М. : Наука, 1975.— Т. 2. 488 с.
44. Тригг Дж. Решающие эксперименты в современной физике.— М. : Мир, 1974.— 160 с.
45. Фок В. А. Квантовая физика и философские проблемы.— М., 1970.— 26 с.
46. Френкель Я. И. На заре новой физики.— Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1970.— 384 с.
47. Храмов Ю. А. Физики : Биограф. справ.— 2-е изд.— М. : Наука, 1983.— 400 с.
48. Хунд Ф. История квантовой теории.— К. : Наук. думка, 1980.— 244 с.
49. Чудинов Э. М. Теория относительности и философия.— М. : Политиздат, 1974.— 304 с.
50. Эйнштейн А. Собрание научных трудов: В 4-х т.— М. : Наука, 1966.— Т. 2. 878 с.
51. Эйнштейн А. Собрание научных трудов: В 4-х т.— М. : Наука, 1967.— Т. 4. 600 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К РАЗДЕЛУ «ХРОНОЛОГИЯ»

1. Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов.— М. : Мир, 1972—1973.— Т. 1—2.
2. Абрагам А. Ядерный магнетизм.— М. : Изд-во иностр. лит., 1963.— 551 с.
3. Абрикосов А. А. Академик Л. Д. Ландау.— М. : Наука, 1965.— 48 с.
4. Айзенбуд М., Вигнер Е. Структура ядра.— М. : Изд-во иностр. лит., 1959.— 178 с.
5. Арцимович Л. А. Избранные труды.— М. : Наука, 1978.— 302 с.
6. Астон Ф. В. Масс-спектрометры и изотопы.— М. : Изд-во иностр. лит., 1948.— 299 с.
7. Атомная наука и техника в СССР.— М. : Атомиздат, 1977.— 360 с.
8. Багбая И. К истории дифракционной решетки.— Успехи физ. наук (УФН), 1972, т. 108, с. 335—337.
9. Бардин Дж., Шриффер Дж. Новое в изучении сверхпроводимости.— М. : Физматгиз, 1962.— 171 с.
10. Белый Ю. А. Иоганн Кеплер.— М. : Наука, 1971.— 295 с.
11. Белькинд Л. Д. Андре-Мари Ампер.— М. : Наука, 1968.— 278 с.
12. Белькинд Л. Д. Томас Альва Эдисон.— М. : Наука, 1964.— 327 с.
13. Бете Г., Зоммерфельд А. Электронная теория металлов.— М. : Гостехиздат, 1938.— 316 с.
14. Бишоп А. Проект Шервуд.— М. : Госатомиздат, 1960.— 176 с.
15. Блатт Дж., Вайскопф В. Теоретическая ядерная физика.— М. : Изд-во иностр. лит., 1954.— 658 с.
16. Бломбергген Н. Нелинейная оптика.— М. : Мир, 1966.— 424 с.
17. Бломбергген Н. Нелинейная оптика и спектроскопия.— УФН, 1982, т. 138, с. 185—203.
18. Блохинцев Д. И. Принципиальные вопросы квантовой механики.— М. : Наука, 1966.— 160 с.
19. Боголюбов Н. Н., Толмачев В. В., Ширков Д. В. Новый метод в теории сверхпроводимости.— М. : Изд-во АН СССР, 1958.— 128 с.
20. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантовых полей.— 3-е изд., перераб.— М. : Наука, 1976.— 479 с.
21. Бозорт Р. Ферромагнетизм.— М. : Изд-во иностр. лит., 1956.— 784 с.
22. Больцман Л. Лекции по теории газов.— М. : Гостехиздат, 1956.— 554 с.
23. Больцман Л. Статьи и речи.— М. : Наука, 1970.— 406 с.
24. Бор Н. Избранные научные труды.— М. : Наука, 1970—1971.— Т. 1—2.

25. Бор Н. Сольвеевские конгрессы и развитие квантовой физики.— УФН, 1967, т. 91, с. 737—753.
26. Борк А. Физика перед возникновением специальной теории относительности.— УФН, 1968, т. 94, с. 167—180.
27. Борн М. Атомная физика.— 3-е изд.— М.: Мир, 1970.— 484 с.
28. Борн М., Вольф Э. Основы оптики.— 2-е изд., испр.— М.: Наука, 1973.— 719 с.
29. Борн М. Размышления и воспоминания физика.— М.: Наука, 1977.— 280 с.
30. Борн М. Эйнштейновская теория относительности.— 2-е изд., испр.— М.: Мир, 1972.— 368 с.
31. Браун С. Краткая история газовой электроники.— УФН, 1981, т. 133, с. 693—706.
32. Бриджмен П. В. Новейшие работы в области высоких давлений.— М.: Изд-во иностр. лит., 1948.— 300 с.
33. Бройль Л. де. По тропам науки.— М.: Изд-во иностр. лит., 1962.— 408 с.
34. Бройль Л. де. Революция в физике.— 2-е изд.— М.: Атомиздат, 1965.— 231 с.
35. Брэгг У. Г., Брэгг У. Л. Рентгеновские лучи и строение кристаллов.— М.; Л.: Госиздат, 1929.— 268 с.
36. Быков Г. В. Амедео Авогадро.— М.: Наука, 1970.— 184 с.
37. Вавилов С. И. Исаак Ньютон.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 294 с.
38. Вавилов С. И. Ленин и современная физика.— 2-е изд.— М.: Наука, 1977.— 72 с.
39. Вавилов С. И. Михаил Васильевич Ломоносов.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 148 с.
40. Вавилов С. И. Собрание сочинений.— М.: Изд-во АН СССР, 1952—1956.— Т. 1—4.
41. Вайскопф В. Как мы выросли вместе с теорией поля.— УФН, 1982, т. 138, с. 455—475.
42. Вайскопф В. Ф. Физика в двадцатом столетии.— М.: Атомиздат, 1977.— 269 с.
43. Вейнберг А., Вигнер Е. Физическая теория ядерных реакторов.— М.: Изд-во иностр. лит., 1961.— 732 с.
44. Вейнер Ч. 1932 год: на пути к новой физике.— УФН, 1974, т. 112, с. 129—141.
45. Веселовский И. Н., Белый Ю. А. Николай Коперник.— М.: Наука, 1974.— 454 с.
46. Вильсон А. Квантовая теория металлов.— М.; Л.: Гостехиздат, 1941.— 227 с.
47. Вонсовский С. В. Магнетизм.— М.: Наука, 1971.— 1032 с.
48. Вопросы квантовой теории необратимых процессов.— М.: Изд-во иностр. лит., 1961.— 365 с.
49. Вуд Р. Физическая оптика.— М.; Л.: ОНТИ, 1936.— 895 с.
50. Вяльцев А. Н. Открытие элементарных частиц: Электрон β . Фотоны γ .— М.: Наука, 1981.— 241 с.
51. Галилей Г. Избранные труды.— М.: Наука, 1964.— Т. 1—2.
52. Гейзенберг В. Введение в единую полевую теорию элементарных частиц.— М.: Мир, 1968.— 239 с.

53. Гейзенберг В. Теория атомного ядра.— М.: Изд-во иностр. лит., 1953.— 156 с.
54. Гельфер Я. М. История и методология термодинамики и статистической физики.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. шк., 1981.— 536 с.
55. Гепперт-Майер М., Йенсен Г. Элементарная теории ядерных оболочек.— М.: Изд-во иностр. лит., 1958.— 318 с.
56. Гернек Ф. Пионеры атомного века.— М.: Прогресс, 1974.— 371 с.
57. Герц Густав. Из первых лет квантовой физики.— УФН, 1977, т. 122, с. 497—511.
58. Герцберг Г. Атомные спектры и строение атомов.— М.: Изд-во иностр. лит., 1948.— 280 с.
59. Гиббс Д. В. Термодинамика.— М.: Наука, 1982.— 584 с.
60. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике.— 3-е изд., перераб.— М.: Наука, 1980.— 156 с.
61. Головин И. Н. И. В. Курчатов.— 3-е изд. перераб. и доп.— М.: Атомиздат, 1979.— 134 с.
62. Горнштейн Т. Н. Густав Роберт Кирхгоф и его исследования по тепловому излучению.— Тр. Ин-та истории естествознания и техники, 1960, т. 34, с. 110—156.
63. Горнштейн Т. Н. Теория подвижного равновесия Пьера Прево.— Тр. Ин-та истории естествознания и техники, 1959, т. 28, с. 302—338.
64. Григорьян А. Т., Вьяльцев А. Н. Генрих Герц.— М.: Наука, 1968.— 309 с.
65. Гринберг А. П. К истории изобретения и разработки ускорителей (1922—1932).— УФН, 1975, т. 117, с. 333—362.
66. Гринберг А. П. К истории изучения ядерной изомерии.— УФН, 1980, т. 132, с. 663—678.
67. Гроот С. де, Мазур П. Неравновесная термодинамика.— М.: Мир, 1964.— 456 с.
68. Гуло Д. Д. Николай Алексеевич Умов.— М.: Наука, 1971.— 320 с.
69. Гуло Д. Д., Осиновский А. Н. Дмитрий Сергеевич Рожественский.— М.: Наука, 1980.— 283 с.
70. Давыдов А. С. Теория твердого тела.— М.: Наука, 1976.— 639 с.
71. Данин Д. Нильс Бор.— М.: Мол. гвардия, 1978.— 560 с.
72. Данин Д. Резерфорд.— М.: Мол. гвардия, 1966.— 620 с.
73. Джефф Б. Майкельсон и скорость света.— М.: Изд-во иностр. лит., 1963.— 159 с.
74. Динамомашинa в ее историческом развитии: Документы и материалы / Сост. Д. В. Ефремов, М. И. Радовский.— Л.: Изд-во АН СССР, 1934.— 560 с.
75. Дирак П. Релятивистское волновое уравнение электрона.— УФН, 1979, т. 128, с. 681—691.
76. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII в.— М.: Наука, 1974.— 352 с.
77. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX в.— М.: Наука, 1979.— 316 с.
78. Дорфман Я. Г. Лавуазье.— М.: Изд-во АН СССР, 1962.— 327 с.
79. Дунская И. М. Возникновение квантовой электроники.— М.: Наука, 1974.— 160 с.

80. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники.— М. : Изд-во иностр. лит., 1950.— 696 с.
81. Ельяшевич М. А. Атомная и молекулярная спектроскопия.— М. : Физматгиз, 1962.— 892 с.
82. Ельяшевич М. А., Протьюко Т. С. Вклад Максвелла в развитие молекулярной физики и статистических методов.— УФН, 1981, т. 135, с. 381—423.
83. Ельяшевич М. А. Вклад Эйнштейна в развитие квантовых представлений.— УФН, 1979, т. 128, с. 503—536.
84. Ельяшевич М. А. От возникновения квантовых представлений до становления квантовой механики.— УФН, 1977, т. 122, с. 673—717.
85. Жолио-Кюри Ф. Избранные труды. Фредерик и Ирен Жолио-Кюри. Совместные труды.— М. : Изд-во АН СССР, 1957.— 562 с.
86. Займан Дж. Современная квантовая теория.— М. : Мир, 1971.— 288 с.
87. Зейтц Ф. Физика металлов.— М.; Л. : Гостехиздат, 1974.— 364 с.
88. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Релятивистская астрофизика.— М. : Наука, 1967.— 654 с.
89. Зоммерфельд А. Механика.— М. : Изд-во иностр. лит., 1947.— 392 с.
90. Зоммерфельд А. Оптика.— М. : Изд-во иностр. лит., 1953.— 487 с.
91. Зоммерфельд А. Пути познания в физике.— М. : Наука, 1973.— 318 с.
92. Зоммерфельд А. Строение атома и спектры.— М. : Гостехиздат, 1956.— Т. 1—2.
93. Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика.— М.; Л. : Изд-во иностр. лит., 1955.— 479 с.
94. Зоммерфельд А. Электродинамика.— М. : Изд-во иностр. лит., 1958.— 501 с.
95. Зубов В. П. Леонардо да Винчи.— М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1962.— 372 с.
96. Иваненко Д. Д. Исторический очерк развития общей теории относительности.— Тр. Ин-та истории естествознания и техники, 1957, т. 17, с. 389—424.
97. Иваненко Д. Д., Соколов А. А. Классическая теория поля.— 2-е изд.— М.; Л. : Гостехиздат, 1951.— 479 с.
98. Игонин В. В. Атом в СССР : Развитие сов. ядер. физики.— Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1975.— 668 с.
99. Из предыстории радио.— М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1948.— 471 с.
100. Изобретение радио А. С. Поповым.— М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1945.— 309 с.
101. Иоффе А. Ф. Избранные труды.— Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1974—1975.— Т. 1—2.
102. Иоффе А. Ф. О физике и физиках.— Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1977.— 259 с.
103. История механики с древнейших времен до конца XVIII в. / А. Т. Григорьян, М. М. Рожанская, П. Костабель и др.— М. : Наука, 1971.— 298 с.
104. История механики с конца XVIII до середины XX в. / Л. Н. Сретинский, Г. К. Михайлов, Б. Н. Фрадлин и др.— М. : Наука, 1972.— 414 с.

105. Кадомцев Б. Б. Коллективные явления в плазме.— М. : Наука, 1976.— 238 с.
106. Капустинская К. А. Анри Беккерель.— М. : Атомиздат, 1965.— 83 с.
107. Карл Фридрих Гаусс : [Сб. ст.].— М. : Изд-во АН СССР, 1956.— 311 с.
108. Карцев В. П. Максвелл.— 2-е изд.— М. : Мол. гвардия, 1976.— 334 с.
109. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров.— М. : Мир, 1981.— 540 с.
110. Кeesом В. Гелий.— М. : Изд-во иностр. лит., 1949.— 542 с.
111. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела.— М. : Наука, 1978.— 791 с.
112. Киттель Ч. Статистическая термодинамика.— М. : Наука, 1977.— 336 с.
113. Клаудер Д. Р., Сударшан Э. Основы квантовой оптики.— М. : Мир, 1970.— 428 с.
114. Кляус Е. М., Погребысский И. Б., Франкфурт У. И. Паскаль.— М. : Наука, 1971.— 432 с.
115. Кляус Е. М., Франкфурт У. И. Макс Планк.— М. : Наука, 1980.— 391 с.
116. Кляус Е. М., Франкфурт У. И., Френк А. М. Гендрик Антон Лоренц.— М. : Наука, 1974.— 240 с.
117. Кобзарев И. Доклад А. Пуанкаре и теоретическая физика накануне создания теории относительности.— УФН, 1974, т. 113, с. 679—694.
118. Кравец Т. П. От Ньютона до Вавилова.— Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1967.— 447 с.
119. Кривомазов А. Н. Фредерик Содди.— М. : Наука, 1978.— 207 с.
120. Кудрявцев П. С. История физики.— М. : Учпедгиз, 1956—1971.— Т. 1—3.
121. Кузнецов Б. Г. Галилей.— М. : Наука, 1964.— 326 с.
122. Кузнецов Б. Г. Эйнштейн.— 5-е изд., перераб. и доп.— М. : Наука, 1979.— 680 с.
123. Курчатов И. В. Ядерную энергию — на благо человека : Избр. тр.— М. : Атомиздат, 1978.— 392 с.
124. Кюри Е. Мария Кюри.— М. : Атомиздат, 1967.— 352 с.
125. Кюри П. Избранные труды.— М. ; Л. : Наука, 1966.— 399 с.
126. Лазарев П. П. Гельмгольц.— 2-е изд.— М. : Изд-во АН СССР, 1959.— 104 с.
127. Лазарев П. П. Очерки истории русской науки.— М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1950.— 248 с.
128. Лазеры и термоядерная проблема: Сб. пер. ст.— М. : Атомиздат, 1973.— 216 с.
129. Ландау Л. Д. Собрание трудов.— М. : Наука, 1969.— Т. 1—2.
130. Ланжевен П. Избранные труды.— М. : Изд-во АН СССР, 1960.— 755 с.
131. Лауэ М. История физики.— М. : Гостехиздат, 1956.— 230 с.
132. Лауэ М. Статьи и речи.— М. : Наука, 1969.— 367 с.
133. Лебедев П. Н. Собрание сочинений.— М. : Изд-во АН СССР, 1963.— 435 с.

134. Ледерман Л. Ипсилон-частица.— УФН, 1979, т. 128, с. 693—710.

135. Лежнева О. А. Из истории открытия электромагнетизма и электромагнитной индукции.— Тр. Ин-та истории естествознания и техники, 1959, т. 22, с. 132—148.

136. Лежнева О. А., Ржонсницкий Б. Н. Эмилий Христианович Ленц.— М.; Л.: Госэнергоиздат, 1952.— 191 с.

137. Ленц Э. Х. Избранные труды.— М.: Изд-во АН СССР, 1950.— 522 с.

138. Леонард Эйлер: Сб. ст., посвящ. 250-летию со дня рождения.— М.: Изд-во АН СССР, 1958.— 610 с.

139. Леонтович М. А. Введение в термодинамику.— 2-е изд.— М.; Л.: Гостехиздат, 1952.— 199 с.

140. Леонтович М. А. Статистическая физика.— М.; Л.: Гостехиздат, 1944.— 256 с.

141. Ливингстон М. С. Ускорители.— М.: Изд-во иностр. лит., 1956.— 148 с.

142. Липсон Г. Великие эксперименты в физике.— М.: Мир, 1972.— 216 с.

143. Лисневский Ю. И. Антониус Ван ден Брук.— М.: Наука, 1981.— 158 с.

144. Ли Ц. Д., Ву Ц. Слабые взаимодействия.— М.: Мир, 1968.— 307 с.

145. Лоренц Г. А. Старые и новые проблемы физики.— М.: Наука, 1970.— 370 с.

146. Лоренц Г. А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения.— 2-е изд.— М.: Гостехиздат, 1953.— 472 с.

147. Лурье С. Я. Архимед.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1945.— 271 с.

148. Льюис М. История физики.— М.: Мир, 1970.— 464 с.

149. Ляйль П. Энрико Ферми.— М.: Атомиздат, 1965.— 148 с.

150. Майер Дж., Гепперт-Майер М. Статистическая механика.— 2-е изд., перераб.— М.: Мир, 1980.— 544 с.

151. Майкельсон А. Исследование по оптике.— М.; Л.: Госиздат, 1928.— 199 с.

152. Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля.— М.: Гостехиздат, 1954.— 687 с.

153. Максвелл Дж. К. Статьи и речи.— М.: Наука, 1968.— 422 с.

154. Марков М. А. Гипероны и К-мезоны.— М.: Физматгиз, 1958.— 343 с.

155. Марков М. А. Нейтрино.— М.: Наука, 1964.— 163 с.

156. Маршак Р., Судершан Э. Введение в физику элементарных частиц.— М.: Изд-во иностр. лит., 1962.— 235 с.

157. Матвиевская Г. П. Рене Декарт.— М.: Наука, 1976.— 271 с.

158. Маттис Д. С. Теория магнетизма.— М.: Мир, 1971.— 407 с.

159. Мезоны и поля: В 2-х т.— М.: Изд-во иностр. лит., 1957.— Т. 1. Поля / С. Швебер, Г. Бете, Ф. Гофман. 488 с.; Т. 2. Мезоны / Г. Бете, Ф. Гофман. 514 с.

160. Меллер К. Теория относительности.— 2-е изд.— М.: Атомиздат, 1975.— 400 с.

161. Менделеев Д. И. Периодический закон.— М.: Изд-во АН СССР, 1958.— 830 с.

162. Мендельсон К. Физика низких температур.— М. : Изд-во АН СССР, 1963.— 230 с.
163. Мигдал А. Б. Фермионы и бозоны в сильных полях.— М. : Наука, 1978.— 272 с.
164. Милликен Р. Электрон (+ и —), протоны, фотоны, нейтроны и космические лучи.— М.; Л. : ОНТИ, 1939.— 311 с.
165. Монтролль Э. К столетию статистической механики.— УФН, 1965, т. 87, с. 341—347.
166. Мотт Н., Герни Р. Электронные процессы в ионных кристаллах.— Л. : Изд-во иностр. лит., 1950.— 304 с.
167. Мэлли М. История открытия бета-излучения.— УФН, 1973, т. 109, с. 389—398.
168. Мюллер Э. В., Цонь Т. Ц. Автоионная микроскопия.— М. : Металлургия, 1972.— 360 с.
169. На пути к единой теории поля : [Сб. пер. ст.].— М. : Знание, 1980.— 64 с.
170. Нейтрон : Предыстория, открытия, последствия : [Сб. ст.].— М. : Наука, 1975.— 173 с.
171. Нелинейная спектроскопия / Н. Бломберген, Т. Ханш, Р. Брюер и др.— М. : Мир, 1979.— 586 с.
172. Неменов Л. М. История развития циклотрона за 50 лет (1930—1980).— УФН, 1981, т. 133, с. 525—541.
173. Нильс Бор : Жизнь и творчество.— М. : Наука, 1967.— 344 с.
174. Нильс Бор и развитие физики : [Сб. ст.].— М. : Изд-во иностр. лит., 1958.— 259 с.
175. Нишиджима К. Фундаментальные частицы.— М. : Мир, 1965.— 462 с.
176. Ньютон И. Лекции по оптике.— М. : Изд-во АН СССР, 1946.— 295 с.
177. Окунь Л. Б. Лептоны и кварки.— М. : Наука, 1981.— 304 с.
178. Окунь Л. Б. Современное состояние и перспективы физики высоких энергий.— УФН, 1981, т. 134, с. 3—44.
179. Основатели кинетической теории материи.— М.; Л. : ОНТИ, 1937.— 220 с.
180. Очерки по истории развития ядерной физики в СССР.— К. : Наук. думка, 1982.— 332 с.
181. Очерки по истории физики в России.— М. : Учпедгиз, 1949.— 343 с.
182. Очерки развития основных физических идей.— М. : Изд-во АН СССР, 1959.— 512 с.
183. Пайерлс Р. Э. Квантовая теория твердых тел.— М. : Изд-во иностр. лит., 1956.— 259 с.
184. Пайнс Д., Нозьер Ф. Теория квантовых жидкостей.— М. : Мир, 1967.— 382 с.
185. Пановский В., Филлипс М. Классическая электродинамика.— М. : Физматгиз, 1963.— 432 с.
186. Паули В. Труды по квантовой теории: Статьи, 1920—1928.— М. : Наука, 1975.— 687 с.
187. Паули В. Труды по квантовой теории: Статьи, 1928—1958.— М. : Наука, 1977.— 695 с.
188. Паули В. Физические очерки.— М. : Наука, 1975.— 256 с.
189. Пенроуз Р. Структура пространства — времени.— М. : Мир, 1972.— 183 с.

190. Перл М. Открытие новой частицы — тяжелого t -лептона.— УФН, 1979, т. 129, с. 671—684.
191. Перспективы квантовой физики.— К. : Наук. думка, 1982.— 552 с.
192. Петр Петрович Лазарев.— М. : Изд-во АН СССР, 1958.— 127 с.
193. Петросьянц А. М. От научного поиска к атомной промышленности.— М. : Атомиздат, 1970.— 312 с.
194. Пионеры машинной индустрии : Сборник.— М.; Л. : ОНТИ, 1937.— 294 с.
195. Планк М. Избранные труды.— М. : Наука, 1975.— 788 с.
196. Погребысский И. Б. Готфрид Вильгельм Лейбниц.— М. : Наука, 1971.— 319 с.
197. Полак Л. С. Уильям Роуэн Гамильтон.— Тр. Ин-та истории естествознания и техники, 1956, т. 15, с. 206—276.
198. Померанчук И. Я. Собрание научных трудов.— М. : Наука, 1972.— Т. 1—3.
199. Пост Р. Высокотемпературная плазма и управляемые термоядерные реакции.— М. : Изд-во иностр. лит., 1961.— 117 с.
200. Пригожин И. Неравновесная статистическая механика.— М. : Мир, 1964.— 314 с.
201. Прингсгейм П. Флуоресценция и фосфоресценция.— М. : Изд-во иностр. лит., 1951.— 623 с.
202. Принцип относительности.— М. : Атомиздат, 1973.— 332 с.
203. Пуанкаре А. Эволюция современной физики.— Спб., 1910.— 183 с.
204. 50 лет современной ядерной физики.— М. : Энергоиздат, 1982.— 256 с.
205. Радовский М. И. Александр Степанович Попов.— М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1963.— 388 с.
206. Радовский М. И. Борис Семенович Якоби.— Л.; М. : Госэнергоиздат, 1953.— 264 с.
207. Радовский М. И. Вениамин Франклин.— М.; Л. : Наука, 1965.— 306 с.
208. Радовский М. И. Гальвани и Вольта.— М.; Л. : Госэнергоиздат, 1941.— 92 с.
209. Радциг А. А. История теплотехники.— М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1936.— 430 с.
210. Развитие физики в России.— М. : Просвещение, 1970.— Т. 1—2.
211. Развитие физики в СССР.— М. : Наука, 1967.— Кн. 1—2.
212. Разетти Ф. Основы ядерной физики.— М.; Л. : Гостехиздат, 1940.— 243 с.
213. Рамзей Н. Молекулярные пучки.— М. : Изд-во иностр. лит., 1960.— 411 с.
214. Резерфорд Э. Избранные научные труды.— М. : Наука, 1971—1972.— Кн. 1—2.
215. Рихтер Б. От ψ к очарованию.— УФН, 1978, т. 125, с. 201—226.
216. Родный Н. И., Соловьев Ю. И. Вильгельм Оствальд.— М. : Наука, 1969.— 375 с.
217. Рождественский Д. С. Избранные труды.— М; Л. : Наука, 1964.— 349 с.

218. Розенбергер Ф. История физики.— М.; Л. : ОНТИ, 1934—1937.— Ч. 1—3.
219. Рэлей Дж. В. Теория звука.— М.; Л. : Гостехиздат, 1940—1944.— Т. 1—2.
220. Сакураи Дж. Токи и мезоны.— М. : Атомиздат, 1972.— 168 с.
221. Сегре Э. Энрико Ферми — физик.— М. : Мир, 1973.— 325 с.
222. Сиборг Г. Т. Искусственные трансурановые элементы.— М. : Атомиздат, 1965.— 168 с.
223. Сибрук В. Роберт Вуд.— 4-е изд., стер.— М. : Наука, 1980.— 319 с.
224. Скобельцын Д. В. Космические лучи.— Л.; М. : ОНТИ, 1936.— 331 с.
225. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы.— М. : Мир, 1969.— 647 с.
226. Смит Р. Полупроводники.— 2-е изд.— М. : Мир, 1982.— 558 с.
227. Содди Ф. История атомной энергии.— М. : Атомиздат, 1979.— 285 с.
228. Соколов А. А., Иваненко Д. Д. Квантовая теория поля.— М.; Л. : Гостехиздат, 1952.— 780 с.
229. Солимар Л. Туннельный эффект в сверхпроводниках и его применение.— М. : Мир, 1974.— 428 с.
230. Соловьев Ю. И., Куринной В. И. Якоб Берцелиус.— 2-е изд., испр. и доп.— М. : Наука, 1980.— 319 с.
231. Соловьев Ю. И., Петров Л. П. Вильям Рамзай.— М. : Наука, 1971.— 240 с.
232. Соминский М. С. Абрам Федорович Иоффе.— М.; Л. : Наука, 1976.— 643 с.
233. Соминский М. С. Александр Григорьевич Столетов.— Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1970.— 351 с.
234. Спасский Б. И. История физики.— 2-е изд.— М. : Высш. шк., 1977.— Ч. 1—2.
235. Старосельская-Никитина О. А. История радиоактивности и возникновение ядерной физики.— М. : Изд-во АН СССР, 1963.— 428 с.
236. Старосельская-Никитина О. А. Поль Ланжевен.— М. : Физматгиз, 1962.— 315 с.
237. Тамм И. Е. Собрание научных трудов.— М. : Наука, 1975.— Т. 1—2.
238. Таунс Ч., Шавлов А. Радиоспектроскопия.— М. : Изд-во иностр. лит., 1959.— 756 с.
239. Творцы физической оптики : [Сб. ст.].— М. : Наука, 1973.— 315 с.
240. Теоретическая физика XX в. : (Сб. ст., посвящ. памяти В. Паули).— М. : Изд-во иностр. лит., 1962.— 442 с.
241. Тепляков Г. М. Владимир Александрович Михельсон.— М. : Просвещение, 1971.— 88 с.
242. Тер-Хаар Д. К истории статистики фотонов.— УФН, 1969, т. 99, с. 129—140.
243. Тинкхам М. Введение в сверхпроводимость.— М. : Атомиздат, 1980.— 310 с.
244. Томсон Г. Ранний этап изучения дифракции электронов.— УФН, 1969, т. 99, с. 455—468.
245. Тригг Дж. Физика XX века : Ключевые эксперименты.— М. : Мир, 1978.— 160 с.

246. Трифонов Д. Н., Кривомазов А. Н., Лисневский Ю. И. Учение о периодичности и учение о радиоактивности : (Комментированная хронология важнейших событий). М. : Атомиздат, 1974.— 248 с.
247. Тяпкин А. А., Шибанов А. С. Пуанкаре.— 2-е изд.— М. : Мол. гвардия, 1982.— 415 с.
248. Уилер Дж., Мизнер Ч., Торн К. Гравитация.— М. : Мир, 1977.— Т. 1—3.
249. Ускорители : [Сб. ст.].— М. : Атомиздат, 1962.— 559 с.
250. Успехи физических наук.— М., 1977.— Т. 122. Вып. 4. К 50-летию становления квантовой механики, с. 561—763.
251. Успехи физических наук.— М., 1978.— Т. 126. Вып. 1.— К 50-летию открытия комбинационного рассеяния света : [Статьи], с. 123.—164.
252. Успехи физических наук.— М., 1979.— Т. 128.— Вып. 3. К 100-летию со дня рождения Альберта Эйнштейна, с. 393—576.
253. Учение о радиоактивности. — М. : Наука, 1973.—255 с.
254. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству.— М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1947—1959.— Т. 1—3.
255. Ферми Э. Научные труды.— М. : Наука, 1971—1972.— Т. 1—2.
256. Фигуровский Н. А. Дмитрий Иванович Менделеев.— М. Изд-во АН СССР, 1961.— 315 с.
257. Фок В. А. Квантовая физика и строение материи. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1965.— 29 с.
258. Фок В. А. Квантовая физика и философские проблемы.— М., 1970.— 26 с.
259. Франк А. И. Фундаментальные свойства нейтрона : Пятьдесят лет исслед.— УФН, 1982, т. 137, с. 5—37.
260. Франкфурт У. И. Специальная и общая теория относительности : Ист. очерки.— М. : Наука, 1968.— 331 с.
261. Франкфурт У. И., Френк А. М. Джозайя Виллард Гиббс.— М. : Наука, 1964.— 279 с.
262. Франкфурт У. И., Френк А. М. Оптика движущихся тел.— М. : Наука, 1972.— 212 с.
263. Франкфурт У. И., Френк А. М. У истоков квантовой теории.— М. : Наука, 1975.— 168 с.
264. Френель О. Избранные труды по оптике.— М. : Гостехиздат, 1955.— 604 с.
265. Френкель В. Я. Пауль Эренфест.— 2-е изд.— М. : Атомиздат, 1977.— 192 с.
266. Френкель В. Я. Яков Ильич Френкель.— М.; Л. : Наука, 1966.— 473 с.
267. Френкель Я. И. На заре новой физики.— Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1970.— 384 с.
268. Френкель Я. И. Собрание избранных трудов.— М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1956—1959.— Т. 1—3.
269. Фридман А. А. Избранные труды.— М. : Наука, 1966.— 462 с.
270. Фриш О., Уилер Дж. Открытие деления ядер.— УФН, 1968, т. 96, с. 697—715.
271. Хаякава С. Физика космических лучей.— М. : Мир, 1973.— Ч. 1. 701 с.
272. Хвольсон О. Д. Курс физики.— Т. 1—3. 5-е изд. Берлин, 1923; Т. 4. 3-е изд. Берлин, 1923; Том доп. Ч. 1—2. М.: Л., 1926.

273. Хокинг С., Эллис Дж. Крупномасштабная структура пространства — времени.— М. : Мир, 1977.— 431 с.
274. Храмов Ю. А. Физики : Биограф. справ.— 2-е изд.— М. : Наука, 1983.— 400 с.
275. Хунд Ф. История квантовой теории.— К. : Наук. думка, 1980.— 244 с.
276. Цварава Г. К. Георг Вильгельм Рихман.— Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1977.— 159 с.
277. Цварава Г. К. Никола Тесла.— Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1974.— 212 с.
278. Шапиро И. К истории открытия уравнений Максвелла.— УФН, 1972, т. 108, с. 319—333.
279. Шаскольская М. П. Жолио-Кюри.— М. : Мол. гвардия, 1966.— 208 с.
280. Шенф Х. От Кирхгофа до Планка.— М. : Мир, 1981.— 190 с.
281. Шокли В. Теория электронных полупроводников : Приложения к теории транзисторов.— М. : Изд-во иностр. лит., 1953.— 715 с.
282. Шпольский Э. В. Очерки по истории развития советской физики, 1917—1967.— М. : Наука, 1969.— 143 с.
283. Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике.— М. : Наука, 1976.— 424 с.
284. Шредингер Э. Новые пути в физике : Ст. и речи.— М. : Наука, 1971.— 427 с.
285. Шушурин С. Ф. К истории голографии.— УФН, 1971, т. 105, с. 145—148.
286. Эйнштейн А. Собрание научных трудов.— М. : Наука, 1965—1967.— Т. 1—4.
287. Экспериментальная ядерная физика.— М. : Изд-во иностр. лит., 1955.— Т. 1—3.
288. Электродвигатель в его историческом развитии.— М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1936.— 660 с.
289. Электронная спектроскопия / К. Зигбан, К. Нордлинг, А. Фальман и др.— М. : Мир, 1971.— 493 с.
290. Электронная теория металлов / И. М. Лифшиц и др.— М. : Наука, 1971.— 415 с.
291. Ястржембский А. С. Термодинамика и история ее развития— М.; Л. : Энергия, 1966.— 667 с.
292. Dictionary of inventions and discoveries.— London, 1969.— 204 p.
293. Dictionary of scientific biography.— New York : Scribner, 1970—1980.— Vol. 1—16.
294. Les Prix Nobel.— Stockholm. : Norstedt, 1901—1982.
295. Scienziati e tecnologi contemporanei.— Milano, 1974—1975.— Vol. 1—6.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ *

Аббе Эрнст (Abbe E.) (1840—1905) — нем. физ. 27, 126, 130
 Абельсон Филип (Abelson Ph.) (р. 1913) — амер. физ. 46, 199
 Абов Юрий Георгиевич (р. 1919) — сов. физ. 259
 Абрагам Анатолий (Abraham A.) (р. 1914) — франц. физ. 211, 220, 231, 238, 239, 253, 259
 Абрагам Макс (Abraham M.) (1875—1922) — нем. физ. 25, 145, 155
 Абриа Жереми (Abria J.) (1811—1892) — франц. физ. 114
 Абрикосов Алексей Алексеевич (р. 1928) — сов. физ. 217, 223, 228, 237, 241, 248, 255, 267
 Август Эрнст (August E.) (1795—1870) — нем. физ. 105
 Авизонис Петраш (Avizonis P.) (р. 1935) — амер. физ. 264
 Авогадро Амедео (Avogadro A.) (1776—1857) — итал. физ. и хим. 20, 98
 Агранович Залман Самойлович (р. 1910) — сов. физ. 255
 Адамс Джон (Adams J.) (1819—1892) — англ. астрон. и матем. 115
 Аджиунти Николо (Aggiunti N.) (1600—1635) — итал. физ. 60, 65
 Адлер Стивен (Adler S.) (р. 1939) — амер. физ. 259
 Азума Р. (Azuma R.) 280
 Айвс Герберт (Ives H.) (1882—1953) — амер. физ. 201
 Айзенбуд Меррил (Eisenbud M.) (р. 1915) — амер. физ. 210
 Акулов Николай Сергеевич (1900—1976) — сов. физ. 179, 187
 Ал-Бируни (973—1048) — среднеазиат. уч. 58

Александров Анатолий Петрович (р. 1903) — сов. физ. 53, 192, 244
 Александров Евгений Борисович (р. 1936) — сов. физ. 260
 Алексеевский Николай Евгеньевич (р. 1912) — сов. физ. 261
 Алиханов Абрам Исаакович (1904—1970) — сов. физ. 188, 213, 238, 245, 250
 Алиханьян Артем Исаакович (1908—1978) — сов. физ. 188
 Аллен Герберт (Allen H.) (1873—1954) — англ. физ. 184
 Аллен Джеймс (Allen J.) (р. 1911) — амер. физ. 201
 Аллен Джон (Allen J.) (р. 1908) — физ. (Кан., Шотл.) 47, 196
 Алфано Роберт (Alfano R.) (р. 1941) — амер. физ. 271
 Ал-Фаризи (2-я пол. XIII в.) — персид. матем. и астрон. 59
 Ал-Хазини (XII в.) — хорезм. уч. 58
 Альберт Великий (Albert the Great) (1193—1280) — нем. философ. и богослов 58
 Альберт Саксонский (Albert of Saxony) (ок. 1316—1390) — философ. 59
 Альварес Луис (Alvarez L.) (р. 1911) — амер. физ. 48, 191, 193, 199, 200, 204, 229, 232, 243, 245, 249
 Альтшулер Семен Александрович (1911—1983) — сов. физ. 189, 211, 223
 Альфвен Ханнес (Alfven H.) (р. 1908) — швед. физ. 195, 200, 201, 218, 233, 255
 Альфен П. ван (Alphen P. van) 180
 Альхазен (Alhazen) (965—1039) — араб. уч. 10, 58, 59

* В указатель включены фамилии ученых, встречающиеся в разделах «Основные этапы в развитии физики» и «Хронология».

Амальди Эдоардо (Amaldi E.) (р. 1908) — итал. физ. 188, 193, 229, 245

Амбарцумян Виктор Амазаспович (р. 1908) — сов. астрофиз. и физ. 178, 209

Амичи Джованни (Amici G.) (1786—1863) — итал. оптик и бот. 121

Амонтон Гийом (Amontons G.) (1663—1705) — франц. физ. 77, 80

Ампер Андре (Amper A.) (1775—1836) — франц. физ., матем. и хим. 21, 22 101—103, 106, 108

Ангстрем Андерс (Angström A.) (1814—1874) — швед. физ. и астроном. 118, 125

Андерсон Герберт (Anderson H.) (р. 1914) — амер. физ. 198, 201, 204, 220, 245

Андерсон Дональд (Anderson D.) (р. 1918) — амер. физ. 165

Андерсон Карл (Anderson C.) (р. 1905) — амер. физ. 45, 46, 183, 185, 193, 206, 208

Андерсон Ричард (Anderson R.) (р. 1927) — амер. физ. 255

Андерсон Филип (Anderson Ph.) (р. 1923) — амер. физ. 215, 218, 234, 241, 244, 257, 261, 263, 267

Андерсон Чарлз (Anderson Ch.) (р. 1920) — амер. физ. хим. 265

Андрате Эдуард (Andrade E.) (1887—1971) — англ. физ. 160

Андреев Александр Федорович (р. 1939) — сов. физ. 269

Андреев В. Н. — сов. физ. 278

Ансельм Алексей Андреевич (р. 1934) — сов. физ. 239

Ануфриев Юрий Дмитриевич — сов. физ. 218

Аппелквист Томас (Appelquist T.) (р. 1935) — амер. физ. 276

Араго Доменик (Arago D.) (1786—1853) — франц. уч. 96, 98, 100, 102—104

Араки Дженатаро (Araki G.) (р. 1902) — япон. физ. 199

Ард Уильям (Ard W.) (р. 1927) — амер. физ. 265

Арденне Манфред (Ardenne M.) (р. 1907) — нем. физ. 195

Аристарх Самосский (ок. 310—230 до н. э.) — древнегреч. астроном. 9, 56

Аристотель (384—322 до н. э.) — древнегреч. филос. и уч. 9—11, 55, 56, 59

Аристофан (452—388 до н. э.) — древнегреч. драматург 55

Аркадьев Владимир Константинович (1884—1953) — сов. физ. 160

Армати Сальвино (Armati S.) (ок. 1300—1317) — итал. изобр. 59

Арментерос Рафаэль (Armenteros R.) — франц. физ. 218 220

Армстронг Нил (Armstrong N.) (р. 1930) — амер. астронавт 270

Арнольд Рой (Arnold R.) (р. 1933) — амер. физ. 215

Аррениус Сванте (Arrhenius S.) (1856—1927) — швед. физ. хим. 136

Артман Джозеф (Artman J.) (р. 1926) — амер. физ. 238

Арфведсон Йохан (Arfwedson J.) (1792—1841) — швед. хим. 100

Архимед (ок. 287—212 до н. э.) — древнегреч. уч. 12, 55, 57, 58, 60

Арцимович Лев Андреевич (1909—1973) — сов. физ. 52, 53, 191, 221, 267

Асамп Й. (Asami Y.) 269

Аскарьян Гурген Ашотович (р. 1928) — сов. физ. 237, 251, 256

Аснин Владимир Моисеевич (р. 1941) — сов. физ. 268

Астон Франсис (Aston F.) (1877—1945) — англ. физ. и хим. 44, 160, 165, 174

Астров Д. Н. — сов. физ. 244

Атвуд Джордж (Atwood G.) (1746—1807) — англ. физ. 88

Аткинсон Роберт (Atkinson R.) (1898—1982) — астроном. (Англ., США) 178

Ауэр И. (Auer I.) 278

Афанасьев Александр Михайлович (р. 1938) — сов. физ. 267

Афанасьева-Эренфест Татьяна Алексеевна (1876—1964) — матем. (Россия, Нидерл.) 155

Ахеарн Артур (Ahearn A.) (р. 1902) — амер. физ. 212
 Ахизер Александр Ильич (р. 1911) — сов. физ. 35, 194, 195, 201, 204, 205, 210, 211, 214, 227, 234, 237, 244, 261
 Ахизер Илья Александрович (р. 1938) — сов. физ. 261
 Ахманов Сергей Александрович (р. 1929) — сов. физ. 254, 262, 266, 267
 Ашер Э. (Asher E.) 241

Бааде Вильгельм (Baade W.) (1893—1960) — нем. астроном. 190, 223

Баба Хоми (Bhabha H.) (1909—1966) — инд. физ. 194, 195, 206
 Бабаев А. И. — сов. физ. 262
 Бабине Жак (Babinet J.) (1794—1872) — франц. физ. 107, 112

Байбаков В. И. — сов. физ. 265
 Байер Отто (Baeyer O.) (1877—1946) — нем. физ. 153
 Байер Х. (Beyer H.) 194

Байлей Дж. (Bailey J.) 267
 Бак Эрнст (Back E.) (1881—1959) — нем. физ. 157
 Бакенштосс Герхард (Bakenstoss G.) (р. 1924) — физ. (Герм., Швейц.)

Бакингем Эймианд (Buckingham A.) (р. 1930) — англ. физ. 239
 Балац Михаил Яковлевич — сов. физ. 262
 Балдин Александр Михайлович (р. 1926) — сов. физ. 266, 275

Балтей Чарлз (Baltay Ch.) (р. 1937) — физ. (Венгр., США) 252
 Бальдо-Чеолин М. (Baldo-Cheolin M.) — итал. физ. 238
 Бальмер Иоганн (Balmer J.) (1825—1898) — швейц. физ. 26, 133
 Бальяни Джованни (Baliani G.) (1582—1666) — итал. уч. и филос. 65, 66

Бардин Джон (Bardeen J.) (р. 1908) — амер. физ. 47, 51, 208, 210, 211, 217, 236, 255
 Бардин Уильям (Bardeen W.) (р. 1941) — амер. физ. 272

Баркгаузен Генрих (Barkhausen H.) (1881—1956) — нем. физ. 165

Баркла Чарлз (Barkla Ch.) (1877—1944) — англ. физ. 29, 147, 148

Барков Лев Митрофанович (р. 1928) — сов. физ. 279

Барлоу Питер (Barlow P.) (1776—1862) — англ. физ. 102

Барнес Д. (Barnes D.) — англ. физ. 204

Барнетт Самьюэл (Barnett S.) (1873—1956) — амер. физ. 162, 181

Баррат Жан (Barrat J.) (р. 1933) — франц. физ. 251

Барретт Уильям (Barrett W.) (1844—1925) — ирланд. физ. 113

Барт Т. (Barth T.) 185

Бартлетт Джеймс (Bartlett J.) (р. 1904) — амер. физ. 188

Бартоли Адольфо (Bartoli A.) (1851—1896) — итал. физ. 127

Бартолин Эразм (Bartholin E.) (1625—1698) — дат. физ. 14, 73

Барышевский Владимир Григорьевич (р. 1939) — сов. физ. 259

Барьяхтар Виктор Григорьевич (р. 1930) — сов. физ. 234, 244, 257, 271

Басов Николай Геннадиевич (р. 1922) — сов. физ. 48, 49, 228, 231, 243, 251, 256, 260, 262, 264, 268, 270, 271, 274

Басс Фридрих Гермонович (р. 1930) — сов. физ. 243

Батлер Клиффорд (Butler C.) (р. 1922) — англ. физ. 46, 206, 218, 220

Батлер Стюарт (Butler S.) (1926—1982) — австрал. физ. 224

Батусов Юрий Николаевич — сов. физ. 255, 262

Бауэрс Раймонд (Bowers R.) (р. 1927) — физ. (Англ., США) 251

Бачинский Алексей Иосифович (1877—1944) — сов. физ. 157

Безногих Г. Г. — сов. физ. 269

Бейс-Баллот Христофор (Buys-Ballot Chr.) (1817—1891) — нидерл. физ. и метеорол. 115

Бек Э. (Beck E.) 184

Беккер Г. (Becker H.) — нем. физ. 178
 Бекетов Николай Николаевич (1826—1911) — рус. физ. хим. 131, 146
 Бекеши Георг (Bekesy G.) (1899—1972) — венг. физ. и биофиз. 197
 Беккерель Александр Эдмон (Becquerel A. E.) (1820—1891) — франц. физ. 113, 114, 117, 120
 Беккерель Антуан (Becquerel A.) (1852—1908) — франц. физ. 28, 29, 130
 Беккерель Антуан Сезар (Becquerel A. S.) (1788—1878) — франц. физ. 106, 115
 Беленький Семен Захарович (1916—1956) — сов. физ. 194
 Белинский Владимир Алексеевич (р. 1941) — сов. физ. 271
 Белинфанте Фредерик (Belinfante F.) (р. 1913) — нидерл. физ. 199
 Белл Александер (Bell A.) (1847—1922) — изобр. (Шотл., США) 27, 129, 131
 Белл Джон (Bell J.) (р. 1928) — англ. физ. 230
 Бёммель Ханс (Bömmel H.) (р. 1912) — физ. (Герм., США) 228, 231, 243
 Бенедетти Джованни (Benedetti G.) (1530—1590) — итал. уч. 12, 61
 Бенедикс Карл (Benediks C.) (1875—1958) — швед. физ. 162
 Беннет Абрахам (Bennett A.) (1750—1799) — англ. физ. 91
 Беннет Уиллард Харрисон (Bennett W. H.) (р. 1903) — амер. физ. 189, 220, 233, 268
 Беннет Уильям Ральф (Bennett W. R.) (р. 1930) — амер. физ. 247, 253, 254, 256
 Бенуа Рене (Benoit R.) (1844—1922) — франц. физ. 139
 Бенцер Сеймор (Benzer S.) (р. 1921) — амер. биофиз. и физ. 201
 Берар Жак (Berard J.) (1779—1869) — франц. физ. и хим. 98
 Бёрбидж Джеффри (Burbidge G.) (р. 1925) — астрон. (Англ., США) 231, 236

Бёрбидж Эливор (Burbidge E.) (р. 1919) — астрон. (Англ., США) 231, 236
 Бергер К. (Berger C.) 279
 Бергер Р. (Berger R.) 274
 Бёрджи Мерл (Burgu M.) (? — 1973) — амер. физ. 186, 213, 219, 238
 Берман Барри (Berman B.) (р. 1936) — амер. физ. 278
 Бернал Джон (Bernal J.) (1901—1971) — англ. физ. 53, 242
 Бернулли Даниил (Bernoulli D.) (1700—1782) — швейц. матем. мех. и физ. 20, 21, 64, 80—82, 84, 91, 119
 Бернулли Иоганн (Bernoulli J.) (1667—1748) — швейц. матем. 64, 79
 Берцелиус Йенс (Berzelius J.) (1779—1848) — швед. хим. 98, 100, 101, 104
 Бессель Фридрих (Bessel F.) (1784—1846) — нем. астрон. и матем. 111
 Бет Ричард (Beth R.) (р. 1906) — амер. физ. и матем. 191
 Бете Ханс (Bethe H.) (р. 1906) — физ. (Герм., США) 176, 178, 189—191, 193, 195, 196, 201, 207, 219
 Бехер Иоганн (Becher J.) (1635—1682) — нем. хим. и врач 74, 77
 Бизетт Генри (Bizette H.) (р. 1903) — франц. физ. 184, 191
 Бикар Пьер (Biquard P.) (р. 1901) — франц. физ. 185
 Бикфорд Лоуренс (Bickford L.) (р. 1921) — амер. физ. 215
 Бин Чарлз (Bean Ch.) (р. 1923) — амер. физ. и биофиз. 248
 Био Жан (Biot J.) (1774—1862) — франц. физ. 96—99, 102, 103
 Бир Дж. де (De Beer J.) 236
 Биркс Дж. (Birks J.) 205
 Бирч Франсис (Birch F.) (р. 1903) — амер. физ. 185
 Бирюков А. С. — сов. физ. 269
 Биттер Франсис (Bitter F.) (1902—1967) — амер. физ. 181, 185, 197, 223
 Бладмен Сидней (Bludmen S.) (р. 1927) — амер. физ. 239, 272

Блау Мариетта (Blau M.) (1894—1970) — австр. физ. 193, 194
 Блини Бребис (Bleaney B.) (р. 1915) — англ. физ. 210
 Блинов Б. И. — сов. физ. 263
 Бломберген Николас (Bloembergen N.) (р. 1920) — физ. (Нидерл., США) 210, 212, 214, 231, 234, 238, 243, 247, 254, 276, 277
 Блондель Андре (Blondel A.) (1863—1938) — франц. физ. 27, 139
 Блондло Рене (Blondlot R.) (1849—1930) — франц. физ. 137
 Блох Феликс (Bloch F.) (р. 1905) — физ. (Швейц., США) 42, 43, 47, 176, 179, 193, 194, 199, 204, 205
 Блохинцев Дмитрий Иванович (1908—1979) — сов. физ. 46, 48, 197, 207, 227, 247, 250
 Блум Эллиот (Bloom E.) (р. 1940) — амер. физ. 269
 Блур Джон (Bloor J.) (р. 1929) — амер. хим. и физ. 251
 Блэк Джозеф (Black J.) (1728—1799) — шотл. хим. и физ. 17, 84—86
 Блэккетт Патрик (Blackett P.) (1897—1974) — англ. физ. 46, 170, 171, 183, 185, 186
 Блюит Джон (Blewett J.) (р. 1910) — физ. (Кан., США) 208
 Блюстейн Дж. (Blustein J.) 269
 Бобек Эндрью (Bobek A.) (р. 1926) — амер. физ. и инж. 248, 267
 Богданкевич Олег Владимирович — сов. физ. 260
 Богль Дж. (Bogle G.) 243
 Боголюбов Николай Николаевич (р. 1909) — сов. физ. и матем. 47, 48, 51, 190, 204, 205, 208, 227, 228, 230, 236, 239, 241, 248, 262
 Богомолов Э. А. — сов. физ. 280
 Бозе Джагадис (Bose J.) (1858—1937) — инд. физ. и физиол. 147
 Бозе Шатъендранат (Bose Sh.) (1894—1974) — инд. физ. 168, 169

Бойль Роберт (Boyle R.) (1627—1691) — англ. хим. и физ. 15, 64, 68—70, 74
 Бойль Уиллард (Boyle W.) (р. 1924) — амер. физ. 247
 Бойс Чарлз (Boys Ch.) (1855—1944) — англ. физ. 133, 136
 Бокс Дж. (Boks J.) 169
 Болтвуд Бертрам (Boltwood B.) (1870—1927) — амер. хим. и физ. 149
 Больцман Людвиг (Boltzmann L.) (1844—1906) — австр. физ. 25, 26, 124, 126, 127, 130, 133
 Бом Дейвид (Bohm D.) (р. 1917) — физ. (США, Англ.) 202, 211, 214, 226
 Бондаренко Игорь Ильич (1926—1964) — сов. физ. 230
 Боненбергер Иоганн (Bohnenberger J.) (1765—1831) — нем. геод., астроном. и физ. 118
 Бонетти Альберто (Bonetti A.) (р. 1920) — итал. физ. 223
 Бонс Ульрих (Bonse U.) (р. 1928) — нем. физ. 262
 Бор Нильс (Bohr N.) (1885—1962) — дат. физ. 7, 9, 38—42, 46, 157—159, 164, 167, 173, 174, 192, 198
 Бор Оге (Bohr A.) (р. 1922) — дат. физ. 46, 216, 224, 239
 Борда Жан (Borda J.) (1733—1799) — франц. физ. и геод. 93, 95
 Борелли Джованни (Borelli G.) (1608—1679) — итал. уч. 71, 72, 74
 Борзяк Петр Григорьевич (р. 1903) — сов. физ. 257
 Борисевич Николай Александрович (р. 1923) — сов. физ. 274
 Борн Макс (Born M.) (1882—1970) — нем. физ. 7, 34, 40, 41, 157, 170—172, 174
 Боровик-Романов Андрей Станиславович (р. 1920) — сов. физ. 234, 243
 Боте Вальтер (Bothe W.) (1891—1957) — нем. физ. 169, 170, 178, 188, 191, 193
 Бошкович Руджер (Bošković R.) (1711—1787) — хорват. уч. 84
 Браве Огюст (Bravais A.) (1811—1863) — франц. физ. 117

Брагинский Владимир Борисович (р. 1931) — сов. физ. 272
Брадлей Джеймс (Bradley J.) (1693—1762) — англ. астрон. 79, 80
Брадт Хельмут (Bradt H.) (1917—1950) — физ. (Герм., США) 210
Бракнер Кейт (Brueckner K.) (р. 1924) — амер. физ. 212, 220
Брам Джозеф (Bramah J.) (1749—1814) — англ. мех. и инж. 93
Бранд Хенниг (Brand H.) (ок. 1630 — после 1710) — нем. алхим. 73
Бранделик Р. (Brandelik R.) 276
Брандт Николай Борисович (р. 1923) — сов. физ. 267, 279
Бранли Эдуард (Branley E.) (1844—1940) — франц. физ. 27, 137
Бранс Карл (Brans C.) (р. 1935) — амер. матем. и физ. 252
Браттейн Уолтер (Brattain W.) (р. 1902) — амер. физ. 47, 205, 210, 211
Браун Джеймс (Brown J.) (р. 1923) — амер. физ. 278
Браун Карл (Braun C.) (1850—1918) — нем. физ. 128, 142
Браун Р. (Brown R.) 237
Браунмюль Х. (Braunmühl H.) (Герм.) 143
Браунштейн Рубин (Braunstein R.) (р. 1922) — амер. физ. 223, 238
Браут Р. (Brawt R.) 258
Бреге Абрам (Breguet A.) (1747—1823) — франц. констр. 95, 100
Брейт Грегори (Breit G.) (р. 1899) — амер. физ. 184, 192
Брех Ф. (Brech F.) 254
Бреховских Леонид Максимович (р. 1917) — сов. физ. 203, 272
Бриджес Уильям (Bridges W.) (р. 1934) — амер. физ. 260
Бриджмен Перси (Bridgman P.) (1882—1961) — амер. физ. 195
Бриллюэн Леон (Brillouin L.) (1889—1969) — франц. физ. 40, 43, 167, 172, 175, 176, 178

Бриллюэн Марсель (Brillouin M.) (1854—1948) — франц. физ. 144
Бродский Александр Ильич (1895—1969) — сов. физ. хим. 186
Бродхун Эуген (Brodhun E.) (1860—1938) — нем. физ. 136
Бройль Луи де (Broglie L. de) (р. 1892) — франц. физ. 9, 34, 39—41, 168, 170, 173
Бромли Дейвид (Bromley D.) (р. 1926) — канад. физ. 246
Брон Вальтер (Bron W.) (р. 1930) — физ. (Герм., США) 265
Броссель Жан (Brossel J.) — франц. физ. 214, 223
Броуде Владимир Львович (1924—1978) — сов. физ. 212
Броун Роберт (Brown R.) (1773—1858) — шотл. бот. 106
Бругманс Антон (Brugmans A.) (1732—1789) — гол. уч. 87, 115
Бруно Джордано (Bruno G.) (1548—1600) — итал. уч. 12, 61
Брэгг Генри (Bragg G.) (1862—1942) — англ. физ. 159, 160
Брэгг Лоуренс (Bragg L.) (1890—1971) — англ. физ. 156, 160, 201
Брэдли Ли (Bradley L.) (р. 1926) — амер. физ. 260
Брэккетт Ф. (Brackett F.) 167
Брюке Эрнст (Brücke E.) (1819—1891) — австр. физиол. 117, 125
Брюстер Дейвид (Brewster D.) (1781—1868) — шотл. физ. 98—100, 111
Брюэр Ричард (Brewer R.) (р. 1928) — амер. физ. 270
Буверс Альберт (Bouwens A.) (1893—1972) — нидерл. физ. 253
Бугер Пьер (Bouguer P.) (1698—1758) — франц. уч. 20, 80, 81, 85
Будкер Герш Ицкович (1918—1977) — сов. физ. 222, 233, 256, 264, 265, 276
Бунзен Роберт (Bunsen R.) (1811—1899) — нем. хим. 21, 87, 112, 114, 117, 120
Бункин Федор Васильевич (р. 1929) — сов. физ. 280

Бунятков С. А. — сов. физ. 255, 262
 Буридан Жан (Buridan J.) (1297—1358) — франц. мех. 59
 Буроп Эрик (Burhop E.) (1911—1980) — англ. физ. 259, 278
 Бурровес Г. (Burrowes H.) 221
 Бурштейн Элиас (Burstein E.) (р. 1917) — амер. физ. 228
 Бурштейн Эльхонон Лейбович — сов. физ. 250
 Бут Юджин (Booth E.) (р. 1912) — амер. физ. 199
 Бутаева Фаина Алексеевна (р. 1907) — сов. физ. 220
 Бутслов Михаил Михайлович — сов. физ. 226
 Бухерер Альфред (Bucherer A.) (1863—1927) — нем. физ. 146, 150
 Бухсбаум Соломон (Buchsbaum S.) (р. 1929) — физ. (Пол., США) 257, 261
 Буш Ханс (Busch H.) (1884—1973) — нем. физ. 173
 Бьёркен Джеймс (Bjorken J.) (р. 1934) — амер. физ. 259, 269
 Бьёркнес Вильгельм (Bjerknes W.) (1862—1951) — норв. физ. 137, 138
 Бэкон Роджер (Bacon R.) (ок. 1214—1292) — англ. естествоисп. 10, 59
 Бэкон Франсис (Bacon F.) (1561—1626) — англ. естествоисп. и филос. 62, 64
 Бэр А. (Behr A.) — нем. уч. 80
 Бэчер Роберт (Bacher P.) (р. 1905) — амер. физ. 195
 Бюргерс Йоханнес (Burgers J.) (1895—1982) — нидерл. физ. 200
 Бюффон Жорж (Buffon G.) (1707—1788) — франц. естествоисп. 87
 Бялобжеский Чеслав (Bialobzeski Cz.) (1878—1953) — пол. физ. 160

Вавилов Виктор Сергеевич (р. 1921) — сов. физ. 240, 268
 Вавилов Сергей Иванович (1891—1951) — сов. физ. 6, 42, 45, 168, 176, 189, 250

Вагнер Карл (Wagner C.) (1901—1977) — нем. физ. и физ. хим. 179
 Вайнберг Стивен (Weinberg S.) (р. 1933) — амер. физ. 49, 51, 249, 265, 274
 Вайнен Уильям (Vinen W.) (р. 1930) — англ. физ. 215
 Вайсбергер Уильям (Wiesberger W.) (р. 1937) — амер. физ. 259
 Вайскопф Виктор (Weiskopf V.) (р. 1908) — физ. (Австр., США) 36, 37, 186, 189, 193, 223, 226, 227, 231, 278
 Вайтман Артур (Wightman A.) (р. 1922) — амер. физ. 230
 Вакс Валентин Григорьевич (р. 1932) — сов. физ. 246
 Валак Рейбен (Wallace R.) (р. 1922) — амер. физ. 223
 Валашек Джозеф (Valasek J.) (р. 1897) — амер. физ. 165
 Валлер Ивар (Waller I.) (р. 1898) — швед. физ. 184
 Валлис Джон (Wallis J.) (1616—1703) — англ. матем. 87
 Вальстедт Расселл (Walsstedt R.) (р. 1936) — амер. физ. 268
 Вальтер Антон Карлович (1905—1965) — сов. физ. 182, 183, 194
 Вамбахер Герта (Wambacher G.) (1903—1950) — австр. физ. 194
 Ван Аллен Джеймс (Van Allen J.) (р. 1914) — амер. физ. 242
 Ван де Грааф Роберт (Van de Graaff R.) (1901—1967) — амер. физ. 179, 240
 Ван де Хюлст Хендрик (Van de Hulst H.) (р. 1918) — нидерл. астроном. 220
 Ван ден Брук Антониус (Van den Broek A.) (1870—1926) — нидерл. юрист и физ. 128, 159
 Ван дер Ваальс Йоханнес (Van der Waals J.) (1837—1923) — нидерл. физ. 128
 Ван дер Зил Ян (Van der Ziel J.) (р. 1937) — физ. (Нидерл., США) 263
 Ван Кампен Н. (Van Kampen N.) — нидерл. физ. 231

Ван Марум Мартин (Van Marum M.) (1750—1837) — нидерл. физ. 91, 93

Ван Флек Джон (Van Vlek J.) (1889—1980) — амер. физ. 43, 172, 175, 184, 195, 199, 218

Ван Хеерден Питер (Van Heerden P.) (р. 1915) — физ. (Нидерл., США) 203

Ван Хов Леон (Van Hove L.) (р. 1924) — бельг. физ. 231, 255

Ванг У. (Wang W.) 265

Вангснесс Роалд (Wangsness R.) (р. 1922) — амер. физ. 226

Вант-Гофф Якоб (Van't Hoff J.) (1852—1911) — нидерл. физ. хим. 136

Ванье Грегори (Wannier G.) (р. 1911) — физ. (Швейц., США) 180, 195, 219

Варбург Эмиль (Warburg E.) (1846—1931) — нем. физ. 131

Вариньон Пьер (Varignon P.) (1654—1722) — франц. матем. и мех. 76, 90

Варли Кромвелл (Varley C.) (1828—1883) — англ. физ. 126

Ватагин Глеб (Wataghin G.) (р. 1899) — итал. физ. 200, 202, 236

Ватсон Кеннет (Watson K.) (р. 1921) — амер. физ. 220

Ватсон-Ватт Роберт (Watson-Watt R.) (1892—1973) — шотл. физ. 192

Вебер Вильгельм (Weber W.) (1804—1891) — нем. физ. 21, 22, 83, 105, 106, 109, 110, 114, 116, 118, 119, 121, 126, 128, 143

Вебер Джозеф (Weber J.) (р. 1919) — амер. физ. 228, 243, 244

Вебер Эрнст (Weber E.) (1795—1878) — нем. физиол. 105

Веденов Александр Алексеевич (р. 1933) — сов. физ. 234

Вейль Герман (Weyl H.) (1885—1955) — нем. мат. 164, 235

Вейсс Макс (Weiss M.) (р. 1922) — физ. (Венгр., США) 238

Вейсс Пьер (Weiss P.) (1865—1940) — франц. физ. 140, 150, 154, 164

Вейцзеккер Карл (Weizsäcker C.) (р. 1912) — нем. физ. 191, 192, 196

Векслер Владимир Иосифович (1907—1966) — сов. физ. 45, 47, 202, 203, 208, 209, 233, 236, 270

Велер Фридрих (Wöhler F.) (1800—1882) — нем. хим. 106

Велихов Евгений Павлович (р. 1935) — сов. физ. 256

Велтман М. (Veltman M.) 271

Венельт Артур (Wehnelt A.) (1871—1944) — физ. (Браз., Герм.) 147

Венециано Габриель (Veneziano G.) — итал. физ. 267

Венте Эдвард (Wente E.) (1889—1972) — амер. физ. 129

Венторф Роберт (Wentorf R.) (р. 1926) — амер. физ. хим. 226

Вентцель Грегор (Wentzel G.) (1898—1978) — физ. (Герм., США) 40, 166, 172, 201, 272

Венцель Уильям (Wenzel W.) (р. 1924) — амер. физ. 232

Верещагин Леонид Федорович (1909—1977) — сов. физ. 226, 249, 277

Вернов Сергей Николаевич (1910—1982) — сов. физ. 242

Весс Юлиус (Wess J.) — нем. физ. 272

Вестингауз Джордж (Westinghouse G.) (1846—1914) — амер. изобр. и промыш. 129

Вестон Эдвард (Weston E.) (1850—1936) — инж. (Англ., США) 139

Вивiani Винченцо (Viviani V.) (1622—1703) — итал. уч. 67

Виганд Клайд (Wiegand C.) (р. 1915) — амер. физ. 229, 266

Вигнер Юджин (Wigner E.) (р. 1902) — физ. (Венгр., США) 46, 172, 174, 183, 186, 187, 192—195, 198, 201, 210, 214, 228, 231, 235

Видеман Густав (Wiedemann G.) (1826—1899) — нем. физ. 118, 119

Видероз Рольв (Wideröe R.) (р. 1902) — норв. физ. 170, 175

Види Люсьен (Vidie L.) (1805—1866) — франц. физ. 114

Вик Джанкарло (Wick G.) (р. 1909) — итал. физ. 189, 217

Виллар Поль (Villard P.) (1860—1934) — франц. физ. 144
 Виллари Эмилио (Villari E.) (1836—1904) — итал. физ. 124
 Вильке Иоганн (Wilcke J.) (1732—1796) — швед. физ. 19, 84, 86, 110
 Вильсон Алан (Wilson A.) (р. 1906) — англ. физ. 43, 180, 184
 Вильсон Гарольд (Wilson H.) (1874—?) — физ. (Англ., США) 146
 Вильсон Кеннет (Wilson K.) (р. 1936) — амер. физ. 271
 Вильсон Роберт Вудров (Wilson R. W.) (р. 1936) — амер. физ. 261, 262, 274
 Вильсон Роберт Ратбан (Wilson R. R.) (р. 1914) — амер. физ. 266, 272
 Вильсон У. (Wilson W.) — англ. физ. 161
 Вильсон Чарлз (Wilson Ch.) (1869—1959) — англ. физ. 156
 Вильчек Фрэнк (Wilczek F.) (р. 1951) — амер. физ. 273, 274
 Вильямс Эван (Williams E.) (1903—1945) — англ. физ. 199
 Вин Вильгельм (Wien W.) (1864—1928) — нем. физ. 139, 141, 145, 148, 156
 Винер Норберт (Wiener N.) (1894—1964) — амер. матем. 171
 Винер Отто (Wiener O.) (1862—1927) — нем. физ. 137
 Винклер Иоганн (Winkler J.) (1703—1770) — нем. физ. 78, 83
 Винклер Клеменс (Winkler C.) (1838—1904) — нем. хим. 134
 Винтер Жак (Winter J.) — франц. физ. 243
 Вителлий (Вителло) (Vitellio, Vitello, Witelo) (1230—35—1275—80) — пол. филос. и естествоисп. 10, 59
 Витрувий (Vitruvius) (2-я пол. I в. до н. э.) — древнерим. арх. 57
 Виттемор Уильям (Whittemore W.) (р. 1924) — амер. физ. 219, 224

Вихерт Эмиль (Wiechert E.) (1861—1928) — нем. физ. и геофиз. 141, 142, 173
 Владимирский Василий Васильевич (р. 1915) — сов. физ. 266, 278
 Власов Анатолий Александрович (1908—1975) — сов. физ. 196
 Вокелен Луи (Vauquelin L.) (1763—1829) — франц. хим. 93
 Волков Джордж (Volkoff G.) (р. 1914) — физ. (США, Кан.) 197
 Волков Дмитрий Васильевич (р. 1925) — сов. физ. 243, 253, 272, 278
 Волл (Wall) 77
 Волластон Уильям (Wollaston W.) (1766—1828) — англ. уч. 20, 95—98
 Волосов В. И. — сов. физ. 203
 Вольта Алессандро (Volta A.) (1745—1827) — итал. физ., хим. и физиол. 21, 22, 84, 86—88, 91, 93, 94
 Вольф Г. (Wolff G.) 279
 Вольф Кристиан (Wolff Ch.) (1679—1754) — нем. естествоисп. 79, 87
 Вольфе Раймонд (Wolfe R.) (р. 1927) — амер. физ. 257
 Вольфенштейн Линкольн (Wolfenstein L.) (р. 1923) — амер. физ. 259
 Вольфке Мечислав (Wolfke M.) (1883—1947) — пол. физ. 44, 177, 212
 Вонсовский Сергей Васильевич (р. 1910) — сов. физ. 178, 179
 Ворцель Джон (Worzel J.) (р. 1919) — амер. геофиз. 203
 Ву Цзиньсян (Wu Ch.) (р. 1913) — физ. (Китай, США) 234, 252
 Вугд Дж. (Voogd J.) 181
 Вуд Роберт (Wood R.) (1868—1955) — амер. физ. 145, 154
 Вудбери Эрик (Woodbury E.) (р. 1925) — амер. физ. 254
 Вудынский Михаил Максимович — сов. физ. 220
 Вукс Макс Филиппович (р. 1903) — сов. физ. 191
 Вул Бенцион Моисеевич (р. 1903) — сов. физ. 202, 243, 253

Вулф Майкл (Woolf M.) (р. 1938) — амер. физ. 248, 255

Вульф Георгий (Юрий) Викторович (1863—1925) — сов. физ. и кристалл. 156, 160

Вуестер Уильям (Wooster W.) (р. 1903) — англ. физ. 174

Выставкин Александр Николаевич (р. 1932) — сов. физ. 251

Вюльнер Адольф (Wüllner A.) (1835—1908) — нем. физ. 114

Гааз Артур (Haas A.) (1884—1941) — австр. физ. 152

Гааз Вандер де (Haas W. de) (1878—1960) — нидерл. физ. 162, 173, 179—181

Габор Деннис (Gabor D.) (1900—1979) — физ. (Венгр., Англ.) 212, 214, 262

Гавалер Джон (Gavaler J.) 274

Гавиола Энрико (Gaviola E.) (р. 1900) — аргент. физ. 169, 173

Гагарин Юрий Алексеевич (1934—1968) — сов. космонавт 252

Гадолин Юхан (Иоганн) (Gadolin J.) (1760—1852) — фин. хим. 89, 93

Гайтлер Вальтер (Heitler W.) (1904—1981) — физ. (Герм., Швейц.) 43, 174, 177, 189, 193—195

Галеев Альберт Абубакирович (р. 1940) — сов. физ. 266

Галилей Галилео (Galilei G.) (1564—1642) — итал. физ. 8, 12—14, 35, 61—66, 69

Галицкий Виктор Михайлович (1924—1981) — сов. физ. 240

Галкин Александр Александрович (1914—1982) — сов. физ. 204, 244, 249, 271

Галле Иоганн (Galle J.) (1812—1910) — нем. астроном. 115

Галлей Эдмунд (Halley E.) (1656—1742) — англ. астроном. 79, 102

Гальвакс Вильгельм (Hallwachs W.) (1859—1922) — нем. физ. 134

Гальвани Луиджи (Galvani L.)

(1737—1798) — итал. физ. и физиол. 21, 22, 91, 92

Гамильтон Уильям (Hamilton W.) (1805—1865) — ирланд. матем. и физ. 20, 106, 108, 110, 112

Гамов Джордж (Gamow G.) (1904—1968) — амер. физ. 43, 176, 192, 205, 272

Ган Отто (Hahn O.) (1879—1968) — нем. радиохим. и физ. 44, 46, 151, 153, 166, 196, 197

Ганн Джон (Gunn J.) (р. 1928) — физ. (Англ., США) 257

Гапон Евгений Никитич (1904—1950) — сов. физ. хим. 188

Гапонов-Грехов Андрей Викторович (р. 1926) — сов. физ. 243, 274

Гарбер Рувим Иосифович (р. 1909) — сов. физ. 197

Гарвин Ричард (Garwin R.) (р. 1928) — амер. физ. 235, 238, 250

Гарднер Юджин (Gardner E.) (1913—1950) — амер. физ. 209, 219

Гарибян Григорий Маркарович (р. 1924) — сов. физ. 243

Гармайр Эльза (Garmire E.) (р. 1939) — амер. физ. 264

Гаррет Чарлз (Garrett Ch.) (1925) — физ. (Англ., США) 247, 250

Гартман Д. 164

Гаскойнь Уильям (Gascoigne W.) (1621—1644) — англ. оптик и астроном. 66

Гассенди Пьер (Gassendi P.) (1592—1655) — франц. филос. и уч. 66

Гатчетт Чарлз (Hatchett Ch.) (1765—1847) — англ. хим. 95

ГAUDCМИТ Самьюэл (Goudsmit S.) (1902—1979) — физ. (Нидерл., США) 40, 170, 184

Гауксби Франсис (Hauksbee F.) (1666—1713) — англ. физ. 78

Гаусс Карл (Gauss C.) (1777—1855) — нем. матем., астроном. и физ. 107—112

Гаух Адам (Hauch A.) (1755—1838) — дат. уч. 96

Гаюи Рене (Haüy R.) (1743—1822) — франц. минер. и кристалл. 88, 90

Геде Вольфганг (Gaede W.) (1878—1945) — нем. физ. 148, 160, 162
 Гейгер Пол (Geiger P.) (р. 1896) — амер. физ. 176
 Гейгер Ханс (Geiger H.) (1882—1945) — нем. физ. 150, 151, 170
 Гейзенберг Вернер (Heisenberg W.) (1901—1976) — нем. физ. 40, 41, 43, 45, 170—178, 182, 183, 186, 188, 195, 196, 202, 239
 Гейлиман Борис Товьевич (1914—1977) — сов. физ. 263
 Гей-Люссак Жозеф (Gay-Lussac J.) (1778—1850) — франц. физ. и хим. 95, 97, 106
 Гейсслер Генрих (Geissler H.) (1815—1879) — нем. физ. 119
 Гейтель Ханс (Geitel H.) (1855—1923) — нем. физ. 143, 146, 153, 156
 Гейтсбери Уильям (Heytesbury W.) (XIV в.) — англ. матем. и мех. 59
 Гелл-Манн Мюррей (Gell-Mann M.) (р. 1929) — амер. физ. 47, 50, 223, 227, 229—231, 235, 243, 246, 249, 252, 253, 258, 272, 274
 Гельмгольц Герман (Helmholtz G.) (1821—1894) — нем. естествоисп. 17, 19, 113, 115, 119, 125, 126, 128, 132
 Гемперле Р. (Gemperle R.) 248
 Генри Джозеф (Henry J.) (1797—1878) амер. физ. 105, 108, 113
 Гентнер Вольфганг (Gentner W.) (1906—1980) — нем. физ. 188, 193
 Гёпперт-Майер Мария (Goerpert-Mayer M.) (1906—1972) — физ. (Пол., США) 46, 181, 191, 210, 250
 Герапат Джон (Herapath J.) (1790—1869) — англ. физ. 115, 119
 Герзи (Gerzi) 133
 Герике Отто фон (Guericke O. von) (1602—1686) — нем. физ. 15, 66, 68, 69, 74, 78
 Герлах Вальтер (Gerlach W.) (1889—1979) — нем. физ. 162, 165, 166

Герлах Э. (Gerlach E.) 129
 Гёрлих Пауль (Görlich P.) (р. 1905) — нем. физ. 193
 Гёрни Роналд (Gurney R.) (1899—1953) — англ. физ. 43, 176, 197, 200
 Герон Александрийский (вероятно I—II вв. н. э.) — древнегреч. уч. и инж. 12, 57, 60
 Герц Генрих (Hertz H.) (1857—1894) — нем. физ. 24, 25, 27, 121, 134, 136—138
 Герц Густав (Hertz G.) (1887—1975) — нем. физ. 156—158
 Герцберг Герхард (Hersberg G.) (р. 1904) — физ. (Герм., Кан.) 177
 Гершель Джон (Herschel J.) (1792—1871) — англ. астрон. 112
 Гершель Уильям (Фридрих) (Herschel W.) (1738—1822) — астрон. и физ. (Герм., Англ.) 20, 87, 95
 Герштейн Семен Соломонович (р. 1929) — сов. физ. 252
 Гесс Виктор (Hess V.) (1883—1964) — австр. физ. 44, 156
 Геттинг Иван (Getting I.) (р. 1912) — амер. физ. 217
 Гиббс Джозайя (Gibbs J.) (1839—1903) — амер. физ. 25, 26, 128, 129, 145
 Гизель Фридрих (Giesel F.) (1852—1927) — нем. хим. 143
 Гийо-Гийэн (Guiot-Guilain G.) 218
 Гийом Шарль (Guillaume Ch.) (1861—1938) — швейц. физ. 143, 144
 Гиллеланд Дж. (Gilleland J.) 269
 Гильберт Давид (Hilbert D.) (1862—1943) — нем. матем. 162
 Гильберт Уильям (Gilbert W.) (1544—1603) — англ. физ. и врач 14, 62, 63
 Гинзбург Виталий Лазаревич (р. 1916) — сов. физ. 32, 200, 202, 204, 205, 208, 215, 217, 226, 240, 241
 Гиорсо Альберт (Ghiorso A.) (р. 1915) — амер. физ. и хим. 203, 212, 215, 221, 224, 230, 264, 266

Гипатия (370—415) — александ. матем., астрон. и филос. 58

Гиппарх (II в. до н. э.) — древнегреч. астрон. 9, 56, 57

Гирн Густав (Hirn G.) (1815—1890) — франц. физ. 113, 117, 118

Гитторф Иоганн (Hittorf J.) (1824—1914) — нем. физ. 109, 118, 120, 123, 125, 126

Глаголева-Аркадьева Александра Андреевна (1884—1945) — сов. физ. 168

Глаубер Рой (Glauber R.) (р. 1925) — амер. физ. 239, 256

Глезер Дональд (Glaser D.) (р. 1926) — амер. физ. 222, 243

Гленденин Лоренс (Glendennin L.) (р. 1918) — амер. физ. и хим. 203

Гликсман Морис (Glücksman M.) (р. 1928) — физ. (Кан., США) 237, 241, 244

Глэшоу Шелдон (Glashow Sh.) (р. 1932) — амер. физ. 49, 51, 236, 259, 270, 272, 276

Говард Фэнк (Goward F.) (1919—1954) — англ. физ. 204

Голар Люсьен (Gaulard L.) (1850—1888) — электротехн. (Франц., Итал.) 129, 132

Голд Льюис (Gold L.) (р. 1935) — амер. физ. хим. 256

Голд Томас (Gold T.) (р. 1920) — астрофиз. (Австр., США) 268

Голдсборо Джон (Goldsborough J.) (р. 1934) — амер. физ. 269

Голдстоун Джеффри (Goldstone J.) (р. 1933) — англ. физ. 246, 249

Голицын Борис Борисович (1862—1916) — рус. физ. 139

Головин Игорь Николаевич (р. 1913) — сов. физ. 228, 240, 251

Гольданский Виталий Иосифович (р. 1923) — сов. физ. хим. 245, 246, 253, 262, 266

Гольдбергер Мэввин (Goldberger M.) (р. 1922) — амер. физ. 17, 227, 233, 235, 236, 239

Гольдхабер (Шарф) Гертруда (Goldhaber [Scharff] G.) (р. 1911) — физ. (Герм., США) 277

Гольдхабер Морис (Goldhaber M.) (р. 1911) — физ. (Австр., США) 188, 190, 192, 200, 215, 233, 239, 242

Гольдштейн Эуген (Goldstein E.) (1850—1930) — нем. физ. 129, 132, 133

Гопкинсон Джон (Hopkinson J.) (1849—1898) — англ. физ. 136

Гордиец Борис Федорович (р. 1941) — сов. физ. 269

Гордон Вальтер (Gordon W.) (1893—1939) — нем. физ. 172

Гортер Корнелис (Gorter C.) (1907—1980) — нидерл. физ. 47, 189, 210, 219

Гортер Э. (Gorter E.) 223

Горьков Лев Петрович (р. 1929) — сов. физ. 217, 241, 248, 255

Готро Николас (Gautherot N.) (1753—1803) — франц. учит. музыки 95

Гравезанд Виллем (Gravesande W.) (1688—1742) — гол. уч. 83

Граймс Чарлз (Grimes Ch.) (р. 1931) — амер. физ. 261

Грамм Зеноб (Gramme Z.) (1826—1901) — бельг. электротехн. 121

Грегор Уильям (Gregor W.) (1761—1817) — англ. минер. 93

Грегори Дейвид (Gregory D.) (1661—1710) — шотл. матем. и астрон. 84

Грегори Джеймс (Gregory J.) (1638—1675) — шотл. изобр. 72

Грегори У. (Gregory W.) 269

Грей Стивен (Gray S.) (1666—1736) — англ. физ. 21, 80

Грибов Владимир Наумович (р. 1930) — сов. физ. 239, 253, 269

Григорьев Виктор Никитич (р. 1930) — сов. физ. 272

Гримальди Франческо (Grimaldi F.) (1618—1663) — итал. уч. и свящ. 14, 71

Грин Герберт (Green H.) (р. 1920) — физ. (Англ., Австрал.) 243

Грин Джордж (Green G.) (1793—1841) — англ. матем. и физ. 106, 112
 Грин Роберт (Green R.) (р. 1922) — амер. физ. 277
 Грисволд Томас (Griswold T.) (р. 1925) — амер. физ. 222
 Гриффитс Дж. (Griffith J.) 47, 205
 Грондаль Ларс (Grondahl L.) (1880—?) — амер. физ. 176
 Гросс Дейвид (Gross D.) (р. 1941) — амер. физ. 273, 274
 Гросс Евгений Федорович (1897—1972) — сов. физ. 167, 191, 195, 219, 238
 Гроссе Аристид (Grosse A.) (р. 1905) — хим. (Латвия, США) 199, 208
 Гроссман Марсель (Grossmann M.) (1878—1917) — матем. (Венгр., Швейц.) 157
 Гротгус Кристиан (Grotthus Ch.) (1785—1822) — прибалт. физ. и хим. 96
 Гроув Уильям (Grove W.) (1811—1896) — англ. физ. 107, 115
 Грэве А. 270
 Грэхем Томас (Graham T.) (1805—1869) — шотл. хим. 107
 Грюнейзен Эдвард (Gruneisen E.) (1877—1949) — нем. физ. 43, 151, 154
 Гуггенгеймер К. (Guggenheimer K.) — нем. физ. 188, 210
 Гудман Брук (Goodman B.) (р. 1928) — англ. физ. 208, 226
 Гук Роберт (Hooke R.) (1635—1703) — англ. физ. 14, 64, 69, 71, 73, 74, 100
 Гуляев Юрий Васильевич (р. 1935) — сов. физ. 261, 269, 270
 Гумбольдт Александр (Humboldt A.) (1769—1859) — нем. естествоисп. 103
 Гуревич Вадим Львович (р. 1934) — сов. физ. 251, 255, 257, 263
 Гуревич Исай Израилевич (р. 1912) — сов. физ. 202, 205
 Гусмао Лоренцо (Gusmao L.) (1686—1724) — свящ. (Браз., Португ.) 88

Гэйл Генри (Gale H.) (1874—1942) — амер. физ. 147
 Гюи Луи (Gouy L.) (1854—1926) — франц. физ. 136, 153
 Гюйгенс Константин (Huygens C.) (1596—1687) — гол. дипломат и поэт 71
 Гюйгенс Христиан (Huygens Ch.) (1629—1695) — гол. физ., мех. и матем. 14, 21, 65, 69, 71, 73—77
 Гюрсей Феза (Gürsey F.) — тур. физ. 246, 259
 Давыдов Александр Сергеевич (р. 1912) — сов. физ. 47, 48, 205, 212, 240, 274
 Давыдов Борис Иосифович (1898—?) — сов. физ. 197
 Дагер Луи (Daguerre L.) (1789—1851) — франц. изобр. 112
 Дайем Али (Dayem A.) (р. 1921) — физ. (Египет, США) 261, 268
 Дайсон Фримен (Dyson F.) (р. 1923) — физ. (Англ., США) 8, 47, 209, 214
 Д'Аламбер Жан (D'Alembert J.) (1717—1783) — франц. мех. 17, 81
 Далитц Ричард (Dalitz R.) (р. 1925) — англ. физ. 224, 226, 236, 281
 Дальтон Джон (Dalton J.) (1766—1844) — англ. хим. и физ. 20, 95—97
 Данвуди Г. (Dunwoody H.) — амер. изобр. 148
 Даниель Джон (Daniell J.) (1790—1845) — англ. уч. и изобр. 100, 107
 Данилян Геворг Вардкесович — сов. физ. 278
 Данков Сид (Dancoff S.) — амер. физ. 203
 Даннинг Джон (Dunning J.) (1907—1975) — амер. физ. 46, 184, 191, 194, 198, 199
 Даныш Мариан (Danysz M.) (р. 1909) — пол. физ. 220, 255
 Дарвин Чарлз (Darwin Ch.) (1887—1962) — англ. физ. 160, 163, 167
 Дарвин Эразм (Darwin E.) (1731—1802) — англ. уч. 97

Д'Арланд (D'Arland) — франц. маркиз 88
 Д Арсонваль Жак (D'Arsonval J.) (1851—1940) — франц. физ. и физиол. 132, 133
 Даунт Джон (Daunt J.) (р. 1913) — физ. (Ирл., США) 196, 199
 Дебай Петер (Debye P.) (1884—1966) — физ. и хим. (Герм., США) 42, 43, 157, 162, 163, 167, 168, 173, 175, 179, 185
 Дебенедетти Серджо (De Benedetti S.) (р. 1912) — физ. (Итал., США) 219, 223, 226
 Дебьерн Андре (Debierne A.) (1874—1949) — франц. хим. 143, 154
 Де Витт Брайк (De Witt B.) (р. 1923) — амер. физ. 256
 Девонс Самьюэл (Devons S.) (р. 1914) — физ. (Англ., США) 250
 Девоншир А. (Devonshire A.) 199, 202, 215
 Девятков А. Г. — сов. физ. 260
 Де Жён Пьер (De Gennes P.) (р. 1932) — франц. физ. 214
 Деагулье Жан (Desaguliers J.) (1683—1744) — англ. естествоисп. 81
 Дезорм Шарль (Desormes Ch.) (1777—1862) — франц. хим. 101
 Дейман Иоганн (Diemann J.) (1743—1808) — нидерл. врач 95
 Дейч Мартин (Deutsch M.) (р. 1917) — амер. физ. 219
 Декарт Рене (Descartes R.) (1596—1650) — франц. филос., физ. и матем. 14, 65—68, 74
 Делабр Жан (Delambre J.) (1749—1822) — франц. астрон. и геод. 93
 Деларош Франсуа (Delaroché F.) (1743—1812) — хим. и мед. (Швейц., Франц.) 98
 Делюк Жан (Deluc J.) (1727—1817) — швейц. физ. 60, 84—87
 Де Мариа Антони (DeMaria A.) (р. 1931) — физ. (Итал., США) 260, 264
 Дембер Гарри (Dember H.) (1882—1943) — нем. физ. 181
 Демельт Ханс (Dehmelt H.) (р. 1922) — физ. (Герм., США) 217, 237, 239

Демирханов Р. А. — сов. физ. 241
 Демокрит (ок. 460—370 гг. до н. э.) — древнегреч. уч. 9, 55
 Демпстер Артур (Dempster A.) (1886—1950) — канад. физ. 44, 164, 191
 Денисюк Юрий Николаевич (р. 1927) — сов. физ. 254
 Деннисон Дейвид (Dennison D.) (1900—1976) — амер. физ. 174, 202
 Депре Марсель (Deprez M.) (1843—1918) — франц. физ. и инж. 132
 Дерр Вернон (Derr V.) (р. 1921) — амер. физ. 247
 Дехтяр М. В. — сов. физ. 181
 Джаван Али (Javan A.) (р. 1926) — физ. (Иран, США) 160, 247, 254, 256, 264, 267, 268
 Джаффе Роберт (Jaffe R.) (р. 1946) — амер. физ. 278
 Джебалл Теодор (Geballe T.) (1920) — амер. физ. 205, 251, 257
 Джеймс Реджиналд (James R.) (1891—1964) — англ. физ. 176
 Желепов Борис Сергеевич (р. 1910) — сов. физ. 219
 Желли Дж. (Jelley J.) 217
 Джермер Лестер (Germer L.) (1896—1971) — амер. физ. 44, 174
 Джеффрис Карсон (Jeffries C.) (р. 1922) — амер. физ. 266
 Джинс Джеймс (Jeans J.) (1877—1946) — англ. физ. 36, 144
 Жиок Уильям (Giauque W.) (р. 1895) — амер. физ. 148, 173, 178
 Джозефсон Брайан (Josephson B.) (р. 1940) — англ. физ. 254
 Джонс Г. (Jones H.) — англ. физ. 196
 Джонсон Монтгомери (Johnson M.) (р. 1907) — амер. физ. 199
 Джорджи Говард (Georgi H.) — амер. физ. 272
 Джоуль Джеймс (Joule J.) (1818—1889) — англ. физ. 17, 19, 20, 97, 112, 113, 115—119

Джуэлл Л. (Juall L.) 141
 Дзялошинский Игорь Ехнелевич (р. 1931) — сов. физ. 237, 238, 243, 244
 Дивер Баском (Deaver B.) (р. 1930) — амер. физ. 251
 Дивиш Прокоп (Divish P.) (1698—1765) — чеш. физ. 83
 Дидоменико Мауро (Didomenico M.) (р. 1937) — амер. физ. 260
 Дизель Рудольф (Diesel R.) (1858—1913) — нем. инж. 122
 Дикке Роберт (Dicke R.) (р. 1916) — амер. физ. 203, 205, 223, 228, 240, 252, 261, 278
 Дингл Раймонд (Dingle R.) (р. 1935) — физ. (Австрал., США) 219, 225
 Дирак Поль (Dirac P.) (р. 1902) — англ. физ. 40, 41, 43, 44, 54, 171, 172, 174—176, 178, 179, 184—186, 193, 207, 242
 Дмитренко Игорь Михайлович (р. 1928) — сов. физ. 261
 Добрецов Леонтий Николаевич (1904—1968) — сов. физ. 176
 Добротин Николай Алексеевич (р. 1908) — сов. физ. 214
 Додд Дж. (Dodd J.) 260
 Долен Ричард (Dolen R.) (р. 1936) — амер. физ. 261
 Доливо-Добровольский Михаил Иосифович (1862—1919) — рус. физ. и электротехн. 27, 136—138
 Долл Р. (Doll R.) — нем. физ. 251
 Доллонд Джон (Dollond J.) (1706—1761) — англ. оптик 20, 84, 85
 Доплер Кристиан (Doppler Ch.) (1803—1853) — австр. физ., матем. и астрон. 113, 117
 Дор А. (Dor A.) 177
 Дорн Фридрих (Dorn F.) (1848—1916) — нем. физ. 144
 Дорфман Яков Григорьевич (1898—1974) — сов. физ. 168, 179, 203, 219, 225
 Доусон Ф. (Dawson F.) 260
 Дреббель Корнелиус (Drebbel C.) (1572—1634) — гол. уч. 63, 64

Дрессельхаус Джен (Dresselhaus G.) (р. 1929) — физ. (Чех., США) 225
 Дрекслер М. (Drexler M.) 231
 Друде Пауль (Drude P.) (1863—1906) — нем. физ. 142
 Друин Виктор Александрович — сов. физ. 250
 Дудко Константин Львович (р. 1937) — сов. физ. 27
 Дулей Р. (Dolley R.) 263
 Дуэн Уильям (Duane W.) (1872—1935) — амер. физ. 149, 162
 Дыхне Александр Михайлович (р. 1933) — сов. физ. 256
 Дьюар Джеймс (Dewar J.) (1842—1923) — англ. хим. и физ. 139, 142, 143
 Дьюлаи З. (Gyulai Z.) 173
 Дэви Гемфри (Davy H.) (1778—1829) — англ. хим. и физ. 20, 21, 94, 96, 97, 102
 Дэви Эдмунд (Davy E.) (1785—1851) — англ. хим. 110
 Дэвис Роберт (Davis R.) (р. 1926) — амер. физ. 229, 251
 Дэвиссон Клинтон (Davisson C.) (1881—1958) — амер. физ. 44, 174
 Д'Эспанья Бернард (D'Espagnat B.) (р. 1921) — франц. физ. 233
 Дюамель Жан (Duhamel J.) (1797—1872) — франц. физ. и матем. 115
 Дюлонг Пьер (Dulong P.) (1785—1838) — франц. физ. и хим. 100, 101, 107
 Дюмонд Джессе (Dumond J.) (1892—1976) — амер. физ. 212
 Дю Пре Ф. (Du Pre F.) 191, 211
 Дюфе Шарль (Du Fay Ch.) (1698—1739) — франц. физ. 21, 80, 84
 Дюфор Луи (Dufour L.) (1832—1892) — швейц. физ. 127

Евклид (III в. до н. э.) — древнегреч. уч. 9, 10, 12, 55, 57, 59, 60
 Елинсон Матвей Ильич — сов. физ. 265
 Еремеев Михаил Александрович (1902—1976) — сов. физ. 191

Еременко Виктор Валентинович (р. 1932) — сов. физ. 271
Есельсон Борис Наумович (1917—1980) — сов. физ. 272
Ефремов Дмитрий Васильевич (1900—1960) — сов. уч. 236

Жакино Пьер (Jacquinot P.) (р. 1910) — франц. физ. 212
Жамен Жюль (Jamin J.) (1818—1886) — франц. физ. 119

Живер Ивар (Gjaever I.), (р. 1929) — физ. и инж. (Норв., США) 52, 248, 261

Жир Ф. (Gires F.) — франц. физ. 260

Жолио-Кюри Ирен (Jolliot-Curie J.) (1897—1956) — франц. физ. и хим. 46, 181, 185, 186, 188

Жолио-Кюри Фредерик (Jolliot-Curie F.) (1900—1958) — франц. физ. 46, 53, 181, 185, 186, 188, 198, 199

Жолли Филипп (Jolly Ph.) (1809—1884) — нем. физ. 27, 115

Журков Серафим Николаевич (р. 1905) — сов. физ. 192

Жюрен Джеймс (Jurin J.) (1684—1750) — англ. физиол. 79

Завадский Эдвальд Абрамович (р. 1927) — сов. физ. 271

Завойский Евгений Константинович (1907—1976) — сов. физ. 47, 203, 205, 226, 251, 268

Займан Джон (Ziman J.) (р. 1925) — англ. физ. 251

Замбони Джузеппе (Zamboni G.) (1776—1846) — итал. физ. 96

Захарченя Борис Петрович (р. 1928) — сов. физ. 238, 268

Зацепин Георгий Тимофеевич (р. 1917) — сов. физ. 214

Зворыкин Владимир (Zworykin V.) (1889—1982) — амер. инж. 181

Зеебек Томас (Seebeck T.) (1770—1831) — нем. физ. 21, 102

Зеебер Людвиг (Seeber L.) (1793—1855) — нем. физ. 105

Зеeman Питер (Zeeman P.) (1865—1943) — нидерл. физ. 29, 141, 143

Зейтц Фредерик (Seitz F.) (р. 1911) — амер. физ. 187

Зельдович Борис Яковлевич (р. 1944) — сов. физ. 272

Зельдович Яков Борисович (р. 1914) — сов. физ. 46, 198, 202, 220, 226, 232, 252, 262

Зигмонди Ричард (Zeigmondy R.) (1865—1929) — хим. (Австр., Герм.) 146

Зидентопф Генри (Siedentopf H.) (1872—1940) — нем. физ. 146

Зикики Антонино (Zichichi A.) — итал. физ. 250

Зильберман Иоганн (Silbermann J.) (1806—1865) — франц. хранит. музея 118

Зинер Кларенс (Zener C.) (р. 1905) — амер. физ. 190

Зинн Вальтер (Zinn W.) (р. 1906) — амер. физ. 47, 198, 199, 201, 202, 204, 219

Зинн-Жюстен Ж. (Zinn-Justin J.) — франц. физ. 271

Золотарев Макс Самуилович (р. 1941) — сов. физ. 279

Зоммерфельд Арнольд (Sommerfeld A.) (1868—1951) — нем. физ. 7, 43, 139, 159, 161, 162, 165, 176

Зумино Бруно (Zumino B.) (р. 1923) — итал. физ. 235, 265, 272, 278

Зюсс Ханс (Suess H.) (р. 1909) — хим. и физ. хим. (Герм., США) 210

Ибн Сина (Авиценна) (980—1037) — среднеазнат. уч., филос. и врач. 58

Иваненко Дмитрий Дмитриевич (р. 1904) — сов. физ. 45, 46, 178, 182, 188, 194, 196, 203, 239

Иванов Виктор Евгеньевич (1908—1980) — сов. физ. 223

Иванов Ю. Л. — сов. физ. 237

Ивинг М. (Iving M.) 203

Ивон Дж. (Evon J.) 193

Изинг Густав (Ising G.) (1883—1960) — швед. физ. 170

Изинг Э. (Ising E.) — швед. физ. 170

Икеда М. (Ikeda M.) — япон. физ. 243
 Илиоулоос Джов (Iliououlos J.) 259, 270
 Интема Джордж (Yntema G.) (р. 1926) — амер. физ. 252
 Иона-Лазинио Джованни (Jonna-Lasinio G.) — итал. физ. 246
 Иордан Паскуаль (Jordan P.) (1902—1980) — нем. физ. 40, 170—172, 174
 Иоффе Абрам Федорович (1880—1960) — сов. физ. 6, 7, 43, 160, 163, 168, 173, 184
 Иоффе Моисей Соломонович — сов. физ. 237, 251
 Ипсилантис Т. (Ypsilantis T.) 229
 Исаак Дж. (Isaak G.) 135
 Ито И. (Itoh J.) 238
 Ишивара Джун (Ishiwara J.) (1881—1947) — япон. физ. 161
 Йедлик Аньош (Jedlik A.) (1800—1895) — венг. физ. 108, 125
 Йенни Дональд (Jennie D.) (р. 1924) — амер. физ. 236
 Йенсен Ханс (Jensen H.) (1907—1973) — нем. физ. 46, 210
 Йорк Герберт (York H.) (р. 1921) — амер. физ. 222
 Йорк Карл (York C.) (р. 1925) — амер. физ. 223
 Йоос Георг (Joos G.) (1894—1959) — нем. физ. 134
 Йост Рес (Jost R.) (р. 1918) — швейц. физ. 235
 Кабанн Жан (Cabbannes J.) (1885—1959) — франц. физ. 177
 Кабиббо Николо (Cabibbo N.) (р. 1935) — итал. физ. 255
 Кавендиш Генри (Cavendish H.) (1731—1810) — англ. физ. и хим. 85, 87, 91, 94
 Каган Юрий Моисеевич (р. 1928) — сов. физ. 267, 281
 Каганов Моисей Исаакович (р. 1921) — сов. физ. 237, 243
 Каданов Лео (Kadanoff L.) (р. 1937) — амер. физ. 263
 Кадомцев Борис Борисович (р. 1928) — сов. физ. 52, 237, 247
 Казалис Дж. де 59

Казачковский Олег Дмитриевич (р. 1915) — сов. физ. 230
 Казимир Хендрик (Casimir H.) (р. 1909) — нидерл. физ. 189, 197, 211
 Казолли Э. (Casolli E.) 276
 Кайзер Вольфганг (Kaiser W.) (р. 1925) — нем. физ. 250
 Какичашвили Ш. Д. — сов. физ. 271
 Калашников Сергей Григорьевич (р. 1906) — сов. физ. 268
 Каллан Николас (Callan N.) (1799—1864) — ирланд. физ. 117, 124
 Калсруд Рассел (Kulsrud R.) (р. 1928) — амер. физ. 237
 Калуца Теодор (Kaluza T.) (1885—1954) — нем. физ. 166
 Кальдани Леопольдо (Caldani L.) (1725—1813) — итал. уч. 84
 Кальете Луи (Cailletet L.) (1832—1913) — франц. инж. 27, 129
 Кальман Хартмут (Callman H.) (1896—1978) — нем. физ. 208, 209
 Камак М. (Kamack M.) 220
 Камерлинг-Оннес Гейке (Kamerlingh-Onnes H.) (1853—1926) — нидерл. физ. 43, 44, 151, 152, 154, 155, 160, 161, 169
 Кан (Лазарева) Любовь Самуиловна (р. 1909) — сов. физ. 203
 Кант Иммануил (Kant I.) (1724—1804) — нем. филос. 84
 Кантон Джон (Canton J.) (1718—1772) — англ. физ. 78, 84, 85
 Каньяр де Латур Шарль (Cagniard de Latour Ch.) (1776—1859) — франц. инж. 123
 Капица Петр Леонидович (р. 1894) — сов. физ. 47, 48, 165, 168, 169, 177, 190, 196, 197, 201, 240
 Каплан Даниель (Kaplan D.) (р. 1932) — амер. физ. 263
 Карвер Томас (Carver T.) (р. 1929) — амер. физ. 225
 Кардано Джироламо (Cardanus G.) (1501—1576) — итал. естествосп. 12, 60

- Карлейль Антони (Carlisle A.) (1768—1840) — англ. врач. 94
- Карлсон Джон (Carlson J.) (р. 1899) — амер. физ. 194
- Карман Теодор (Karman T.) (1881—1963) — нем. мех. 157
- Карнаузов Виталий Александрович — сов. физ. 250, 253
- Карно Никола (Carnot N.) (1796—1832) — франц. физ. и инж. 20, 104
- Каррыев Нури Атолиевич (р. 1917) — сов. физ. 195, 219
- Картан Эли (Cartan E.) (1869—1951) — франц. матем. 164
- Карягин Stanisлав Викторович (р. 1933) — сов. хим. 253
- Каскариоло Винченцо (Cascariolo V.) (Итал.) 63
- Каспер Дж. (Kasper J.) 262
- Кассен Бенедикт (Cassen B.) (р. 1902) — амер. физ. 183
- Кассини Джованни (Cassini J.) (1625—1712) — астрон. (Итал., Франц.) 74
- Кастелли Бенедетто (Castelli B.) (1577—1644) — итал. матем. и физ. 65
- Кастлер Альфред (Kastler A.) (р. 1902) — франц. физ. 214, 220, 223, 256
- Каталан Мигель (Catalan M.) (1894—1957) — исп. физ. 167
- Катер Генри (Kater H.) (1777—1835) — англ. мех. 100
- Кауфман Вальтер (Kauffman W.) (1871—1947) — нем. физ. 28, 145
- Кауфман (Kauffman) 148
- Каш Поликарп (Kusch P.) (р. 1911) — амер. физ. 209, 227
- Квинке Георг (Quincke G.) (1834—1924) — нем. физ. 124
- Квист Теодор (Quist T.) (р. 1931) — амер. физ. 253
- Кеезом А. (Keesom A.) — нидерл. физ. 192
- Кеезом Виллем (Keesom W.) (1876—1956) — нидерл. физ. 44, 169, 177, 185, 192
- Кейн Эван (Kane E.) (р. 1924) — амер. физ. 237
- Кейфель Джек (Keuffel J.) (1919—1974) — амер. физ. 210
- Келдыш Леонид Вениаминович (р. 1931) — сов. физ. 237, 240, 244, 261, 268
- Келдыш Мстислав Всеволодович (1911—1978) — сов. матем. и мех. 238
- Келих Станислав (Kielich S.) (р. 1925) — пол. физ. 240, 260
- Кеммер Николас (Kemmer N.) (р. 1911) — физ. (Россия, Англ.) 192, 193, 195, 272
- Кенигсбергер Иоганн (Königsberger J.) (1874—?) — нем. физ. 150
- Кеплер Иоганн (Kepler J.) (1571—1630) — нем. астрон. и физ. 11, 12, 14, 62—64, 74, 127
- Керр Джон (Kerr J.) (1824—1907) — шотл. физ. 27, 129
- Керр Рой (Kerr R.) (р. 1934) — амер. матем. 257
- Керст Дональд (Kerst D.) (р. 1911) — амер. физ. 200, 201, 225, 233
- Кеттелер Эдуард (Ketteler E.) (1836—1900) — нем. физ. 128
- Киббл Томас (Kibble T.) (р. 1932) — англ. физ. 258
- Кикоин Исаак Константинович (р. 1908) — сов. физ. 187, 261
- Ким Йонг (Kim Y.) (р. 1922) — физ. (Корея, США) 263
- Кингстон Роберт (Kingston R.) (р. 1928) — амер. физ. 254
- Кип Артур (Kip A.) (р. 1910) — амер. физ. 215, 225
- Кирби Джордж (Kirby G.) (р. 1916) — амер. физ. хим. 276
- Кириллов Емпиdifор Анемподистович (1883—1964) — сов. физ. 179
- Кириллов-Угрюмов Виктор Григорьевич (р. 1924) — сов. физ. 277
- Кирквуд Джон (Kirkwood J.) (1907—1959) — амер. физ. и хим. 193
- Кириичева Мелитина Владимировна (1887—1923) — сов. физ. 163
- Кирхгоф Густав (Kirchhoff G.) (1824—1887) — нем. физ. 21, 36, 114, 119, 120, 123, 132
- Киттель Чарлз (Kittel Ch.) (р. 1916) — амер. физ. 47, 48, 208, 219, 220, 223, 225, 248

Клайн Дуглас (Cline D.) (р. 1934) — физ. (Англ., США) 277

Клапейрон Бенуа (Clapeyron B.) (1799—1864) — франц. физ. 19, 110

Клапрот Мартин (Klaproth M.) (1743—1817) — нем. хим. 92

Кларк Джон (Clarke J.) (р. 1942) — физ. (Англ., США) 265, 268

Кларк Латимер (Clark L.) (1822—1898) — англ. физ. и инж. 139

Клаузиус Рудольф (Clausius R.) (1822—1888) — нем. физ. 20, 25, 26, 110, 115—119, 121, 123, 126, 131

Клей Якоб (Clay J.) (1882—1955) — нидерл. физ. 175

Клейн Оскар (Klein O.) (1894—1977) — швед. физ. 43, 166, 172, 174, 177, 255

Клейнман Леонард (Kleinman L.) (р. 1933) — амер. физ. 243

Клейст Эльвальд фон (Kleist E. von) (1700—1748) — нем. каноник 21, 82

Клеман Никола (Clement N.) (1779—1841) — франц. хим. 101

Климонтович Юрий Львович (р. 1924) — сов. физ. 265

Клингер Михаил Израйлевич (р. 1930) — сов. физ. 251, 257

Клузиус Клаус (Clusius K.) (р. 1903) — физ. (Герм., Швейц.) 185

Клышко Давид Николаевич (р. 1929) — сов. физ. 256

Ключарев Алексей Павлович (1910—1969) — сов. физ. 249

Кнепп Б. (Knapp B.) 277

Книппинг Пауль (Knipping P.) (1883—1935) — нем. физ. 44, 156

Кноблаух Карл (Knoblauch C.) (1820—1895) — нем. физ. 96, 115

Кнолл Макс (Knoll M.) (1897—1969) — нем. физ. 181

Кобаяши М. (Kobayashi M.) — япон. физ. 274

Коварски Лев (Kowarski L.) (1907—1979) — франц. физ. 198, 199

Когельник Хервиг (Kogelnik H.) (р. 1932) — физ. (Австр., США) 263

Козик В. С. — сов. физ. 280
Козодаев Михаил Силыч — сов. физ. 188

Козырев Борис Михайлович (1905—1979) — сов. физ. 211

Кокрофт Джон (Cockroft J.) (1897—1967) — англ. физ. 45, 182

Колгейт Стирлинд (Colgate S.) (р. 1925) — амер. физ. 228

Колладон Жан (Colladon J.) (1802—1893) — швейц. инж. 106

Коллер Льюис (Koller L.) (р. 1895) — амер. физ. 178

Коллинсон Питер (Collinson P.) (1694—1768) — англ. уч. 82

Коломенский Андрей Александрович (р. 1920) — сов. физ. 225, 236

Кольрауш Карл (Kohlgauisch C.) (1884—1953) — австр. физ. 148

Кольрауш Рудольф (Kohlgauisch R.) (1809—1858) — нем. физ. 119

Кольхёрстер Вернер (Kohlhörster W.) (1887—1946) — нем. физ. 178, 195

Комар Евгений Григорьевич (1907—1974) — сов. физ. 236, 265

Комптон Артур (Compton A.) (1892—1962) — амер. физ. 39, 147, 167, 170, 175

Кон 208

Конверси Марселло (Conversi M.) (р. 1917) — итал. физ. 206

Кондо Дж. (Kondo J.) 261

Кондон Дж. (Condon J.) 268

Кондон Эдвард (Condon E.) (1902—1974) — амер. физ. 43, 176, 183, 191

Кондорсе Мари (Condorcet M.) (1743—1794) — франц. филос., матем. и полит. деят. 93

Кондуков Игорь Андреевич (р. 1932) — сов. физ. 281

Коновалов Евгений Григорьевич (1914—1974) — сов. уч. в области машиностроения 251

Конопинский Эмиль (Konopinsky E.) (р. 1911) — амер. физ. 220

- Конради Иоганн (Conradi J.) (? — 1742) — нем. уч. 74
- Константинов Олег Викторович (р. 1930) — сов. физ. 249, 268
- Конюхов Вадим Константинович — сов. физ. 256, 264
- Коперник Николай (Copernik M.) (1473—1543) — пол. астрон. 11, 12, 60
- Коппе Хейнц (Koppe H.) (р. 1918) — нем. физ. 208
- Кориолис Гюстав (Coriolis G.) (1792—1843) — франц. мех. 106, 107, 110
- Корк Брюс (Cork B.) (р. 1915) — амер. физ. 232
- Корнеев Д. Н. — сов. физ. 265
- Корню Мари (Cornu M.) (1841—1902) — франц. физ. 142
- Королев Сергей Павлович (1907—1966) — сов. констр. косм. систем 238
- Коротких Е. М. — сов. физ. 281
- Корринга Ян (Korringa J.) (р. 1915) — физ. (Нидерл., США) 208
- Косевич Арнольд Маркович (р. 1928) — сов. физ. 226, 231
- Коссель Вальтер (Kossel W.) (1888—1956) — нем. физ. 160, 162, 165
- Костаньоли К. (Costanioli C.) 245
- Костер Дирк (Coster D.) (1889—1950) — нидерл. физ. 166
- Коттон Эме (Cotton E.) (1869—1951) — франц. физ. 150
- Коуэн Клайд (Cowan C.) (1919—1974) — амер. физ. 232
- Коши Огюстен (Cauchy O.) (1789—1857) — франц. матем. 21, 103
- Коэн Мэрвин (Cohen M.) (р. 1942) — физ. (Кан., США) 255, 261
- Коэн-Таннуджи Клод (Cohen-Tannoudji C.) (р. 1933) — франц. физ. 251, 253
- Краммерс Хендрик (Kramers H.) (1894—1952) — нидерл. физ. 40, 169, 172, 173, 175, 176, 178, 193, 218, 223
- Крауфорд Фрэнк (Crawford F.) (р. 1923) — амер. физ. 229, 235
- Крафт Георг (Kraft G.) (1701—1754) — нем. физ. 81
- Крейн Хорас (Crane H.) (р. 1907) — амер. физ. 255
- Крёниг Август (Krönig A.) (1822—1879) — нем. физ. 116, 119
- Кресин Владимир Зиновьевич — сов. физ. 263
- Кристенсен К. (Christensen C.) 209
- Кристенсон Дж. (Christenson J.) 259
- Кристиансен Кристиан (Christiansen Ch.) (1843—1917) — дат. физ. 123
- Кристофилос Николас (Christophilos N.) (1917—1972) — амер. физ. 47, 216
- Критчфилд Чарлз (Critchfield Ch.) (р. 1910) — амер. физ. 195
- Кришнан Карнаманиккам (Krishnan K.) (1898—1961) — инд. физ. 44, 177
- Кролл Норман (Kroll N.) (р. 1922) — амер. физ. 254, 262, 265
- Крониг Ральф (Kronig R.) (р. 1904) — нидерл. физ. 170, 173, 178, 180, 199
- Кронин Джеймс (Cronin J.) (р. 1931) — амер. физ. 258, 259
- Кросс Лесли (Cross L.) (р. 1923) — физ. (Англ., США) 254
- Крохин Олег Николаевич (р. 1932) — сов. физ. 251, 260
- Крукс Уильям (Crookes W.) (1832—1919) — англ. хим. и физ. 27, 116, 127, 130, 134, 141, 146, 159
- Крупчицкий Петр Александрович — сов. физ. 259
- Крускал Мартин (Kruskal M.) (р. 1925) — амер. физ. 228, 234, 241
- Крылов Николай Митрофанович (1879—1955) — сов. матем. 190
- Краншоу Т. (Cranshaw T.) 236
- Крю Альберт (Crewe A.) (р. 1927) — физ. (Англия, США) 270
- Крю А. 245
- Крюгер Хуберт (Krüger H.) — нем. физ. 217

Ктесибий (2-я пол. III в. до н. э.) — древнегреч. мех. 57
 Кубо Риго (Kubo R.) (р. 1920) — япон. физ. 231, 238, 257
 Кузанский Николай (Кребс) (Cusanus N.) (1401—1464) — нем. филос. и матем. 11, 60
 Кук Уильям (Cooke W.) (1806—1879) — англ. электротехн. 109, 110
 Кул Террил (Cool T.) (р. 1936) — амер. физ. 262
 Кулибин Иван Петрович (1735—1818) — рус. изобр. 87
 Кулидж Уильям (Coolidge W.) (1873—1975) — амер. физ. 161
 Куленкампф Хельмут (Kulenkampff H.) (1895—1971) — нем. физ. 195
 Кулон Шарль (Coulomb Ch.) (1736—1806) — франц. физ. 21, 87, 88, 90—92, 93
 Кун У. (Kuhn U.) 26
 Кундт Август (Kundt A.) (1839—1894) — нем. физ. 7, 123—125
 Купер Леон (Cooper L.) (р. 1930) — амер. физ. 51, 52, 233, 236, 241
 Купфер Адольф (Kupffer A.) (1799—1865) — хим. и физ. (Герм., Россия) 105
 Курант Эрнест (Courant E.) (р. 1920) — физ. (Герм., США) 217
 Курдюмов Георгий Вячеславович (р. 1902) — сов. металлофиз. 212, 215
 Курлбаум Фердинанд (Kurlbaum F.) (1857—1927) — нем. физ. 37, 139, 142—144
 Курнит Норман (Kurnit N.) (р. 1939) — амер. физ. 260
 Курти Николас (Kurti N.) (р. 1908) — физ. (Венгр., Англ.) 189, 231
 Куртуа Бернар (Courtous B.) (1777—1838) — франц. хим. 98
 Курчатов Игорь Васильевич (1903—1960) — сов. физ. 6, 46, 48, 53, 191, 201, 202, 205, 213, 224, 227, 234
 Кэйз Теодор (Case T.) (1888—1944) — амер. физ. 164
 Кюнцлер Джон (Kunzler J.)

(р. 1923) — амер. физ. 252
 Кюри Жак (Curie J.) (1855—1941) — франц. минер. 27, 131
 Кюри Пьер (Curie P.) (1859—1906) — франц. физ. 27—29, 131, 133, 139, 140, 142—144, 146, 150

Лаборд А. (Laborde A.) 29, 146
 Лаваль Карл (Laval K.) (1845—1943) — швед. инж. 133
 Лавуазье Антуан (Lavoisier A.) (1743—1794) — франц. хим. 19, 84, 86—88, 91, 93
 Лагранж Жозеф (Lagrange J.) (1736—1813) — франц. мех. и матем. 92, 93, 106
 Ладенбург Рудольф (Ladenburg R.) (1882—1952) — физ. (Герм., США) 17, 166, 176
 Лазарев Борис Георгиевич (р. 1906) — сов. физ. 193, 203, 257
 Лайман Теодор (Lyman T.) (1874—1954) — амер. физ. 148
 Лайонс Гарольд (Lyons H.) (р. 1913) — амер. физ. 220
 Ламберт Иоганн (Lambert J.) (1728—1777) — нем. уч. 20, 80, 85, 87
 Ламбертсон Гленн (Lambertson G.) (р. 1926) — амер. физ. 232
 Ланге Бруно (Lange B.) (р. 1902) — нем. физ. 179
 Ланге Людвиг (Lange L.) (1863—1936) — нем. физ. 134
 Ланген Эйген (Langen E.) (1833—1895) — нем. инж. 122
 Лангенберг Дональд (Langenberg D.) (р. 1932) — амер. физ. 261, 265, 269
 Лангсдорф Александр (Langsdorf A.) (р. 1912) — амер. физ. 193
 Ландау Лев Давидович (1908—1968) — сов. физ. 6, 47, 48, 174, 179, 184, 187, 191, 193—195, 197, 200, 203, 205, 217, 228, 233, 235, 244, 265
 Ланде Альфред (Lande A.) (1888—1975) — физ. (Герм., США) 166, 168
 Ландсберг Григорий Самуилович (1890—1957) — сов. физ. 44, 167, 177—179, 181, 191

- Ланжевеп Поль (Langevin P.) (1872—1946) — франц. физ. 7, 147, 148, 154, 155, 159, 163
- Ланкард Дж. (Lankard J.) 264
- Лаплас Пьер (Laplace P.) (1749—1827) — франц. астроном., физ. и матем. 17, 19, 86—88, 93, 96, 97, 100, 102, 106
- Лапорт Отто (Laporte O.) (1902—1971) — амер. физ. 169
- Ларкин Анатолий Иванович (р. 1932) — сов. физ. 246, 255, 265, 266
- Лармор Джозеф (Larmor J.) (1857—1942) — англ. физ. и матем. 25, 139, 144, 146
- Ларсон Карл (Larsson K.) (р. 1923) — швед. физ. 241
- Латроп Дж. (Lathrop J.) 245
- Латтес Чезаре (Lattes G.) (р. 1924) — браз. физ. 206, 209
- Латышев Георгий Дмитриевич (1907—1973) — сов. физ. 182, 183
- Лаурицен Чарлз (Lauritsen Ch.) (1892—1968) — амер. физ. 186
- Лауэ Макс (Laue M.) (1879—1960) — нем. физ. 42, 44, 155, 156
- Лачинов Дмитрий Александрович (1842—1902) — рус. физ. и электротехн. 132
- Лашкарев Вадим Евгеньевич (1903—1974) — сов. физ. 201, 208, 212
- Лебедев Александр Алексеевич (1893—1969) — сов. физ. 185
- Лебедев Петр Николаевич (1866—1912) — рус. физ. 7, 24, 28, 29, 139, 143
- Лебедев Ю. А. — сов. физ. 281
- Леверье Урбан (Le Verrier U.) (1811—1877) — франц. астроном. 17, 115
- Леви Морис (Levy M.) (р. 1922) — франц. физ. 246
- Левинг Карл (Löwig C.) (1803—1890) — нем. хим. 105
- Леви-Чивита Туллио (Levi-Civita T.) (1873—1941) — итал. матем. 144
- Лёвшин Вадим Леонидович (1896—1969) — сов. физ. 168, 170, 181, 250
- Легей Франсуа (Legay F.) (р. 1929) — франц. физ. 260
- Легей-Соммер Х. (Legay-Sommaire H.) 260, 262
- Легроу Р. (LeGraw R.) 255
- Ледерман Леон (Lederman L.) (р. 1922) — амер. физ. 49, 232, 235, 238, 246, 252, 255, 262, 278, 281
- Ледюк Сильвестр (Leduc S.) (1856—1937) — франц. физ. 135
- Лейбниц Готфрид (Leibniz G.) (1646—1716) — нем. уч. и философ. 73—77, 114
- Лейпунский Александр Ильич (1903—1972) — сов. физ. 182, 183, 198, 201, 210, 219, 230
- Лейпунский Овсей Ильич (р. 1909) — сов. физ. хим. 199
- Лейт Эммет (Leith E.) (р. 1927) — амер. физ. 242, 254
- Лейте-Лопес Жосе (Leite-Lopes J.) (р. 1918) — браз. физ. 272
- Лекланше Жорж (Leclanché G.) (1839—1882) — франц. хим. 125
- Леман Гарри (Lehmann H.) (р. 1924) — нем. физ. 221, 230, 235
- Ленард Филипп (Lenard Ph.) (1862—1947) — нем. физ. 139, 143, 145
- Ленард Эндрю (Lenard A.) (р. 1927) — матем. и физ. (Венгр., США) 237
- Ленард-Джонс Джон (Lenard-Jones J.) (1894—1954) — англ. физ. и хим. 199
- Ленгли Самьюэл (Langley S.) (1834—1906) — амер. астрофиз. и физ. 27, 132, 133
- Ленгмюр Ирвинг (Langmuir I.) (1881—1957) — амер. физ. и хим. 157, 160, 163, 178
- Ленин Владимир Ильич (1870—1924) 10, 28—30, 152
- Ленуар Этьен (Lenoir E.) (1822—1891) — франц. изобр. 122
- Ленц Эмилий Христианович (1804—1865) — рус. физ. 6, 109, 110, 112
- Леонардо да Винчи (Leonardo da Vinci) (1452—1519) — итал. худож., уч. и изобр. 11, 59, 60, 77

Леонов Алексей Архипович (р. 1934) — сов. космонавт 263

Леонтович Михаил Александрович (1903—1981) — сов. физ. 43, 175, 179, 184, 193, 201, 203, 225, 241

Лепренс-Ренге Луи (Leprince-Ringuet L.) (р. 1901) — франц. физ. 207

Леру Франсуа (Le-Roux F.) (1832—1907) — франц. физ. 123, 125

Лесажа Жорж (Lesage G.) (1724—1803) — швейц. физ. 90

Лесли Джон (Leslie J.) (1766—1832) — шотл. физ. 96, 97

Лёти Ф. (Lüty F.) 265

Летохов Владилен Степанович (р. 1939) — сов. физ. 262, 267, 268

Лехер Эрнст (Lecher E.) (1856—1926) — австр. физ. 137

Ли Бенджамин (Lee B.) (1935—1977) — амер. физ. 265, 271

Ли Д. (Lee D.) — англ. физ. 188

Ли Дейвид (Lee D.) (р. 1931) — амер. физ. 272

Ли Таундао (Lee T.) (р. 1926) — физ. (Китай, США) 49, 50, 227, 232, 235, 246, 265

Ли Тингай (Li T.) (р. 1931) — физ. (Китай, США) 251

Либби Уиллард (Libby W.) (1908—1980) — амер. физ. хим. 208

Ливингстон Милтон (Livingston M.) (р. 1905) — амер. физ. 179, 183, 217, 221

Лиенар А. (Lienard A.) (Герм.) 150

Лилиенфельд Юлиус (Lilienfeld J.) (1882—?) — физ. (Австр., США) 167

Линдеман Фредерик (лорд Черуэлл) (Lindemann F.) (1886—1957) — физ. и полит. деят. (Герм., Англ.) 153

Линдхард Йенс (Lindhard J.) (р. 1922) — дат. физ. 257

Линник Владимир Павлович (р. 1889) — сов. физ. 187

Липперсгей Ханс (Lippershey H.) (1587—1619) — нидерл. опт. 63, 64

Липпман Габриель (Lippmann G.) (1845—1921) — франц. физ. 129, 138, 139

Лиссажу Жюль (Lissajous J.) (1822—1880) — франц. физ. 118

Литтл Уильям (Little W.) (р. 1930) — физ. (Австрал., США) 261, 269

Лифшиц Евгений Михайлович (р. 1915) — сов. физ. 52, 191, 201, 203, 205, 244, 271

Лифшиц Илья Михайлович (1917—1982) — сов. физ. 201, 212, 217, 226, 228, 231, 244, 248, 257, 263, 269

Ллойд Хамфри (Lloyd H.) (1800—1881) — ирл. физ. 108

Лобачевский Николай Иванович (1792—1856) — рус. матем. 106

Лобашев Владимир Михайлович (р. 1934) — сов. физ. 219

Лобкович Фредерик (Lobkowicz F.) (р. 1932) — физ. (Чех., США) 255

Логунов Анатолий Алексеевич (р. 1926) — сов. физ. 253, 255, 266, 269

Лодж Оливер (Lodge O.) (1851—1940) — англ. физ. 139, 141

Лодыгин Александр Николаевич (1847—1923) — рус. электротехн. 27, 126

Локьер Джозеф (Lockyer J.) (1836—1920) — англ. астрон. 126

Ломоносов Михаил Васильевич (1711—1765) — рус. уч. 6, 8, 17—20, 82—84

Лонгмайр Конрад (Longmire C.) (р. 1921) — амер. физ. 237

Лондон Хейнц (London H.) (1907—1970) — физ. (Герм., Англ.) 191, 201, 220, 255

Лондон Фриц (London F.) (1900—1954) — физ. (Герм., США) 43, 174, 179, 191, 192, 194, 196, 217, 251

Лоренц Людвиг (Lorenz L.) (1829—1891) — дат. физ. 123, 131

Лоренц Хендрик (Lorentz H.) (1853—1928) — нидерл. физ. 25, 29, 31, 131, 138—142, 146

Лосев Олег Владимирович (1903—1942) — сов. физ. 167
 Лоу Франсис (Low F.) (р. 1921) — амер. физ. 227, 230, 236, 242
 Лоуренс Эрнест (Lawrence E.) (1901—1958) — амер. физ. 179, 180, 183
 Лоусон Джон (Lawson J.) (р. 1923) — англ. физ. 236
 Лошмидт Иоганн (Loschmidt J.) (1821—1895) — австр. физ. 123
 Луиселл Уильям (Louisell W.) (р. 1924) — амер. физ. 267
 Лукреций (I в. до н. э.) — рим. поэт и филос. 55
 Лукьянов Степан Юрьевич (р. 1912) — сов. физ. 221
 Луцкий Виля Наумович — сов. физ. 265
 Лыков Алексей Васильевич (1910—1974) — сов. физ. 192
 Льюис Гилберт (Lewis G.) (1875—1946) — амер. физ. хим. 147, 186
 Лэкс Бенджамин (Lax B.) (р. 1915) — физ. (Венгр., США) 238
 Лэмб Уиллис (Lamb W.) (р. 1913) — амер. физ. 207, 253, 254, 256, 260
 Любарский Григорий Яковлевич (р. 1918) — сов. физ. 237
 Любимов Валентин Александрович — сов. физ. 280
 Людерс Герхарт (Lüders G.) (р. 1920) — нем. физ. 230, 235
 Люка Рене (Lucas R.) (р. 1898) — франц. физ. 185
 Люммер Отто (Lummer O.) (1860—1925) — нем. физ. 136, 139, 141—143
 Мавролик Франческо (Maurolyco F.) (1494—1575) — итал. матем., физ. и астрон. 12, 61
 Магалотти Лоренцо (Magalotti L.) (1637—1712) — итал. физ. 72
 Маглич Богдан (Maglich B.) (р. 1928) — физ. (Югосл., США) 245, 249
 Магнус Генрих (Magnus H.) (1802—1870) — нем. физ. и хим. 96, 118, 122

Маделунг Эрвин (Madelung E.) (1881—1972) — нем. физ. 151, 153
 Майани Лучано (Maiani L.) — итал. физ. 259, 270
 Майер Джозеф (Mayer J.) (р. 1904) — амер. физ. 195
 Майер Юлиус (Mayer J.) (1814—1878) — нем. врач 17, 19, 113
 Майер-Лейбниц Хейнц (Maier-Leibnitz H.) (р. 1911) — нем. физ. 250
 Майкельсон Альберт (Michelson A.) (1852—1931) — амер. физ. 27, 130—132, 134, 135, 139, 147, 149, 160
 Майорана Этторе (Majorana E.) (1906—1938) — итал. физ. 183, 235
 Мак-Кланг Фред (McClung F.) (р. 1927) — амер. физ. 253
 Мак-Колл Самьюэл (McCall S.) (р. 1940) — амер. физ. 266
 Маклеод Герберт (McLeod H.) (1841—1923) — англ. хим. 128
 Маклорен Колин (Maclaurin C.) (1698—1746) — шотл. матем. 81
 Мак-Миллан Эдвин (McMillan E.) (р. 1907) — амер. физ. 46, 199—202, 227
 Максвелл Джеймс (Maxwell J.) (1831—1879) — англ. физ. 9, 20, 22, 26, 119, 121—125, 127, 128, 130, 136
 Максвелл Эммануэл (Maxwell E.) (р. 1912) — амер. физ. 217
 Максутов Дмитрий Дмитриевич (1896—1964) — сов. физ. 201
 Малликен Роберт (Mulliken R.) (р. 1896) — амер. хим. 169
 Малюс Этьен (Malus E.) (1775—1812) — франц. физ. 75, 97, 98
 Мандельстам Станли (Mandelstam S.) (р. 1928) — амер. физ. 239
 Мандельштам Леонид Исаакович (1879—1944) — сов. физ. 6, 43, 44, 167, 168, 175, 177, 178, 181, 184, 191, 193, 202
 Манфредини Аугуста (Manfredini A.) — итал. физ. 245
 Мариотт Эдм (Mariotte E.) (1620—1684) — франц. физ. 15, 70, 74—76

Марков Моисей Александрович (р. 1908) — сов. физ. 44, 230, 235, 261
 Маркони Гильельмо (Marconi G.) (1874—1937) — итал. физ., инж. и предприн. 141, 145
 Маркс Дьердь (Marx D.) (р. 1927) — венг. физ. 220
 Маркхем Жордан (Markham J.) (р. 1916) — физ. (Болг., США) 276
 Марсден Эрнест (Marsden E.) (1889—1970) — новозеланд. физ. 151
 Мартин Дуглас (Martin D.) (р. 1930) — физ. (Англ., Кан.) 251
 Мартин Уильям (Martin W.) (р. 1929) — амер. физ. 164
 Мартон Ладислаус (Marton L.) (р. 1901) — физ. (Венгр., США) 190
 Марци Ян (Marci J.) (1595—1667) — чеш. уч. 14, 66, 68, 75
 Марченко Владимир Александрович (р. 1922) — сов. матем. 230, 255
 Марчук Петр Минович (р. 1912) — сов. физ. 275
 Маршак Роберт (Marshak R.) (р. 1916) — амер. физ. 201, 235
 Маршалл Леона (Marshall L.) (р. 1919) — амер. физ. 204, 208
 Маскава Т. (Maskawa T.) — япон. физ. 274
 Массье Франсуа (Massieu F.) (1832—1896) — франц. геол. 125
 Матсуи И. (Matsui I.) — япон. физ. 268
 Маттеучи Карло (Matteucci C.) (1811—1868) — итал. физ. 109
 Маттиас Бернд (Matthias B.) (1918—1980) — физ. (Герм., США) 209, 212, 218, 226, 231, 241
 Мах Эрнст (Mach E.) (1838—1916) — австр. физ. и филос. 28, 133
 Махмуд Хормоз (Mahmoud H.) (р. 1918) — физ. (Иран, США) 220

Мацек У. (Masek W.) 147, 260
 Медведев Борис Валентинович — сов. физ. 230
 Мейер Ж. (Mayer G.) 260
 Мейер Лотар (Meyer L.) (1830—1895) — нем. хим. 125
 Мейер Стефан (Meyer St.) (1872—1949) — австр. физ. 143, 148, 166
 Мейер Эдгар (Meyer E.) (1879—1960) — физ. (Герм., Швейц.) 157
 Мейерштейн Мориц (Meyerstein M.) (1808—1882) — нем. физ. 119
 Мейкер Пауль (Maker P.) (р. 1934) — амер. физ. 254, 256, 262
 Мейман Теодор (Maiman T.) (р. 1927) — амер. физ. 247
 Мейсснер Александер (Meißner A.) (1883—1958) — электротехн. (Австр., Герм.) 149
 Мейсснер Вальтер (Meissner W.) (1882—1974) — нем. физ. 185, 187
 Мейтнер Лизе (Meitner L.) (1878—1968) — австр. физ. 45, 151, 166, 167, 184, 197, 199
 Мелвилл Томас (Melville T.) — шотл. физ. 84
 Мелднер Хейнер (Meldner H.) (р. 1939) — физ. (Герм., США) 264
 Мёллер Кристиан (Moeller Ch.) (1904—1980) — дат. физ. 279
 Меллони Мачедонио (Melloni M.) (1798—1854) — итал. физ. 96, 108—110, 113
 Менделеев Дмитрий Иванович (1834—1907) — рус. хим. 26, 28, 110, 123—125, 128
 Мендельсон Курт (Mendelssohn K.) (1906—1980) — физ. (Герм., Англ.) 196, 199
 Менсович Мариан (Mięsowicz M.) (р. 1907) — пол. физ. 239
 Мергерян Дикрон (Mergesian D.) (р. 1929) — амер. физ. 276
 Меррит Эрнст (Merritt E.) (1865—1948) — амер. физ. 171
 Мерсенн Марен (Mersenne M.) (1588—1648) — франц. уч. 15, 65, 66

Мерсеро Джеймс (Mercereau J.) (р. 1930) — амер. физ. 261, 263
 Мёссбауэр Рудольф (Mössbauer R.) (р. 1929) — нем. физ. 239, 240
 Месси Гарри (Massey H.) (р. 1908) — англ. физ. 186
 Мествиришвили Мириан Алексеевич (р. 1932) — сов. физ. 266
 Месня Геннадий Андреевич (р. 1936) — сов. физ. 264, 266
 Мециус Якоб (Metius J.) (1580—1628) — гол. астрон. 64
 Мешен Пьер (Mechain P.) (1744—1804) — франц. астрон. и геод. 93
 Мешковский Анатолий Георгиевич — сов. физ. 204, 255
 Мещеряков Михаил Григорьевич (р. 1910) — сов. физ. 213, 230
 Ми Густав (Mie G.) (1868—1957) — нем. физ. 151, 155
 Мигдал Аркадий Бейнусович (р. 1911) — сов. физ. 204, 227, 240, 250
 Мидвинтер Джон (Midwinter J.) (р. 1938) — англ. физ. 268
 Миллер Лаймон (Miller L.) (р. 1918) — амер. физ. 209
 Миллер Э. (Miller E.) 269
 Милликен Роберт (Millikan R.) (1868—1953) — амер. физ. 44, 152, 160, 161
 Миллионщиков Михаил Дмитриевич (1913—1973) — сов. физ. 260
 Миллс Роберт (Mills R.) (р. 1927) — амер. физ. 228
 Милютин Георгий Анатольевич (р. 1914) — сов. физ. 191
 Минковский Герман (Minkowski H.) (1864—1909) — нем. матем. и физ. 34, 148, 150
 Минковский Рудольф (Minkowski R.) (1895—1976) — астрон. (Герм., США) 223
 Минц Александр Львович (1895—1974) — сов. уч. 236, 250
 Митчелл Дана (Mitchell D.) (1899—1966) — амер. физ. 191—193, 204
 Митчерлих Эйльхард (Mitscherlich E.) (1794—1863) — нем. хим. 101, 105

Михайловский Анатолий Борисович (р. 1935) — сов. физ. 256
 Михеев Владимир Андреевич (р. 1942) — сов. физ. 272
 Михельсон Владимир Александрович (1860—1927) — рус. физ. 135
 Мишель Луи (Michel L.) (р. 1923) — франц. физ. 217
 Миязава Х. (Miyazawa H.) — япон. физ. 233
 Миямото Й. (Miyamoto Y.) — япон. физ. 259
 Мозли Генри (Moseley H.) (1887—1915) — англ. физ. 159
 Молленауэр Линн (Mollenpauer L.) (р. 1937) — амер. физ. 276
 Молнар Джулиус (Molnar J.) (р. 1916) — амер. физ. 219
 Монардес Николо (Monardes N.) (1507—ок. 1578) — исп. бот. и физиол. 61
 Монгольфье Жозеф (Montgolfier J.) (1740—1810) — франц. фабрикант 88, 92
 Монгольфье Этьенн (Montgolfier E.) (1745—1799) — франц. арх. 88
 Монж Гаспар (Monge G.) (1746—1818) — франц. матем. и мех. 93
 Мопертюи Пьер (Maupertuis P.) (1698—1759) — франц. мех. 81
 Моргулис Наум Давидович (1904—1976) — сов. физ. 215
 Морзе Самьюэл (Morse S.) (1791—1872) — амер. изобр. 110
 Морленд Самьюэл (Morland S.) (1625—1695) — англ. матем. и изобр. 74
 Морли Эдвард (Morley E.) (1838—1923) — амер. хим. 134
 Моррис Р. (Morris R.) 253
 Морс Филип (Morse Ph.) (р. 1903) — амер. физ. 176
 Мосс Тревор (Moss T.) (р. 1921) — англ. физ. 228, 240
 Моссоти Оттавиано (Mossotti O.) (1791—1863) — итал. физ. 115, 131
 Мотт Невилл (Mott N.) (р. 1905) — англ. физ. 178, 184, 195, 197, 200, 219, 269

Моттельсон Бен (Mottelson B.) (р. 1926) — физ. (США, Дания) 46, 216, 224, 239, 243

Мун Филип (Moon Ph.) (р. 1907) — англ. физ. 191

Мунк Петтер (Munk of Rosenschild P.) (1804—1860) — швед. физ. 128

Мутон А. (Mouton H.) 150

Мутон Габриель (Mouton G.) (1618—1694) — франц. геол. 93

Мушенбрук Питер ван (Muschbroek P. von) (1692—1761) — гол. физ. 21, 80—82, 85

Мысовский Лев Владимирович (1888—1939) — сов. физ. 170, 173, 180

Мэй Джордж (May G.) — англ. телеграфист 127

Мэтьюз Герберт (Matthews H.) (р. 1926) — амер. физ. 255

Мюирхед Х. (Muirhead H.) 206

Мюллер В. (Mueller W.) — нем. физ. 151

Мюллер Эрвин (Müller E.) (1911—1977) — нем. физ. 193, 212, 220, 234, 267

Навье Луи (Navier L.) (1785—1836) — франц. матем. и мех. 21, 103

Нагамиа Т. (Nagamija T.) 219

Нагаока Хантаро (Nagaoka H.) (1865—1950) — япон. физ. 29, 146

Наджаков Георги (1897—1981) — болг. физ. 112

Найквист Гарри (Nyquist H.) (1889—1976) — амер. электротехн. 176

Найт Уолтер (Knight W.) (р. 1919) — амер. физ. 215

Намбу Йоширо (Nambu Y.) (р. 1921) — япон. физ. 219, 235, 236, 246, 259, 270

Натан Маршалл (Nathan M.) (р. 1933) — амер. физ. 253

Натансон Владислав (Natan-son W.) (1864—1937) — пол. физ. 168

Наумов Алексей Александрович (р. 1916) — сов. физ. 266

Нг У. (Ng W.) 254

Нгуен Ван Хьеу (Nguyen Van Hieu) (р. 1938) — вьетнам. физ. 255, 266

Небауэр М. (Näbauer M.) — нем. физ. 251

Неганов Борис Сергеевич — сов. физ. 220, 230, 255

Негро Сальваторе даль (Negro S. dal) (1768—1839) — итал. физ. и мех. 22, 108

Неддермейер Сет (Neddermeyer S.) (р. 1907) — амер. физ. 46, 123

Недоспасов Артур Владимирович (р. 1928) — сов. физ. 247, 256

Незлин Михаил Вениаминович (р. 1928) — сов. физ. 257

Неель Луи (Neel L.) (р. 1904) — франц. физ. 48, 184, 185, 191, 211, 223

Нееман Ювал (Ne'emán Y.) (р. 1925) — израил. физ. 243, 249, 252

Нейман Джон фон (Neumann J. von) (1903—1957) — матем. и физ. (Венгр., США) 173, 174, 184

Нейман Карл (Neumann C.) (1832—1925) — нем. матем. и физ. 127, 128

Нейман Франц (Neumann F.) (1798—1895) — нем. физ. 22, 147

Нельсон Ричард (Nelson R.) (р. 1937) — англ. физ. 257

Нернст Вальтер (Nernst W.) (1864—1941) — нем. физ. 133, 136, 148

Нётер Эмми (Noether E.) (1882—1935) — нем. матем. 164

Ни Т. (Nee T.) 267

Николь Уильям (Nicol W.) (1768—1851) — шотл. уч. 106

Никольс Эрнест (Nicols E.) (1869—1924) — амер. физ. 143

Никольсон Джон (Nicholson J.) (1881—1955) — англ. астрофиз. 156

Никольсон Уильям (Nicholson W.) (1753—1815) — англ. физ. 70, 92, 94, 95

Никольсон (Nicholson) 165

Нильссон Свен (Nilsson S.) (р. 1927) — швед. физ. 210, 231, 243

Нир Альфред (Nier A.) (р. 1911) — амер. физ. 164, 199

Нишиджима Кацухико (Nishijima K.) (р. 1926) — япон. физ. 219, 223, 224, 235
 Нишина Йошио (Nishina Y.) (1890—1951) — япон. физ. 43, 177, 193, 199
 Нобили Леопольдо (Nobili L.) (1784—1835) — итал. физ. 105, 107, 109
 Нобль Г. (Noble H.) 146
 Новиков Е. Г. — сов. физ. 280
 Ноддак Ида (Noddack I.) (1896—1978) — нем. хим. 188
 Нодон Альберт (Nodon A.) (1862—?) — франц. физ. 134
 Нозик Валерий Зиновьевич (р. 1937) — сов. физ. 280
 Нолле Жан (Nollet J.) (1700—1770) — франц. физ. 81—83
 Нордгейм Лотар (Nordheim L.) (р. 1899) — физ. (Герм., США) 176, 184, 189, 221
 Нордсик Арнольд (Nord-sieck A.) (р. 1911) — амер. физ. 194
 Нордстрем Гуннар (Nord-ström G.) (1881—1923) — фин. физ. 155
 Норман Роберт (Norman R.) — англ. моряк 75
 Носков Михаил Михайлович (р. 1909) — сов. физ. 187
 Ньепс Жозеф (Niepce J.) (1765—1833) — франц. изобр. 112
 Ньюкомен Томас (Newcomen T.) (1670—1730) — англ. изобр. 70, 78
 Ньюман Теодор (Newman T.) (р. 1923) — амер. физ. 279
 Ньюман Эзра (Newman E.) (р. 1929) — амер. физ. 257
 Ньютон Исаак (Newton I.) (1643—1727) — англ. уч. 8, 14—16, 23, 68, 70—72, 74, 76, 78, 80
 Нэттол Джон (Nuttall J.) (1890—1958) — англ. физ. 153
 Обреимов Иван Васильевич (1894—1981) — сов. физ. 177
 Оверхаузер Альберт (Overhauser A.) (р. 1925) — амер. физ. 225, 277
 Огава Сюзо (Ogawa Sh.) (р. 1924) — япон. физ. 243

Оже Пьер (Auger P.) (р. 1899) — франц. физ. 170, 195
 Ожогин Валерий Иванович (р. 1937) — сов. физ. 281
 Оккиалини Джузеппе (Occhia-lini G.) (р. 1907) — итал. физ. 46, 183, 185, 186, 206
 Оксенфельд Р. (Ochsenfeld R.) — нем. физ. 187
 Оксли А. (Oxley A.) 184
 Оксли Чарлз (Oxley Ch.) (р. 1919) — амер. физ. 226
 Окубо Сусуму (Okubo S.) (р. 1930) — физ. (Япон., США) 252
 Окунь Лев Борисович (р. 1929) — сов. физ. 252
 Олдрин Эдвин (Aldrin E.) (р. 1930) — амер. астронавт 270
 Олифант Маркус (Oliphant M.) (р. 1901) — австрал. физ. 186, 188, 190, 202
 Ом Георг (Ohm G.) (1787—1854) — нем. физ. 103—107
 Омар Хайям (ок. 1048 — после 1122) — персид. поэт, матем. и филос. 58
 Онеда Садао (Oneda S.) (р. 1923) — физ. (Япон., США) 219
 Онсагер Ларс (Onsager L.) (1903—1976) — хим. и физ. (Норв., США) 48, 181, 185, 199, 203, 215, 231
 Онуки Й. (Ohnuki Y.) — япон. физ. 243
 Оппенгеймер Роберт (Oppen-heimer R.) (1904—1967) — амер. физ. 174—176, 180, 185, 191, 194, 197, 199
 Ораевский Анатолий Николае-вич (р. 1934) — сов. физ. 256, 262
 Ораевский Виктор Николае-вич (р. 1935) — сов. физ. 255
 Оратовский Ю. А. — сов. физ. 259
 Орем Николе (Oresme N.) (ок. 1323—1382) — франц. матем. 59
 Осипьян Юрий Андреевич (р. 1931) — сов. физ. 267
 Оствальд Вильгельм (Ost-wald W.) (1853—1932) — нем. физ. хим. 28

Остроградский Михаил Васильевич (1801—1862) — рус. матем. и мех. 112

Отлер Станли (Autler S.) (р. 1922) — амер. физ. 249

Отнес К. (Otnes K.) 241

Отто Николаус (Otto N.) (1832—1891) — нем. инж. и предприн. 122

Ошеров Дуглас (Oscheroff D.) (р. 1945) — амер. физ. 272

Оэн Ордин (Oen O.) (р. 1927) — амер. физ. 257

Пайерлс Рудольф (Peierls R.) (р. 1907) — физ. (Герм., Англ.) 43, 176, 178, 180, 187—189, 191, 194, 195

Пайнс Дейвид (Pines D.) (р. 1924) — амер. физ. 226, 239

Пайс Абрахам (Pais A.) (р. 1918) — физ. (Нидерл., США) 219, 229—231, 259

Палевский Гарри (Palevsky H.) 241

Панет Фридрих (Paneth F.) (1887—1958) — австр. хим. 160

Пановский Вольфганг (Panofsky W.) (р. 1919) — амер. физ. 215, 219, 233, 264

Панчини Этторе (Pançini E.) (р. 1915) — итал. физ. 206

Папин Дени (Papin D.) (1647—1712) — франц. физ. и инж. 74, 75, 78

Паркер Уильям (Parker W.) (р. 1941) — амер. физ. 269

Парментер Роберт (Parmenter R.) (р. 1925) — амер. физ. 228

Парселл Эдвард (Purcell E.) (р. 1912) — амер. физ. 47, 204, 210—212, 218, 219, 235

Парсонс Чарлз (Parsons Ch.) (1854—1931) — англ. изобр. 133

Пасечник Митрофан Васильевич (р. 1912) — сов. физ. 249

Паскаль Блез (Pascal B.) (1623—1662) — франц. матем., физ. и филос. 60, 68, 93

Паташинский А. З. — сов. физ. 263

Пател Кумар (Patel K.) (р. 1938) — физ. (Инд., США) 260, 264

Пати Джогеш (Pati J.) (р. 1937) — физ. (Инд., США) 272

Паули Вольфганг (Pauli W.) (1900—1958) — физ. (Австр., Швейц.) 42—44, 168, 169, 174—177, 179, 184, 189, 200, 230, 232

Паульсен Вальдемар (Poulsen V.) (1869—1942) — дат. инж. 143

Паунд Роберт (Pound R.) (р. 1919) — амер. физ. 204, 210—212, 217, 218, 238, 248

Пауэлл Сесил (Powell S.) (1903—1969) — англ. физ. 46, 53, 204, 206, 207

Пауэрс Филип (Powers Ph.) (р. 1912) — амер. физ. 192—194

Пацификус 58
Пачинотти Антонио (Pacinotti A.) (1841—1912) — итал. физ. и изобр. 27, 121

Пашен Фридрих (Paschen F.) (1865—1947) — нем. физ. 136, 150, 157

Певзнер Айхуд (Pevsner A.) (р. 1925) — физ. (Изра., США) 249

Пеграм Джордж (Pegram G.) (1876—1958) — амер. физ. 184, 191, 199

Пейдж Чарлз (Page Ch.) (1812—1868) — амер. изобр. 117

Пекар Соломон Исаакович (р. 1917) — сов. физ. 197, 205, 217, 237

Пекара Аркадиуш (Piekara A.) (р. 1904) — пол. физ. 240, 260

Пелетминский Сергей Владимирович (р. 1931) — сов. физ. 234, 244

Пельтье Жан (Peltier J.) (1785—1845) — франц. физ. 109

Пензиас Арно (Penzias A.) (р. 1933) — амер. физ. 261, 262, 274

Пенни Уильям (Penney W.) (р. 1909) — англ. физ. 180

Пеннинг Франс (Penning F.) (1894—1953) — нидерл. физ. 195

Пенроуз Роджер (Penrose R.) (р. 1931) — англ. физ. 263

Перегрино Петрус (2-я пол. XIII в.) — франц. изобр. 10, 58
 Перель Владимир Иделевич (р. 1928) — сов. физ. 248, 268
 Перл Мартин (Perl M.) (р. 1927) — амер. физ. 49, 276
 Перо Альфред (Perot A.) (1863—1925) — франц. физ. 143
 Перрен Жан (Perrin J.) (1870—1942) — франц. физ. 29, 43, 44, 139, 151, 165
 Перрен Фрэнсис (Perrin F.) (1901—1979) — франц. физ. 170, 186, 198
 Першан Питер (Pershan P.) (р. 1934) — амер. физ. 254, 263
 Перье Карло (Perrier C.) (1886—1948) — итал. хим. 194
 Перье Флориу (Perier F.) (1605—1702) — франц. физ. 68
 Петерс Бернард (Peters B.) (р. 1910) — физ. (США, Дан.) 210
 Петржак Константин Антонович (р. 1910) — сов. физ. 46, 199
 Петров Василий Владимирович (1761—1834) — рус. физ. 6, 21, 196
 Петров Юрий Викторович (р. 1928) — сов. физ. 281
 Петухов Валентин Афанасьевич (р. 1907) — сов. физ. 225, 250
 Пешков Василий Петрович (1913—1980) — сов. физ. 203, 212, 265
 Пикар А. (Piccard A.) 164
 Пикар Жан (Picard J.) (1620—1682) — франц. астрон. и геод. 74
 Пикард Гринлайф (Pickard G.) (1877—1956) — амер. изобр. 149
 Пикси Ипполит (Pixii H.) (1808—1835) — франц. изобр. 22, 108
 Пикте Марк (Pictet M.) (1752—1825) — швейц. физ. 92
 Пикте Рауль (Pictet R.) (1846—1929) — швейц. физ. 27, 129
 Пилатр де Розье Жан (Pilatre de Rozier J.) (1756—1785) — франц. хим. 88
 Пилипецкий Николай Федорович (р. 1931) — сов. физ. 260

Пильчиков Николай Дмитриевич (1857—1908) — укр. физ. 143
 Пиментел Джордж (Pimentel G.) (р. 1922) — амер. хим. и физ. 262
 Пипкин Франсис (Pipkin F.) (р. 1925) — амер. физ. 260
 Пиппард Альфред (Pippard A.) (р. 1920) — англ. физ. 209, 223, 225, 226, 231, 236, 263
 Пирс Джон (Pierce J.) (р. 1910) — амер. инж. 203, 211
 Пирс Джордж (Pierce G.) (1872—1956) — амер. физ. 203
 Пирсон Джералд (Pearson G.) (р. 1905) — амер. физ. 210, 214, 215, 228
 Питаевский Лев Петрович (р. 1933) — сов. физ. 240, 244
 Пифагор (582—500 до н. э.) — древнегреч. матем. и филос. 55
 Пиччиони Орест (Piccioni O.) (р. 1915) — физ. (Итал., США) 206, 230, 246
 Плапк Макс (Planck M.) (1858—1947) — нем. физ. 8, 9, 15, 17, 27—30, 37, 39, 42, 144, 148, 149, 157, 161
 Планта Мартин (Planta M.) (1727—1802) — нем. физ. 78
 Планте Гастон (Plante G.) (1834—1889) — франц. физ. 27, 122
 Платен Балтзар (Platen B.) (р. 1898) — швед. инж. 47, 226
 Плато Жозеф (Plateau J.) (1801—1883) — бельг. физ. 114
 Платон (428 или 427 — 348 или 347 до н. э.) — древнегреч. филос. 55
 Плачек Георг (Placzek G.) (1905—1955) — физ. (Чех., США) 199
 Плиний Старший (23—79 н. э.) — рим. уч., писат. и гос. деят. 55
 Плюккер Юлиус (Plücker J.) (1801—1868) — нем. матем. и физ. 21, 116, 120, 123
 Пневский Ежи (Pniewski J.) (р. 1913) — пол. физ. 220, 255
 Поггендорф Иоганн (Poggen-dorff J.) (1796—1877) — нем. физ. 106, 259

Подгорецкий Михаил Исаакович (р. 1919) — сов. физ. 259

Подгорный Игорь Максимович (р. 1925) — сов. физ. 221

Подольский Борис (Podolsky B.) (1896—1966) — амер. физ. 184

Пожеда Юрас Карлович (р. 1925) — сов. физ. 271

Пози Джозеф (Pawsey J.) (1908—1962) — австрал. радиофиз. и радиоастрон. 205

Позняк Эуген (Posnjak E.) (1888—1949) — хим. (Герм., США) 185

Пойнтинг Джон (Poynnting J.) (1852—1914) — англ. физ. 128

Поккельс Фридрих (Pockels F.) (1865—1913) — нем. физ. 139

Покровский В. Л. — сов. физ. 263

Полани Джон (Polanyi J.) (р. 1929) — физ. хим. (Герм., США) 262

Полдер Д. (Polder D.) 208

Ползунов Иван Иванович (1728—1766) — рус. изобр. 85

Поливанов Михаил Константинович (р. 1930) — сов. физ. 230

Полинг Лайнус (Pauling L.) (р. 1901) — амер. хим. и физ. 43, 172

Политцер Хью (Poltitzer H.) — амер. физ. 273, 276

Поллок Герберт (Pollock H.) (р. 1913) — амер. физ. 203, 208

Половин Револьд Васильевич (р. 1924) — сов. физ. 261

Поль Роберт (Pohl R.) (1884—1976) — нем. физ. 149

Померанчук Исаак Яковлевич (1913—1966) — сов. физ. 194, 201—204, 210, 214, 217, 218, 228, 239

Понселе Жан (Poncelet J.) (1788—1867) — франц. мех. 106

Понтекорво Бруно Максимович (р. 1913) — сов. физ. 188, 204, 209, 230, 235, 242

Попов Александр Степанович (1859—1906) — рус. физ. 6, 29, 139, 141

Попов Виктор Николаевич (р. 1937) — сов. физ. 256

Попов Юрий Михайлович — сов. физ. 270

Поппи Ф. да (Poppi F. da) 60

Порта Джованни (Porta G.) (1536—1615) — итал. уч. 12, 60, 61, 74

Портер Чарлз (Porter Ch.) (1926—1964) — амер. физ. 226

Пост Ричард (Post R.) (р. 1918) — амер. физ. 222, 256

Потенэ Рене (Pauthenet R.) (р. 1925) — франц. физ. 223

Поулис Н. (Poulis N.) — нидерл. физ. 223

Прайс Гарольд (Price H.) (р. 1917) — англ. матем. 220

Пранги Ричард (Prange R.) (р. 1932) — амер. физ. 267

Праус Дирек (Prowse D.) (р. 1930) — физ. (Англ., США) 238

Прево Пьер (Prevost P.) (1751—1839) — швейц. физ. 93

Презент Ричард (Present R.) (р. 1913) — амер. физ. 192

Прейсверк Петер (Preiswerk P.) (1907—1972) — швейц. физ. 192

Прентки Жак (Prentki J.) — франц. физ. 233

Пригожин Илья (Prigogine I.) (р. 1917) — бельг. физ. и физ. хим. 209

Прингсгейм Петер (Pringsheim P.) (1881—1964) — нем. физ. 169

Прингсгейм Эрнст (Pringsheim E.) (1859—1917) — нем. физ. 143

Пристли Джозеф (Priestley J.) (1733—1804) — англ. хим., физ. и филос. 86, 91

Прихотько Антонина Федоровна (р. 1906) — сов. физ. 47, 205

Прока Александру (Proca A.) (1897—1955) — физ. (Рум., Франц.) 192

Прокошкин Юрий Дмитриевич (р. 1929) — сов. физ. 252, 269—271

Проктор Варрен (Proctor W.) (р. 1920) — амер. физ. 211, 239

Проут Уильям (Prout W.) (1785—1850) — англ. хим. 100

Прохода Иван Григорьевич (р. 1930) — сов. физ. 237

Прохоров Александр Михайлович (р. 1916) — сов. физ. 48, 49, 228, 231, 240, 256, 264

Пти Алексис (Petit A.) (1791—1820) — франц. физ. 100, 101
Птолемей Клавдий (ок. 100—178 н. э.) — древнегреч. уч. 9, 10, 11, 57, 58

Пуазейль Жан (Poiseuille J.) (1799—1869) — франц. физиол. и физ. 112

Пуанкаре Анри (Poincare H.) (1854—1912) — франц. матем., физ., астрон. и филос. 25—28, 32, 144, 147, 148, 150

Пуансо Луи (Poinsot L.) (1777—1859) — франц. мех. 96
Пуассон Симеон (Poisson S.) (1781—1840) — франц. мех., матем. и физ. 21, 97, 98, 103, 104, 106

Пуйе Клод (Pouillet C.) (1790—1868) — франц. физ. 110—112

Пуллан Гарри (Pullan H.) (р. 1928) — физ. (Англ., Кан.) 223

Пуппи Джаампьетро (Purpi G.) (р. 1917) — итал. физ. 209, 257

Пури С. (Puri S.) 251

Пфайфер Лорен (Pfeiffer L.) (р. 1939) — амер. физ. 269

Пфанн Уильям (Pfann W.) (р. 1917) — амер. физ. 228

Пфеффер Вильгельм (Pfeffer W.) (1845—1920) — нем. бот. 129

Раби Исидор (Rabi I.) (р. 1898) — амер. физ. 194, 196, 199

Рабинович Матвей Самсонович (1919—1982) — сов. физ. 202, 204, 225, 236

Рабинович П. (Rabinowitz P.) 253

Радикатти Луиджи (Radicatti L.) (р. 1914) — итал. физ. 259

Разетти Франко (Rasetti F.) (р. 1901) — итал. физ. 178, 188, 201

Райл Мартин (Ryle M.) (р. 1918) — англ. радиоастрон. 205

Райнганум М. (Reinganum M.) 154

Райс Орвилл (Rice O.) (р. 1918) — амер. матем. и физ. 248

Райф Фредерик (Reif F.) (р. 1927) — физ. (Австр., США) 248, 255

Раман Чандрасекхара (Raman Ch.) (1888—1970) — инд. физ. 44, 168, 177

Рамзай Уильям (Ramsay W.) (1852—1916) — англ. хим. и физ. 28, 139, 146

Рамзауэр Карл (Ramsauer C.) (1879—1955) — нем. физ. 116

Рамзей Норман (Ramsey N.) (р. 1915) — амер. физ. 199, 211, 219, 235, 236, 247

Рамсен Джессе (Ramsden J.) (1735—1800) — англ. мех. и опт. 78, 86

Ранкин Уильям (Rankine W.) (1820—1872) — шотл. инж. и физ. 20, 116, 117, 119, 120

Рассел Александр (Russell A.) (1888—1972) — англ. физ. и хим. 157, 159

Рассел Генри (Russell H.) (1877—1957) — амер. астрофиз. 170

Раутиан Сергей Глебович (р. 1928) — сов. физ. 251

Рашба Эммануил Иосифович (р. 1927) — сов. физ. 265

Ребане Карл Карлович (р. 1926) — сов. физ. 268

Ребка Дж. (Rebka G.) 248

Регенер Эрих (Regener E.) (1881—1955) — нем. физ. 148

Редвуд Бовертон (Redwood B.) (1846—1919) — англ. хим. и инж. 151

Редже Тулио (Regge T.) (р. 1931) — итал. физ. 242

Резерфорд Даниел (Rutherford D.) (1749—1819) — шотл. бот. 93

Резерфорд Льюис (Rutherford L.) (1816—1892) — амер. астрофиз. 121

Резерфорд Эрнест (Rutherford E.) (1871—1937) — англ. физ. 7, 28—30, 38, 44, 143—146, 148, 150, 151, 153, 156, 160, 164, 165, 181, 186, 188, 190

Рей Жан (Ray J.) (1582 или

1583—1645) — франц. физиол. и хим. 65
 Рейнес Фредерик (Reines F.) (р. 1918) — амер. физ. 232, 235, 277, 279
 Рейнольдс К. (Reynolds C.) — амер. физ. 217
 Рейнольдс Осборн (Reynolds O.) (1842—1912) — англ. физ. и инж. 132, 133
 Рейнуотер Джеймс (Rainwater J.) (р. 1917) — амер. физ. 215, 216, 223, 224
 Рейхенштейн (Мюллер Ференц) (Müller von Reichenstein) (1740—1825) — венг. инж. 87
 Ремейка Джозеф (Remeika J.) (р. 1924) — амер. хим. 244
 Рёмер Оле (Römer O.) (1644—1710) — дат. астроном. 17, 74, 79
 Ренальдини Карло (Renaldi-ni C.) (1615—1698) — итал. физ. и матем. 71
 Рентген Вильгельм (Roentgen W.) (1845—1923) — нем. физ. 28, 131, 133, 139, 140
 Реньо Анри (Regnault H.) (1810—1878) — франц. физ. и хим. 115
 Реомюр Рене (Reaumur R.) (1683—1757) — франц. естествоисп. 17, 80
 Ривлин Лев Абрамович — сов. физ. 251
 Риги Аугусто (Righi A.) (1850—1921) — итал. физ. 27, 130—132, 134—136
 Рид Томас (Reed T.) (р. 1926) — амер. физ. хим. 249
 Ридберг Йоханнес (Rydberg J.) (1854—1919) — швед. физ. и матем. 136—138, 150
 Ризерфорд Роберт (Rutherford R.) (р. 1912) — амер. физ. 207
 Рикке Эдуард (Riecke E.) (1845—1915) — нем. физ. 142
 Риман Георг (Riemann G.) (1826—1866) — нем. матем. 118
 Рио А. дель (Rio A. del) — мексик. минер. 95
 Рис Петер (Riess P.) (1804—1883) — нем. физ. 111
 Риттенгаус Дейвид (Rittenhouse D.) (1732—1796) — амер. астроном. и изобр. 20, 91

Риттер Иоганн (Ritter J.) (1776—1810) — нем. физ. и хим. 20, 94—96
 Ритц Вальтер (Ritz W.) (1878—1909) — швейц. физ. и матем. 150
 Рихман Георг Вильгельм (1711—1753) — рус. физ. 81, 82
 Рихтер Бартон (Richter B.) (р. 1931) — амер. физ. 49, 275
 Рич Артур (Rich A.) (р. 1937) — амер. физ. 269
 Ричардсон Джон (Richardson J.) (р. 1912) — физ. (Кан., США) 204
 Ричардсон Оуэн (Richardson O.) (1879—1959) — англ. физ. 144
 Ричардсон Роберт (Richardson R.) (р. 1937) — амер. физ. 272
 Риччи-Курбастро Грегорио (Ricci-Curbastro G.) (1853—1925) — итал. матем. 144
 Рише Жан (Richer J.) (1630—1696) — франц. астроном. 74
 Роберваль Жиль (Roberval J.) (1602—1675) — франц. матем. и мех. 70
 Робертс Джеймс (Roberts J.) (р. 1915) — амер. физ. 199
 Робертс Ричард (Roberts R.) (р. 1910) — амер. физ. и биофиз. 199
 Робертс Ф. (Roberts F.) 219
 Робинсон Марк (Robinson M.) (р. 1926) — амер. физ. 257
 Робсон Джон (Robson J.) (р. 1920) — физ. (Англ., Кан.) 209
 Рогачев Александр Александрович (р. 1937) — сов. физ. 268
 Родбелл Дональд (Rodbell D.) (р. 1929) — амер. физ. 248
 Родебак Джордж (Rodeback G.) (р. 1921) — амер. физ. 221
 Роджерс Гордон (Rogers G.) (р. 1914) — амер. инж. 242
 Рождественский Дмитрий Сергеевич (1876—1940) — сов. физ. 6, 151, 152
 Розенберг И. Д. — сов. физ. 203
 Розенблют Маршалл (Rosenbluth M.) (р. 1927) — амер. физ. 215, 228, 234, 237, 256

Розенталь Адольф (Rosenthal A.) (1906—1962) — физ. (Герм., США) 147, 255

Розенфельд Артур (Rosenfeld A.) (р. 1926) — амер. физ. 249

Розенфельд Леон (Rosenfeld L.) (1904—1974) — бельг. физ. 175

Розинг Борис Львович (1869—1933) — сов. физ. 150

Ройдс Дж. (Royds J.) 151

Роллин Бернард (Rollin B.) (1911—1969) — англ. физ. 193, 214

Росси Бруно (Rossi B.) (р. 1905) — итал. физ. 186, 193, 255

Росси К. (Rossi C.) 157

Ростокер Норман (Rostoker N.) (р. 1925) — физ. (Кан., США) 208

Роуланд Генри (Rowland H.) (1848—1901) — амер. физ. 113, 125, 129, 130

Роуэлл Джон (Rowell J.) (р. 1935) — амер. физ. 257, 265

Рочестер Джордж (Rochester G.) (р. 1908) — англ. физ. 46, 206, 218

Руббиа Карло (Rubbia C.) (р. 1934) — физ. (Итал., США) 281

Рубенс Генрих (Rubens H.) (1865—1922) — нем. физ. 37, 142—144, 154

Рубчинский Самуил Мейделевич — сов. физ. 250

Рудаков Леонид Иванович (р. 1933) — сов. физ. 251

Румер Юрий Борисович (р. 1901) — сов. физ. 194, 195

Румкорф Генрих (Rumkorff H.) (1803—1877) — изобр. (Герм., Франц.) 117

Румфорд Бенджамин (Rumford B.) (1753—1814) — англ. физ. 19, 93, 96

Рундл У. (Rundle W.) 270

Руска Эрнст (Ruska E.) (р. 1906) — нем. инж. 181

Рустамов А. Р. — сов. физ. 260
Рутерфорд Даниел (Rutherford D.) (1749—1819) — шотл. бот. и врач 86

Рухула Альваро де (Rujula A. de) — исп. физ. 276

Рывкин Соломон Меерович (1918—1981) — сов. физ. 226, 237, 256, 264, 270

Рэлей Джон (Rayleigh J.) (1842—1919) — англ. физ. 36, 112, 126, 129, 133, 135, 143, 144

Рябинин Юрий Николаевич (р. 1908) — сов. физ. 187

Сабиский Эдуард (Sabisky E.) (р. 1932) — амер. физ. 265

Савар Феликс (Savart F.) (1791—1841) — франц. физ. 102, 107, 112

Савёр Жозеф (Sauveur J.) (1653—1716) — франц. уч. 77

Савченко И. Б. — сов. физ. 267
Сагдеев Рюальд Зиннурович (р. 1932) — сов. физ. 234, 249, 251, 255, 261, 266

Саде Д. (Sadeh D.) 259

Садовский Александр Иванович (1859—1921) — рус. физ. 143

Саймон Пауль (Simon P.) (1767—1815) — нем. архит. 95

Саймон Франсис (Simon F.) (1893—1956) — физ. (Герм., Англ.) 173, 176, 189

Саката Сёити (Sakata Sh.) (1911—1970) — япон. физ. 191, 193, 201, 233

Сакита Бунджи (Sakita B.) (р. 1930) — физ. (Япон., США) 259

Сакс Роберт (Sachs R.) (р. 1916) — амер. физ. 205, 220, 224, 233

Сакур Отто (Sackur O.) (1880—1914) — нем. физ. 158

Сакураи Джон (Sakurai J.) (1933—1982) — физ. (Япон., США) 235, 246

Салам Абдус (Salam A.) (р. 1926) — физ. (Пакист., Англ.) 49, 51, 235, 236, 249, 265, 272

Самарский Александр Андреевич (р. 1919) — сов. мат. и физ. 263

Самиос Николас (Samios N.) (р. 1932) — амер. физ. 257

Сануто Ливио (Sanuto L.) 60

Саньяк Жорж (Sagnac G.) (1869—1928) — франц. физ. 147, 160

Саранцев Владислав Павлович — сов. физ. 270
 Сарбей Олег Георгиевич (р. 1933) — сов. физ. 257
 Сарпи Паоло (Sargi P.) (1552—1623) — итал. естествоисп. 61
 Сасскайнд Леонард (Suskind L.) (р. 1940) — амер. физ. 270
 Саундерс Фредерик (Saunders F.) (1875—1963) — физ. (Кан., США) 170
 Саха Мегнад (Saha M.) (1894—1956) — инд. физ. 165, 166
 Сван У. (Swan W.) 116
 Сванберг Адольф (Svanberg A.) (1806—1857) — швед. физ. 119
 Сведберг А. (Swedberg A.) 268
 Свистунов Владимир Михайлович (р. 1941) — сов. физ. 261
 Сегнер Янош (Segner J.) (1704—1777) — венг. уч. 83
 Сегре Эмилио (Segre E.) (р. 1905) — итал. физ. 188, 191, 194, 199, 200, 229
 Селинов Иван Петрович (р. 1908) — сов. физ. 188
 Семенов Николай Николаевич (р. 1896) — сов. хим. и физ. 165, 173
 Сен-Виктор Н. де (Saint-Victor N. de) 141
 Сенека (ок. 4 до н. э.—65 н. э.) — рим. полит. деят., филос. и писат. 55
 Сербер Роберт (Serber R.) (р. 1909) — амер. физ. 201
 Сергейчев К. Ф. — сов. физ. 266
 Серис Дж. (Series G.) 243
 Сиборг Гленн (Seaborg G.) (р. 1912) — амер. хим. и физ. 46, 200, 202, 203, 212, 215, 221, 224, 230
 Сигбан Кая (Siegbahn K.) (р. 1918) — швед. физ. 238
 Сигбан Манне (Siegbahn M.) (1886—1978) — швед. физ. 162
 Сигмен Антони (Siegman A.) (р. 1931) — амер. инж. и физ. 253
 Сидоров Виктор Михайлович — сов. физ. 255, 262
 Сикс Джеймс (Six J.) (? — 1793) — эсквайр из Кентербери (Англ.) 88
 Сплин Виктор Павлович

(р. 1926) — сов. физ. 265, 269
 Сильсби Франсис (Silsbee F.) (1889—1967) — амер. физ. 163
 Симанзик Курт (Symanzik K.) (р. 1923) — нем. физ. 230
 Сименс Эрнст (Siemens E.) (1816—1892) — нем. физ., электротехн. и промыш. 122, 124, 125, 131, 136
 Симмонс Г. (Symmons H.) 243
 Симонов В. А. — сов. физ. 263
 Синг Шобха (Sing Sh.) (р. 1928) — физ. (Инд., США) 260
 Синельников Кирилл Дмитриевич (1901—1966) — сов. физ. 182, 183, 194, 223
 Сиркс Якоб (Sirks J.) (1837—?) — нидерл. физ. 139
 Сирс Ф. (Sirs F.) 185
 Ситенко Алексей Григорьевич (р. 1927) — сов. физ. 227, 231, 237, 239, 247, 261
 Ситтер Виллем де (Sitter W. de) (1872—1934) — нидерл. астроном. 259
 Скалапино Дуглас (Scalapino D.) (р. 1933) — амер. физ. 265
 Склодовская-Кюри Марии (Sklodowska-Curie M.) (1867—1934) — физ. и хим. (Пол., Франц.) 28, 29, 142—144, 146, 154
 Скобельцын Дмитрий Владимирович (р. 1892) — сов. физ. 168, 175, 185, 214
 Скобов Валерий Григорьевич (р. 1934) — сов. физ. 263
 Сковил Генри (Scovill H.) (р. 1923) — физ. (Кан., США) 238, 243
 Скринский Александр Николаевич (р. 1936) — сов. физ. 265, 276
 Славнов Андрей Алексеевич (р. 1939) — сов. физ. 265
 Слайфер Весто (Slipher V.) (1875—1969) — амер. астроном. 153
 Слепьян Джозеф (Slepian J.) (р. 1891) — амер. физ. 175, 200
 Сличтер Чарлз (Slichter Ch.) (р. 1924) — амер. физ. 225
 Слуцкий Абрам Александрович (1891—1950) — сов. радиофиз. 178

- Слэтер Джон (Slater J.) (1900—1976) — амер. физ. 169, 178, 187, 194, 195, 199
- Смекал Адольф (Smekal A.) (1895—1959) — австр. физ. 168
- Смит Джеймс (Smith J.) (р. 1925) — амер. физ. 219, 235
- Смит Томас (Smith T.) (1883—1969) — анг. физ. 161
- Смит Уиллоби (Smith W.) — электрик в Лондоне 127
- Смоленский Георгий Анатольевич (р. 1910) — сов. физ. 241
- Смолуховский Мариан (Smoluchowski M.) (1872—1917) — пол. физ. 133, 148
- Снайдер Хартленд (Snyder H.) (1913—1962) — амер. физ. 199, 208, 217
- Снелл Артур (Snell A.) (р. 1909) — физ. (Кан., США) 203, 209
- Снеллиус Виллеборд (Snell W. van) (1580—1626) — гол. уч. 14, 65
- Снитцер Элайес (Snitzer E.) (р. 1925) — амер. физ. 251
- Сноек Якоб (Snoek J.) (р. 1902) — нидерл. физ. 187
- Собельман Игорь Ильич (р. 1927) — сов. физ. 251
- Содди Фредерик (Soddy F.) (1877—1956) — англ. физ. и хим. 28, 145, 146, 154, 159, 164, 166
- Соколов Арсений Александрович (р. 1910) — сов. физ. 194, 257
- Соколов Сергей Яковлевич (1897—1957) — сов. физ. 177, 192
- Солейль Жан (Soleil J.) (1798—1878) — франц. опт. 116
- Солнцев А. М. — сов. физ. 257
- Соловьев Лев Дмитриевич (р. 1934) — сов. физ. 266
- Солпитер Эдвин (Salpeter E.) (р. 1924) — физ. (Австр., США) 219
- Сомерсет Эдуард (Somerset E.) (1601—1667) — англ. изобр. 70
- Сорокин Питер (Sorokin P.) (р. 1931) — амер. физ. 247, 264
- Сосновский Леонард (Sosnowsky L.) (р. 1911) — пол. физ. 208
- Соссюр Хорак де (Saussure H. de) (1740—1799) — швейц. физ. и геогр. 60, 88, 89, 92
- Спивак Петр Ефимович (р. 1911) — сов. физ. 209
- Спитцер Лайман (Spitzer L.) (р. 1914) — амер. астрофиз. и физ. 216, 220
- Срамек Ричард (Sramek R.) (р. 1943) — амер. радиоастрон. 276
- Стевин Симон (Stevin S.) (1548—1620) — гол. матем., мех. и физ. 12, 62, 63
- Степанов Александр Васильевич (1908—1972) — сов. физ. 173, 187, 212
- Степанов Борис Иванович (р. 1913) — сов. физ. 212, 231, 238, 264
- Степанов Константин Николаевич (р. 1930) — сов. физ. 231, 261
- Стерджен Уильям (Sturgeon W.) (1783—1850) — англ. изобр. 22, 105
- Стерн Пауль (Stern R.) (р. 1928) — физ. (Рум., США) 264
- Стетсер Д. (Stetser D.) 260, 264
- Стефан Йозеф (Stefan J.) (1835—1893) — австр. физ. 122, 126, 130
- Стивенсон Л. (Stevenson L.) 243, 245, 249
- Стивенсон М. (Stevenson M.) 247
- Стивенсон Эдуард (Stevenson E.) (р. 1907) — амер. физ. 193
- Стикс Томас (Stix T.) (р. 1924) — амер. физ. 237
- Стил Мартин (Steele M.) (р. 1919) — амер. физ. 241, 244
- Стилуэлл Дж. (Stilwell G.) 201
- Стильбанс Лазарь Соломонович (р. 1917) — сов. физ. 218
- Стойчев Борис (Stoicheff B.) (р. 1924) — физ. (Югосл., Кан.) 206, 261
- Стокс Джордж (Stokes G.) (1819—1903) — англ. физ. и матем. 104, 112, 115, 117, 118, 141
- Столетов Александр Григорьевич (1839—1896) — рус. физ. 6, 27, 28, 128, 134, 136

- Стоней Джордж (Stoney G.) (1826—1911) — ирл. физ. и матем. 128
 Стонер Эдмунд (Stoner E.) (1899—1968) — англ. физ. 169
 Стрит Джеймс (Street J.) (р. 1906) — амер. физ. 193
 Строк Джордж (Stroke G.) (р. 1924) — физ. (Югосл., США) 261, 262
 Струминский Борис Владимирович (р. 1939) — сов. физ. 259
 Струтинский Вилен Митрофанович (р. 1929) — сов. физ. 264
 Струтт Максимилиан (Strutt M.) (р. 1903) — нидерл. физ. 176
 Струтт Роберт, Рэлей младший (Strutt R.) (1875—1947) — англ. физ. 164
 Стюарт Томас (Stewart T.) (1890—?) — амер. хим. 163, 164
 Сударшан Эннакал (Sudarshan E.) (р. 1931) — инд. физ. 235, 253
 Сул Гарри (Suhl H.) (р. 1922) — физ. (Герм., США) 214, 238
 Сцилард Лео (Szilard L.) (1898—1964) — физ. (Венгр., США) 46, 164, 177, 180, 189, 198, 199, 202
 Сэби Дж. (Saby J.) 219
 Сэвидж К. (Savage C.) 254, 256, 262
 Тавхелидзе Альберт Никифорович (р. 1930) — сов. физ. 259, 266
 Так Джеймс (Tuck J.) (1910—1980) — физ. (Англ., США) 234, 241
 Такахаша Т. (Takahashi T.) — япон. физ. 269
 Такеда Й. (Takeda Y.) — япон. физ. 268
 Такетани Митсуо (Taketani M.) (р. 1911) — япон. физ. 193
 Тальбот Уильям (Talbot W.) (1800—1877) — англ. уч. 112
 Тамм Игорь Евгеньевич (1895—1971) — сов. физ. 6, 19, 22, 23, 41, 46, 47, 53, 177—179, 181, 184, 188, 189, 194, 203, 216
 Танг К. (Tang C.) 268
 Таникава Ясутака (Tanikawa Y.) (р. 1916) — япон. физ. 201
 Танненвальд Петер (Tannenwald P.) (р. 1890) — физ. (Герм., США) 242
 Тансал С. (Tansal S.) 263
 Тарлей Ричард (Tarley R.) (р. 1930) — амер. инж. 259
 Тарталья Никколо (Tartaglia N.) (1499—1557) — итал. матем. 12, 60
 Таунс Чарлз (Townes Ch.) (р. 1915) — амер. физ. 48, 49, 134, 228, 234, 240, 256, 260, 263, 264
 Таунсенд Джон (Townsend J.) (1868—1957) — англ. физ. 142, 144
 Твисс Р. (Twiss R.) 237
 Тейлор Барри (Taylor B.) (р. 1936) — амер. физ. 265, 269
 Тейлор Брук (Taylor B.) (1685—1731) — англ. матем. 79
 Тейлор Дж. (Taylor J.) 251
 Тейлор Джеффри (Taylor G.) (1886—1975) — англ. физ. и мех. 187
 Телегди Валентин (Telegdi V.) (р. 1922) — физ. (Венгр., США) 235, 238, 270
 Теллер Эдвард (Teller E.) (р. 1908) — физ. (Венгр., США) 192, 195, 199, 215, 272
 Тенар Луи (Thenard L.) (1777—1857) — франц. хим. 97
 Тёплер Август (Toepler A.) (1836—1912) — нем. физ. 124
 Теренин Александр Николаевич (1896—1967) — сов. физ. хим. 176
 Терлецкий Яков Петрович (р. 1912) — сов. физ. 238
 Тернов Игорь Михайлович (р. 1921) — сов. физ. 257
 Терхьюн Роберт (Terhune R.) (р. 1926) — амер. физ. 243, 254, 256, 262
 Теотоникус Т. (Thlotionicus T.) (1297—?) — франц. физ. 59
 Тесла Никола (Tesla N.) (1856—1943) — серб. уч. 136, 138, 143
 Тетроде Г. (Tetrode H.) — нем. физ. 158
 Тибо Жан (Thibaud J.) (1901—1960) — франц. физ., 180, 185

Тильман Джон (Tillmann J.) (р. 1912) — англ. физ. 191
Тимофеев А. В. — сов. физ. 256

Тинг Самьюэл (Ting S.) (р. 1936) — амер. физ. 49, 275

Тиндаль Джон (Tyndall J.) (1820—1893) — англ. физ. 125, 126, 131

Тирринг Вальтер (Thirring W.) (р. 1927) — австр. физ. 47, 235

Тисса Ласло (Tisza L.) (р. 1907) — физ. (Венгр., США) 196

Тихонов Андрей Николаевич (р. 1906) — сов. физ. 263

Тичо Гарольд (Ticho H.) (р. 1921) — физ. (Чех., США) 252

Тодоров Иван (р. 1933) — болг. физ. 253, 255

Токсен Арнольд (Toxen A.) (р. 1930) — амер. физ. 263

Толмен Ричард (Tolman R.) (1881—1948) — амер. физ. 163, 177

Толок Владимир Тарасович (р. 1926) — сов. физ. 267

Томас Левелин (Thomas L.) (р. 1903) — физ. (Англ., США) 173, 231, 239

Томаш Вальтер (Tomasch W.) (р. 1930) — амер. физ. 263

Томонага Синьитиро (Tomonaga S.) (1906—1979) — япон. физ. 47, 199, 201, 205, 209

Томпсон Майкл (Thompson M.) (р. 1931) — англ. физ. 257

Томпсон Роберт (Thompson R.) (р. 1919) — амер. физ. 218, 223

Томпсон Станли (Thompson S.) (1912—1976) — амер. хим. 212, 215, 221, 224, 230

Томсон Джозеф Джон (Thomson J. J.) (1856—1940) — англ. физ. 7, 25, 28—30, 43, 44, 132, 141—143, 146, 149, 157, 159, 164

Томсон Джордж (Thomson G.) (1892—1975) — англ. физ. 44, 174

Томсон (Кельвин) Уильям (Thomson, Kelvin W.) (1824—1907) — англ. физ. 20, 24, 27, 115—119, 126, 129

Тонкс Леви (Tonks L.) (1897—1971) — амер. физ. 178, 181, 189, 220

Торндайк Аллан (Torndike A.) (р. 1918) — амер. физ. 219, 224, 258

Торри Генри (Torrey H.) (р. 1911) — амер. физ. 214

Торричелли Эванджелиста (Torricelli E.) (1608—1647) — итал. физ. и матем. 15, 67, 68, 70

Тоунли Ричард (Townley R.) (Англ.) 15, 69

Трапезникова Ольга Николаевна (р. 1901) — сов. физ. 191

Трейман Сэм (Treiman S.) (р. 1925) — амер. физ. 233

Третьяков Е. Ф. — сов. физ. 280

Трефилов Виктор Иванович (р. 1930) — сов. физ. 257

Трипп Роберт (Tripp R.) (р. 1927) — амер. физ. 352

Троутон Фредерик (Trawton F.) (1863—1922) — ирл. физ. 146

Трубников Борис Андреевич (р. 1929) — сов. физ. 251

Труствик Адриан (Troostwijk A. van) (1752—1837) — амстерд. негоциант 95

Тряпицын П. Е. — сов. инж. 164

Тсубокава Й. (Tsubokawa J.) — япон. физ. 249

Тулинов Анатолий Филиппович — сов. физ. 261

Тучкевич Владимир Максимович (р. 1904) — сов. физ. 226

Тцоар Н. (Tzoar N.) 264

Тэрас А. 129

Уайт Дейвид (White D.) (р. 1931) — физ. (Англ., США) 265

Уайт Милтон (White M.) (1910—1979) — амер. физ. 183

Уатт Джеймс (Watt J.) (1736—1819) — шотл. изобр. 19, 86—88

Убальди Гвидо дель Монте (Ubaldi G. del Monte) (1545—1607) — итал. матем. и мех. 12, 61

Уивер Гарольд (Weaver H.) (р. 1917) — амер. астроном. 263
 Уилер Джон (Wheeler J.) (р. 1911) — амер. физ. 198, 199, 202, 216, 238
 Уилкинсон Денис (Wilkinson D.) (р. 1922) — англ. физ. 255
 Уиллис Клодиус (Willis C.) (р. 1893) — амер. физ. 222
 Уитли Джон (Wheatley J.) (р. 1927) — амер. физ. 218, 265
 Уитстон Чарлз (Wheatstone Ch.) (1802—1875) — англ. физ. 109—111, 114, 125
 Уленбек Джордж (Uhlenbeck G.) (р. 1900) — физ. (Нидерл., США) 40, 170, 188
 Ульянин Всеволод Александрович (1863—1930) — рус. физ. 132
 Умов Николай Алексеевич (1846—1915) — рус. физ. 6, 128
 Уокер Уильям (Walker W.) (р. 1923) — амер. физ. 249
 Уолтон Рей (Walton R.) (р. 1921) — амер. инж. 243
 Уолтон Эрнест (Walton E.) (р. 1903) — ирл. физ. 45, 182
 Уорд Джон (Ward J.) (р. 1924) — австрал. физ. 217, 236
 Уорнер Дж. (Warner J.) 268
 Упатниекс Джулис (Upatnieks J.) (р. 1936) — физ. (Латвия, США) 254
 Усагин Иван Филиппович (1855—1919) — рус. физ. 129
 Усачев Лев Николаевич (р. 1926) — сов. физ. 230
 Уэйр Алан (Ware A.) (р. 1924) — англ. физ. 220
 Фабброни Джованни (Fabbro-
 ni G.) (1752—1822) — итал. хим. 95
 Фабелинский Иммануил Лазаревич (р. 1911) — сов. физ. 262, 267
 Фабри Шарль (Fabry Ch.) (1867—1945) — франц. физ. 141, 143
 Фабрикант Валентин Александрович (р. 1907) — сов. физ. 200, 220

Фавр Пьер (Favre P.) (1813—1880) — франц. хим. 118
 Фаддеев Людвиг Дмитриевич (р. 1934) — сов. матем. 247, 256
 Фаззини Т. (Fazzini T.) 238
 Файнберг Яков Борисович (р. 1918) — сов. физ. 211, 233, 241, 251
 Файстоун А. (Faistown A.) 271
 Фалес Милетский (640—550 до н. э.) — древнегреч. уч. 9, 55
 Фалло Морис (Fallot M.) (р. 1898) — франц. физ. 249
 Фанкхаузер А. (Fankhauser A.) 262
 Фарадей Майкл (Faraday M.) (1791—1867) — англ. физ. 9, 20—23, 84, 102, 107—110, 112, 113, 115—117, 123, 128
 Фаренгейт Габриель (Fahrenheit G.) (1686—1736) — гол. физ. 17, 70, 74, 78
 Фаулер Ральф (Fowler R.) (1889—1944) — англ. физ. 167, 176
 Фаулер Уильям А. (Fowler W. A.) (р. 1911) — амер. физ. 231, 236
 Фаулер Уильям Б. (Fowler W. B.) (р. 1924) — амер. физ. 219, 224, 226, 232, 252, 255, 257
 Фаянс Казимеж (Fayans K.) (1887—1975) — физ. (Пол., США) 154, 159
 Феддерсен Беренд (Feddersen B.) (1832—1918) — нем. физ. 127, 128
 Федоров Евграф Степанович (1853—1919) — рус. кристаллограф 138
 Федорович Ростислав Дмитриевич (р. 1933) — сов. физ. 257
 Феер Джордж (Feher G.) (р. 1924) — физ. и биофиз. (Чех., США) 234, 238, 240
 Фезер Норман (Feather N.) (1904—1978) — англ. физ. 45, 182
 Фейнберг Джералд (Feinberg G.) (р. 1933) — амер. физ. 242, 253, 279
 Фейнберг Евгений Львович (р. 1912) — сов. физ. 227
 Фейнман Ричард (Feynman R.) (р. 1918) — амер. физ. 47, 207,

209, 212, 214, 215, 231, 235, 255, 268, 269
 Фелжет Питер (Fellgett P.) (р. 1922) — англ. уч. 212
 Феофилов Петр Петрович (1915—1980) — сов. физ. 265
 Ферма Пьер (Fermat P.) (1601—1665) — франц. матем. 14, 65, 70
 Ферми Энрико (Fermi E.) (1901—1954) — итал. физ. 7, 44, 46, 172, 173, 175, 186, 188, 189, 191, 192, 198—202, 204, 208, 213, 214, 217, 219, 220
 Феррарис Галилео (Ferraris G.) (1847—1897) — итал. физ. и электротехн. 136
 Ферс Э. (Fers E.) 176
 Фехнер Густав (Fechner G.) (1801—1887) — нем. физ. 83
 Фешбах Герман (Feschbach H.) (р. 1917) — амер. физ. 226
 Физо Арман (Fizeau A.) (1819—1896) — франц. физ. 20, 113, 116, 117, 123
 Фик Адольф (Fick A.) (1829—1901) — нем. физиол. 118
 Филд Лестер (Field L.) (р. 1918) — амер. инж. 241
 Филиппас Т. (Filippas T.) 259
 Филиппов Николай Васильевич — сов. физ. 221
 Филлипс Джеймс (Phillips J.) (р. 1933) — амер. физ. 243
 Филлипс Мелба (Phillips M.) (р. 1907) — амер. физ. 191
 Финберг Эуген (Feenberg E.) (1906—1977) — амер. физ. 184, 213
 Финдлей Джон (Findlay G.) (р. 1915) — амер. физ. 196
 Финк Дж. (Fink G.) — амер. физ. 191
 Фирсов Юрий Александрович (р. 1930) — сов. физ. 251, 255, 257, 263
 Фирц Маркус (Fierz M.) (р. 1912) — швейц. физ. 199
 Фитцджеральд Джордж (Fitzgerald G.) (1851—1901) — ирл. физ. 138
 Фитч Вел (Fitch V.) (р. 1923) — физ. (Кан., США) 223, 224, 229, 258, 259, 261
 Фишер Майкл (Fisher M.) (р. 1931) — амер. физ. 263

Флеминг Джон (Fleming J.) (1849—1945) — англ. физ. 147
 Флеров Георгий Николаевич (р. 1913) — сов. физ. 46, 199, 247, 253, 259, 260, 264, 266, 270, 271, 275, 278
 Фогд В. (Vogt W.) 179
 Фогель Герман (Vogel H.) (1834—1898) — нем. фотохим. 127
 Фойгт Вольдемар (Voigt W.) (1850—1919) — нем. физ. 136, 143, 146, 159
 Фок Владимир Александрович (1898—1974) — сов. физ. 44, 45, 172, 174—176, 184
 Фокс Артур (Fox A.) (р. 1912) — амер. физ. 251
 Фокс Джон (Fox J.) (р. 1916) — физ. (Кан., США) 259
 Фокс Р. (Fox R.) 271
 Фомалонт Э. (Fomalont E.) 276
 Форбс Джеймс (Forbes J.) (1809—1868) — шотл. физ. 110
 Форест Ли де (Forest L. de) (1873—1961) — амер. радиоинж. 149
 Форестье Губерт (Forestier H.) (р. 1903) — франц. хим., металлург и физ. 218
 Форстер Теодор (Forster Th.) (р. 1910) — нем. физ. хим. 181
 Фосет Э. (Fosset E.) 233
 Фрадкин Ефим Самойлович (р. 1924) — сов. физ. 239
 Фракасторо Джироламо (Fracastoro G.) (1483—1553) — итал. естествоисп. 60
 Франк Джеймс (Franck J.) (1882—1964) — нем. физ. 156—158
 Франк Илья Михайлович (р. 1908) — сов. физ. 194, 201, 205, 208, 226
 Франк Филипп (Frank Ph.) (1884—1966) — австр. физ. 232
 Франк-Каменецкий Давид Альбертович (1910—1970) — сов. физ. 248
 Франкен Питер (Franken P.) (р. 1928) — амер. физ. 243, 250
 Франклин Бенджамин (Franklin B.) (1706—1790) — амер. физ. 17, 21, 82—84, 128
 Франц Вальтер (Franz W.) (р. 1911) — нем. физ. 240

Франц Рудольф (Franz R.) (1826—1902) — нем. физ. 118
 Фраунгофер Йозеф (Fraunhofer J.) (1787—1826) — нем. физ. 91, 98, 103
 Фраучи Стивен (Frautschi S.) (р. 1933) — амер. физ. 250
 Фредерикс Ханс (Frederikse H.) (р. 1920) — физ. (Нидерл., США) 205
 Фрезер Уильям (Fraser W.) (р. 1933) — амер. физ. 235
 Фрёлих Герберт (Fröhlich H.) (р. 1905) — физ. (Герм., Англ.) 193, 195, 205, 217
 Френель Огюст (Fresnel A.) (1788—1827) — франц. физ. 20, 21, 95, 99, 100, 104
 Френкель Яков Ильич (1894—1952) — сов. физ. 35, 43, 46, 172, 173, 176, 179—181, 184, 192, 198, 205
 Фридель Жак (Friedel J.) (р. 1921) — франц. физ. 231, 234
 Фридман Александр Александрович (1888—1925) — сов. физ. и матем. 36, 164, 167
 Фридрих Вальтер (Friedrich W.) (1883—1968) — нем. физ. 44, 156
 Фриттс К. (Fritts C.) 132, 133
 Фритч Х. (Fritsch H.) 272, 274
 Фруассар Марсель (Froissart M.) (р. 1934) — франц. физ. 250
 Фриш Отто (Frisch O.) (1904—1979) — физ. (Австр., Англ.) 46, 186, 193, 197, 198
 Фубини Серджио (Fubini S.) — итал. физ. 236
 Фуджи К. (Fuji K.) 269
 Фуко Леон (Foucault L.) (1819—1868) — франц. физ. 20, 117, 118
 Фулко Джоссе (Fulco J.) (р. 1927) — физ. (Аргент., США) 235
 Фуркруа Антуан (Fourcroy A.) (1755—1809) — франц. хим. 95
 Фурнерон Бенуа (Fourneuron B.) (1802—1867) — франц. инж. 106
 Фурсов Василий Степанович (р. 1910) — сов. физ. 217

Фурье Жан (Fourier J.) (1768—1830) — франц. матем. и физ. 103
 Фэрбенк Генри (Fairbank H.) (р. 1918) — амер. физ. 265
 Фэрбенк Уильям (Fairbank W.) (р. 1917) — амер. физ. 257
 Хаар Д. тер (Haar D. ter) — англ. физ. 217
 Хаббл Эдвин (Hubble E.) (1889—1953) — амер. астроном. 36, 164, 169
 Хавенс Уильям (Havens W.) (р. 1920) — амер. физ. 221
 Хага Герман (Haga H.) (1852—1936) — нидерл. физ. 143, 149
 Хаген Эрнст (Hagen E.) (1851—1923) — нем. физ. 124, 144
 Хазерт Ф. (Hasert F.) 272, 273
 Хайкин Моисей Семенович (р. 1921) — сов. физ. 257
 Хакен Герман (Haken H.) (р. 1927) — нем. физ. 260
 Хаксель Отто (Haxel O.) (р. 1909) — нем. физ. 210
 Халатников Исаак Маркович (р. 1919) — сов. физ. 241, 271
 Халбан Ханс (Halban H.) (1908—1964) — физ. (Герм., Франц.) 192, 193, 198, 199
 Халл Гордон (Hull G.) (р. 1912) — физ. (Нидерл., США) 205, 263
 Халм Джон (Hulm J.) (р. 1923) — физ. (Англ., США) 218, 226
 Халперн Отто (Halpern O.) (р. 1899) — физ. (Австр., США) 199
 Хан А. (Khan A.) 135
 Хан Моо (Han M.) (р. 1934) — физ. (Корея, США) 259
 Хан Эрвин (Hahn E.) (р. 1921) — амер. физ. 214, 218, 266
 Хандрос Лев Григорьевич (р. 1914) — сов. физ. 212, 215
 Ханкель Вильгельм (Hanskel W.) (1814—1899) — нем. физ. 115
 Хансен Уильям (Hansen W.) (1909—1949) — амер. физ. 204
 Хансон Гарольд (Hanson H.) (р. 1921) — амер. физ. 277

- Хант Франклин (Hunt F.) (1883—?) — амер. физ. 149, 162
- Хаппер Уильям (Happer W.) (р. 1939) — амер. физ. 279
- Харари Хайм (Harari H.) 269, 276
- Хардеман Дж. (Hardeman G.) 223
- Харди Дж. (Hardy J.) 226
- Харитон Юлий Борисович (р. 1904) — сов. физ. и физ. хим. 46, 198
- Харкинс Уильям (Harkins W.) (1873—1951) — амер. физ. и хим. 45, 161, 164, 165, 181
- Харрис Роберт (Harris R.) (р. 1933) — амер. физ. хим. 195
- Харрис Стивен (Harris S.) (р. 1936) — амер. физ. 266, 267
- Харрис Эдвард (Harris E.) (р. 1924) — амер. физ. 251
- Харрисон Уолтер (Harrison W.) (р. 1930) — амер. физ. 248
- Харт Морис (Hart M.) (р. 1934) — амер. физ. хим. 262
- Хартек Пауль (Hartek P.) (р. 1902) — физ. хим. (Австр., США) 188
- Хартли Вальтер (Hartley W.) (1846—1913) — англ. хим. 132
- Хартли Д. (Hartley D.) 173
- Хартри Дуглас (Hartree D.) (1897—1958) — англ. физ. и матем. 176
- Харченко Владимир Федорович (р. 1937) — сов. физ. 247
- Хасты Р. (Hastie R.) 251
- Хатсон Эндрю (Hutson A.) (р. 1926) — амер. физ. 251
- Хаустон Уильям (Houston W.) (1900—1968) — амер. физ. 175, 207
- Хаякава Сагю (Hayakawa S.) (р. 1923) — япон. физ. и астрофиз. 217
- Хевеши Дьёрдь (Hevesy G.) (1885—1966) — хим., физ. и радиобиол. (Венгр., США) 160, 165, 168
- Хевисайд Оливер (Heaviside O.) (1850—1925) — англ. физ. и матем. 25, 112, 121, 133, 145, 169
- Хёггинс Уильям (Huggins W.) (1824—1910) — англ. астроном. 125
- Хейворд Эванс (Hayward E.) (р. 1922) — амер. физ. 229
- Хейн Франц (Heyn F.) (р. 1910) — нидерл. физ. 239
- Хейнау Г. (Heynau H.) 264
- Хейнс Джеймс (Haynes J.) (р. 1909) — амер. физ. 214, 223
- Хеллуорт Роберт (Hellwarth R.) (р. 1930) — амер. физ. 253
- Херд Гарри (Heard H.) (р. 1922) — амер. физ. 256
- Херринг Коньерс (Herring C.) (р. 1914) — амер. физ. 200, 219
- Херчер Майкл (Hercher M.) (р. 1935) — амер. физ. 260
- Хефнер-Альтенек Фридрих (Hefner-Altenack F. von) (1845—1904) — нем. изобр. 121
- Хиорт — дат. инж. 124
- Хиггс Питер (Higgs P.) (р. 1929) — шотл. матем. и физ. 258
- Хилл Дейвид (Hill D.) (р. 1919) — амер. физ. 216
- Хилл Роберт (Hill R.) (р. 1913) — амер. физ. 263
- Хиллерос Эгил (Hylleraas E.) (1898—1965) — норв. физ. 172
- Хильперт Зигфрид (Hilpert S.) (1883—1951) — нем. хим. 152
- Хиппель Артур (Hippel A. von) (р. 1898) — физ. (Герм., США) 184
- Хладни Эрнст (Chladni E.) (1756—1827) — нем. физ. 21, 91—94, 96
- Хойл Фред (Hoyle F.) (р. 1915) — англ. астроном. 204, 236
- Хокер Джордж (Hocker G.) (р. 1942) — амер. физ. 268
- Хокинг Стивен (Hawking S.) (р. 1942) — англ. физ. 263, 276
- Холл Говард (Hall H.) (р. 1919) — амер. физ. хим. 242
- Холл Роберт (Hall R.) (р. 1919) — амер. физ. 253
- Холл Честер (Hall Ch.) (1703—1771) — англ. опт. 84
- Холл Эдвин (Hall E.) (1855—1938) — амер. физ. 130

Холледей Вендем (Holladay W.) (р. 1925) — амер. физ. 235
 Холоньяк Ник (Holonyak N.) (р. 1928) — амер. физ. 244
 Хольм Рагнар (Holm R.) (1879—1970) — физ. (Швец., США) 185
 'т Хоофт Герард ('t Hooft G.) — нидерл. физ. 265, 271
 Хорн Дэг (Horn D.) (р. 1950) — физ. (Норв., США) 267
 Хорнбек Джон (Hornbeck J.) (р. 1918) — амер. физ. 219
 Хоутерманс Фридрих (Houtermans F.) (1903—1966) — физ. (Герм., Швейц.) 178, 270
 Хофштадтер Роберт (Hofstadter R.) (р. 1915) — амер. физ. 228, 229, 235
 Хохлов Рем Викторович (1926—1977) — сов. физ. 251, 254, 262, 266, 267, 269
 Хрипович Иосиф Бенционович (р. 1937) — сов. физ. 273
 Хрусталеv Олег Антонинович — сов. физ. 255
 Хунд Фридрих (Hund F.) (р. 1896) — нем. физ. 170, 175
 Хуцишвили Гиви Ражденович (1921—1979) — сов. физ. 214
 Хьюгс Т. 133
 Хьюиш Энтони (Hewish A.) (р. 1924) — англ. астрофиз. 267
 Хюккель Эрих (Hückel E.) (1896—1980) — нем. физ. 168
 Царенков Борис Васильевич (р. 1930) — сов. физ. 268
 Цвейг Джордж (Zweig G.) (р. 1937) — амер. физ. 258
 Цвет Михаил Семенович (1872—1919) — рус. бот. 146
 Цвикки Фриц (Zwicky F.) (1898—1974) — астрофиз. (Болг., США) 190
 Цельсий Андерс (Celsius A.) (1701—1744) — швед. астрофиз. и физ. 17, 81
 Цернике Фриц (Zernike F.) (1888—1966) — нидерл. физ. 190, 192
 Цехмайстер Ласло (Zechmeister L.) (1889—?) — австр. хим. 165
 Цехновитцер Евгений Вениа-

минович (р. 1898) — сов. физ. 173

Цидильковский Исаак Михайлович (р. 1923) — сов. физ. 263

Циммерман Вольфхарт (Zimmerman W.) (р. 1928) — нем. физ. 230

Цицейка Щербан (Titeica S.) (р. 1908) — рум. физ. 192

Цицерон Марк (106—43 до н. э.) — древнерим. полит. деят., оратор, писат. 64

Чалмерс Т. (Chalmers T.) 189
 Чампней Дж. (Champeneu D.) 135

Чандрасекар Субраманьян (Chandrasekhar S.) (р. 1910) — физ. и астрофиз. (Инд., США) 181

Чеботаев Вениамин Павлович (р. 1938) — сов. физ. 270, 276

Челлен Гуннар (Kullen G.) — швед. физ. 221

Чемберлен Оуэн (Chamberlain O.) (р. 1920) — амер. физ. 229

Чен Фанг (Chen F.) (р. 1928) — физ. (Кит., США) 268

Черенков Павел Алексеевич (р. 1904) — сов. физ. 189

Черни Джозеф (Cerny J.) (р. 1936) — амер. хим. 219, 270

Черников Николай Александрович — сов. физ. 253

Чиאו Раймонд (Chiao R.) (р. 1940) — физ. (Гонконг, США) 260, 264

Чиковани Георгий Евгеньевич (1928—1968) — сов. физ. 256

Чу Джеффри (Chew G.) (р. 1924) — амер. физ. 227, 233, 235, 236, 242, 250

Чувило Иван Васильевич — сов. физ. 266

Чудаков Александр Евгеньевич (р. 1921) — сов. физ. 214, 226, 238, 242, 279

Чэдвик Джеймс (Chadwick J.) (1891—1974) — англ. физ. 44, 45, 153, 156, 160, 181, 186, 188, 190, 192

Шавлов Артур (Schawlow A.) (р. 1921) — амер. физ. 240, 247, 276, 277

- Шалл Клиффорд (Shull C.) (р. 1915) — амер. физ. 209, 211, 215
- Шальников Александр Иосифович (р. 1905) — сов. физ. 201, 204
- Шалыт Симон Соломонович (1911—1977) — сов. физ. 191
- Шапиро Ирвин (Shapiro I.) (р. 1929) — амер. физ. и астрон. 261, 272
- Шапиро Сидней (Shapiro S.) (р. 1931) — амер. физ. 257
- Шапиро Федор Львович (1915—1973) — сов. физ. 267
- Шарвин Юрий Васильевич (р. 1919) — сов. физ. 263
- Шарль Жак (Charles J.) (1746—1823) — франц. физ. 88, 92, 96
- Шатт Р. (Shutt R.) — амер. физ. 193, 219, 224, 258
- Шафранов Виталий Дмитриевич (р. 1929) — сов. физ. 234, 241, 249
- Шварц Мэлвин (Schwartz M.) (р. 1932) — амер. физ. 252, 278
- Шварцшильд Карл (Schwarzschild C.) (1873—1916) — нем. астрон. и физ. 163
- Шварцшильд Мартин (Schwarzschild M.) (р. 1912) — астрон. (Герм., США) 228, 234
- Швейггер Иоганн (Schweigger J.) (1779—1857) — нем. физ. 22, 102
- Швейдлер Эгон (Schweidler E.) (1873—1948) — австр. физ. 143, 148
- Шверд Фридрих (Schwerd F.) (1792—1871) — нем. физ. 103
- Швингер Юлиан (Schwinger J.) (р. 1918) — амер. физ. 47, 203, 205, 207, 209, 219, 230, 233, 235, 236, 239, 255, 269
- Шееле Карл (Scheele K.) (1742—1786) — нем. хим. 86
- Шейнер Кристоф (Schneider Chr.) (1575—1650) — нем. астрон. 64
- Шелепин Леонид Александрович (р. 1930) — сов. физ. 269
- Шёнфлис Артур (Scheonfliss A.) (1853—1928) — нем. матем. 138
- Шеррер Пауль (Scherrer P.) (1890—1970) — швейц. физ. 163
- Шестопалов Виктор Петрович (р. 1923) — сов. радиофиз. 255, 272
- Шив Джон (Shive J.) (р. 1913) — амер. физ. 215
- Шиллинг Павел Львович (1786—1837) — рус. электротехн. 108
- Шипук И. Я. — сов. физ. 256
- Шипуло Георгий Павлович — сов. физ. 256
- Ширане Ген (Shirane G.) (р. 1924) — физ. (Япон., США) 220
- Ширен Норман (Shiren N.) (р. 1925) — амер. физ. 250
- Ширков Дмитрий Васильевич (р. 1928) — сов. физ. 228, 230
- Шифф Леонард (Schieff L.) (1915—1971) — амер. физ. 191, 224, 247
- Шлютер Арнулф (Schluter A.) (р. 1922) — нем. физ. 225
- Шмид Кристоф (Schmid C.) — швейц. физ. 267
- Шмидт Герхард (Schmidt G.) (1865—1949) — физ. (Англ., Герм.) 142
- Шмидт Мартев (Schmidt M.) (р. 1929) — астрон. (Нидерл., США) 257
- Шмидт Теодор (Schmidt T.) (р. 1908) — нем. физ. 191, 194
- Шокли Уильям (Shockley W.) (р. 1910) — амер. физ. 48, 210, 211, 214, 215, 217, 219, 223, 225
- Шортли Джордж (Shortley G.) (р. 1910) — амер. физ. 191
- Шотт Гаспар (Schott G.) (1608—1666) — физ. (Герм., Итал.) 74
- Шотт Джордж (Schott G.) (1868—1937) — англ. физ. 150
- Шоттки Вальтер (Schottky W.) (1886—1976) — нем. физ. 129, 161, 179, 197, 199
- Шоу Роналд (Schaw R.) (р. 1929) — англ. матем. 228
- Шпрингер Тассо (Springer T.) (р. 1930) — нем. физ. 250
- Шредингер Эрвин (Schrödinger E.) (1887—1961) — австр. физ. 39, 40—42, 167, 168, 170, 171, 172, 174
- Шриффер Джон (Schrieffer J.) (р. 1931) — амер. физ. 51, 236

Штайерл А. (Steirel A.) 281
 Шталь Георг (Stahl G.) (1660—1734) — нем. хим. и врач 77
 Штарк Иоганн (Stark J.) (1874—1957) — нем. физ. 148, 149, 159
 Штарке Герман (Starke H.) (1874—1960) — нем. электротехн. 145
 Штеенбек Макс (Steenbeck M.) (р. 1904) — нем. физ. 180
 Штейнберг Дмитрий Самойлович — сов. физ. 178
 Штейнбергер Джек (Steinberger J.) (р. 1921) — амер. физ. 215, 238, 252
 Штейнхаузер К. (Steinhäuser C.) 281
 Штерн Отто (Stern O.) (1888—1969) — физ. (Герм., США) 162, 165—167, 178, 186, 188
 Штрассман Фриц (Strassmann F.) (1902—1980) — нем. хим. и физ. 46, 196, 197
 Штроемер Фридрих (Stroemer F.) (1776—1835) — нем. хим. 100
 Штрум Лев Яковлевич (1890—1937) — сов. физ. 188
 Штурм Якоб (Sturm J.) (1803—1855) — матем. и мех. (Швейц., Франц.) 106
 Штюкельберг Эрнст (Stueckelberg E.) (р. 1905) — швейц. физ. 195, 214, 230
 Шубин Семен Петрович (1908—1938) — сов. физ. 178, 181
 Шубников Лев Васильевич (1901—1945) — сов. физ. 47, 179, 187, 190, 191, 193, 194, 223
 Шуман Виктор (Schumann V.) (1841—1913) — нем. физ. 27
 Шустер Артур (Schuster A.) (1851—1934) — физ. (Герм., Англ.) 142
 Шюлер Герман (Schüler H.) (р. 1894) — нем. физ. 176, 191
 Щепкин Герман Яковлевич (1906—1980) — сов. физ. 191
 Эберхард Филипп (Eberhard Ph.) (р. 1929) — физ. (Швейц., США) 243, 245
 Эвальд Пауль (Ewald P.) (р. 1888) — нем. физ. 156, 162
 Эвдокс Книдский (407—354 до

н. э.) — древнегреч. матем. и астроном. 9, 56
 Эверетт Джозеф (Everett J.) (1831—1904) — англ. физ. 129
 Эвинг Джеймс (Ewing J.) (1855—1935) — шотл. физ. 131
 Эгрэн Пьер (Aigrain P.) (р. 1924) — франц. физ. 249
 Эгучи М. (Eguchi M.) — япон. физ. 112
 Эддингтон Артур (Eddington A.) (1882—1944) — англ. астрофиз. и физ. 155, 164, 165
 Эдисон Томас (Edison T.) (1847—1931) — амер. изобр. 27, 126, 129, 132, 144
 Эйлер Леонард (Euler L.) (1707—1783) — матем. и мех. (Швейц., Россия) 17, 19—21, 80—85, 106, 127
 Эйлер Х. (Euler H.) — нем. физ. 195
 Эйнштейн Альберт (Einstein A.) (1879—1955) — физ. (Герм., США) 9, 12, 15, 23—25, 30—35, 37—39, 42, 133, 147—149, 151, 154, 155, 157, 158, 162—164, 167—169, 177, 179
 Эйхенвальд Александр Александрович (1864—1944) — рус. физ. 146, 147
 Элликотт Джон (Ellicott J.) (1772—?) 80, 82
 Эллис Чарлз (Ellis Ch.) (1895—1980) — англ. физ. 174
 Эльгуйар Ж. (Elhuayar) — брат Ф. Эльгуйара 88
 Эльгуйар Фаусто де (Elhuayar F. de) (1775—1833) — исп. хим. 88
 Эльзассер Вальтер (Elsasser W.) (р. 1904) — физ. (Герм., США) 170, 174, 188, 192, 210
 Эльстер Юлиус (Elster J.) (1854—1920) — нем. физ. 143, 146, 156
 Эме Рейнхард (Oehme R.) (р. 1928) — физ. (Герм., США) 235
 Энгельс Фридрих (Engels F.) (1820—1895) 60
 Энгл Джозеф (Engl J.) (1893—1942) — физ. (Герм., США) 160
 Энглерт Франсуа (Englert F.) (р. 1932) — бельг. физ. 258

Эндрюс Дональд (Andrews D.) (р. 1898) — амер. физ. хим. 252
 Эндрюс Томас (Andrews T.) (1813—1885) — ирл. хим. 123
 Энц В. (Enz V.) 248
 Эпикур (342—341 — 271—270 до н. э.) — древнегреч. филос. 248
 Эпинус Франц (Erpinus F.) (1724—1802) — физ. (Герм., Россия) 78, 84—86
 Эпплтон А. (Appleton A.) 269
 Эпплтон Эдвард (Appleton E.) (1892—1965) — англ. физ. 169
 Эпштейн Пауль (Epstein P.) (1883—1966) — физ. (Пол., США) 163
 Эратосфен (ок. 276 — 191 до н. э.) — древнегреч. астроном. 57
 Эрвин Альберт (Erwin A.) (р. 1931) — амер. физ. 249
 Эренгафт Феликс (Ehrenhaft F.) (1879—1952) — австр. физ. 149
 Эренфест Пауль (Ehrenfest P.) (1880—1933) — физ. (Австр., Нидерл.) 148, 155, 175, 180, 187, 195
 Эрриотт Дональд (Herriott D.) (р. 1928) — амер. физ. 247
 Эрстед Ханс (Oersted H.) (1777—1851) — дат. физ. 21, 101—103
 Эсаки Лео (Esaki L.) (р. 1925) — япон. физ. 51, 238, 244, 254, 265
 Эссен Льюис (Essen L.) (р. 1908) — англ. физ. 231
 Эстерман Иммануэль (Estermann I.) (1900—1973) — физ. (Герм., США) 188
 Этвеш Роланд (Eötvös R.) (1848—1919) — венг. физ. 35, 133, 137
 Эттингсхаузен Андреас фон (Ettingshausen A. von) (1796—1878) — нем. матем. и физ. 133
 Юз Вернон (Hughes V.) (р. 1921) — амер. физ. 186, 245
 Юз Дейвид (Hughes D.) (1831—1900) — англ. физ. и изобр. 27, 129, 132
 Юз Дональд (Hughes D.) (1915—1960) — амер. физ. 213, 219
 Юнн Х. 220
 Юкава Хидэки (Yukawa H.) (1907—1981) — япон. физ. 46,

190, 191, 193, 206
 Юнг Томас (Young T.) (1773—1829) — англ. уч. 20, 21, 95—97, 100, 110
 Юри Гарольд (Urey H.) (1893—1981) — амер. физ. хим. 181, 182
 Юсти Эдуард (Justi E.) (р. 1904) — нем. физ. 201
 Юханссон Свен (Johansson S.) (р. 1923) — швед. физ. 243
 Яблочков Павел Николаевич (1847—1894) — рус. электротехн. 27, 129
 Явлинский Натан Аронович (1912—1962) — сов. физ. 228
 Якоби Борис Семенович (1801—1874) — рус. физ. 6, 110—112
 Якобсен Эдвард (Jacobsen E.) (р. 1926) — амер. физ. 243
 Яковлев Евгений Николаевич (р. 1928) — сов. физ. 272, 277
 Якубовский Андрей Юрьевич (р. 1945) — сов. физ. 281
 Ямагучи Йошио (Yamaguchi Y.) (р. 1926) — япон. физ. 219
 Ян Герман (Jahn H.) (р. 1907) — англ. матем. 195
 Янг Чженьнин (Yang Ch.) (р. 1922) — физ. (Китай, США) 47, 49, 50, 213, 228, 232, 235, 245
 Яноши Лайош (Janossi L.) (1912—1978) — венгр. физ. 200, 202
 Янсен Захарий (Jansen Z.) (1580—1638) — гол. опт. 12, 62, 64
 Янсен Ханс (Jansen H.) — гол. опт., отец З. Янсена 64
 Янский Карл (Jansky K.) (1905—1950) — амер. радиотехн. 181
 Янсон Игорь Кондратьевич (р. 1938) — сов. физ. 261
 Ярба Виктор Алексеевич — сов. физ. 255
 Ярив Эмнов (Yariv E.) (р. 1930) — амер. физ. 267
 Ястров Роберт (Jastrow R.) (р. 1925) — амер. физ. 219
 Яуман Густав (Jaumann G.) (1863—1924) — австр. физ. 154
 Яфет Яко (Jafet Y.) (р. 1923) — физ. (Тур., США) 223

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

австр.— австрийский
 Австрал.— Австралия
 австрал.— австралийский
 александр.— александрийский
 алхим.— алхимик
 амер.— американский
 амстерд.— амстердамский
 Англ.— Англия
 англ.— английский
 араб.— арабский
 аргент.— аргентинский
 архит.— архитектор
 астроном.— астроном
 астрофиз.— астрофизик
 бельг.— бельгийский
 биофиз.— биофизик
 Болг.— Болгария
 болгар.— болгарский
 бот.— ботаник
 Браз.— Бразилия
 браз.— бразильский
 венг.— венгерский
 Венгр.— Венгрия
 вьетнам.— вьетнамский
 геогр.— географ
 геод.— геодезист
 геол.— геолог
 Герм.— Германия
 геофиз.— геофизик
 гол.— голландский
 гос.— государственный
 Дан.— Дания
 дат.— датский
 деят.— деятель
 древнегреч.— древнегреческий
 древнерим.— древнеримский
 естествоисп.— естествоиспытатель
 изобр.— изобретатель
 Изр.— Израиль
 израил.— израильский
 Инд.— Индия
 инд.— индийский
 инж.— инженер
 Ирл.— Ирландия
 ирланд.— ирландский
 исп.— испанский
 Итал.— Италия

итал.— итальянский
 Кан.— Канада
 канад.— канадский
 Кит.— Китай
 констр.— конструктор
 косм.— космический
 кристалл.— кристаллограф
 матем.— математик
 мед.— медик
 мексик.— мексиканский
 метал.— металлург
 металлофиз.— металлофизик
 метеорол.— метеоролог
 мех.— механик
 минер.— минералог
 нем.— немецкий
 Нидерл.— Нидерланды
 нидерл.— нидерландский
 новозеланд.— новозеландский
 Норв.— Норвегия
 норв.— норвежский
 опт.— оптик
 Пакист.— Пакистан
 персид.— персидский
 писат.— писатель
 Пол.— Польша
 пол.— польский
 полит.— политический
 Португ.— Португалия
 предприн.— предприниматель
 прибалт.— прибалтийский
 промыш.— промышленник
 радиоастрон.— радиоастроном
 радиобиол.— радиобиолог
 радиоинж.— радиоинженер
 радиофиз.— радиофизик
 радиохим.— радиохимик
 рим.— римский
 Рум.— Румыния
 рум.— румынский
 рус.— русский
 сов.— советский
 серб.— сербский
 среднеазиат.— среднеазиатский
 Тур.— Турция
 тур.— турецкий
 укр.— украинский
 уч.— ученый
 учит.— учитель

физ.— физик
физиол.— физиолог
физ.хим.— физикохимик
филос.— философ
фин.— финский
фотохим.— фотохимик
Франц.— Франция
франц.— французский
хим.— химик
хорват.— хорватский
хорезм.— хорезмский
хранит.— хранитель
художн.— художник

Чех.— Чехословакия
чеш.— чешский
швед.— шведский
Швейц.— Швейцария
швейц.— швейцарский
Швец.— Швеция
Шотл.— Шотландия
шотл.— шотландский
электротехн.— электротехник
Югосл.— Югославия
Япон.— Япония
япон.— японский

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ	5
ХРОНОЛОГИЯ	55
ПРЕДЫСТОРИЯ ФИЗИКИ	55
ЭПОХА АНТИЧНОСТИ	55
СРЕДНИЕ ВЕКА	58
ЭПОХА ВОЗРОЖДЕНИЯ	59
ПЕРИОД СТАНОВЛЕНИЯ ФИЗИКИ КАК НАУКИ	62
ПЕРИОД КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ	76
ПЕРВЫЙ ЭТАП	76
ВТОРОЙ ЭТАП	121
ТРЕТИЙ ЭТАП	138
ПЕРИОД СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ	147
ПЕРВЫЙ ЭТАП	147
ВТОРОЙ ЭТАП	181
ТРЕТИЙ ЭТАП	228
Список литературы к разделу	
«ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ	
В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ»	282
Список литературы к разделу	
«ХРОНОЛОГИЯ»	284
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	295

Храмов Ю. А.
Х89 Биография физики: Хронол. справ. / Отв. ред.
А. Г. Ситенко.— К.: Техніка, 1983.— 344 с., ил.—
Библиогр.: с. 282—294.

В пер.: 1 р. 70 к. 20 000 экз.

Предлагаемый справочник по истории физики является своеобразной летописью, в которой в хронологическом порядке от древнейших времен до наших дней собрано более 4000 открытий, изобретений, теорий и т. п., кратко раскрыты их смысл и значение для последующего развития физики. Хронологические справки поданы в рамках определенной схемы периодизации физики и позволяют проследить ход развития физических знаний, эволюцию основных физических идей. Дана также краткая характеристика основных этапов развития физики.

Рассчитан на научных и инженерно-технических работников, а также преподавателей высших и средних учебных заведений, студентов.

Х 1704010000-186
М202 (04)-83 55.83

22.3 г.я2

Юрий Алексеевич Храмов,
канд. физ.-мат. наук
Биография физики
Хронологический справочник

Редактор
Г. Л. Миронова
Художественное оформление и макет
Л. А. Дикарева, В. И. Диброва
Художественные редакторы
Л. А. Дикарев, В. С. Шапошников
Технический редактор
С. В. Иванус
Корректор
Л. В. Ляшенко

Информ. бланк № 2493

Сдано в набор 15.06.83. Подписано в печать 24.10.83.

БФ 05420. Формат 84×100¹/₃₂.

Бумага типогр. № 1. Гарн. обычн. новая.

Печ. выс. Усл. печ. л. 16,77. Усл. кр.-от. 16,77.

Уч.-изд. л. 24,5. Тираж 20000 экз.

Зак. № 8—1810. Цена 1 р. 70 к.

Издательство «Техника»,
252601, Киев, 1, Креватик, 5

Головное предприятие
республиканского
производственного объединения
«Полиграфкига»,
252057, Киев-57,
ул. Довженко, 3

