

В.В. Майер
Е.И. Вараксина

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ
ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ**

Монография

2-е издание, стереотипное

Москва
Издательство «ФЛИНТА»
2016

УДК 371.32
ББК 74.262.22
М15

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ
в рамках проекта № 14-36-01015*

Рецензенты:

И. В. Гребенев — д-р пед. наук, проф. (Н. Новгород);
М. Д. Даммер — д-р пед. наук, проф. (Челябинск);
Ф. А. Сидоренко — д-р физ.-мат. наук, проф. (Екатеринбург)

Майер В.В.

М15 Образовательные ресурсы проектной деятельности школьников по физике [Электронный ресурс] : монография / В.В. Майер, Е.И. Вараксина. — 2-е изд., стер. — М. : ФЛИНТА, 2016. — 228 с. ISBN 978-5-9765-2287-9

Монография посвящена проблеме построения методики реализации проектной деятельности учащихся по физике в массовой общеобразовательной школе. Суть решения этой проблемы заключается в ответе на вопрос: как должно осуществляться конструирование и каким должно быть конкретное содержание системы образовательных ресурсов, обеспечивающей эффективное руководство учителем и продуктивное выполнение учащимися исследовательских проектов по всем разделам школьного курса физики?

Для исследователей в области дидактики физики, преподавателей физики средней и высшей школы, руководителей элективных курсов, физических и технических кружков, аспирантов и студентов.

УДК 371.32
ББК 74.262.22

ISBN 978-5-9765-2287-9

© Майер В. В., Вараксина Е. И., 2016
© Издательство «ФЛИНТА», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ	7
1.1. Понятие проектной деятельности.....	7
1.2. Психологические основы учебной деятельности.....	10
1.3. Ученическая проектная деятельность	13
1.4. Исследовательские проекты учащихся по физике	20
Глава 2. ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ УЧЕБНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	27
2.1. Педагогический эксперимент в дидактике физики	27
2.2. Проблема полноты информационного обеспечения учебного исследования.....	31
2.3. Выбор объекта учебного исследования	32
2.4. Экспериментальное исследование гидростатического давления методом фонтана	33
2.5. Экспериментальное исследование гидродинамического давления методом фонтана.....	35
2.6. Педагогический эксперимент по определению содержания первичной информации	37
Глава 3. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	40
3.1. Образовательные ресурсы ученических проектов	40
3.2. Информационные источники дидактических ресурсов.....	47
3.3. Дидактические ресурсы проектов по физике	53
Глава 4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ФИЗИКЕ	64
4.1. Подготовка учителя физики к проектной деятельности	64
4.2. Подготовка материально-технических ресурсов	69
4.3. Способы изготовления электронных приборов.....	74
4.4. Методика организации проектной деятельности	84
Глава 5. ПРОЕКТЫ НАЧАЛЬНОГО ЭТАПА ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ	91
5.1. Учебные исследования гидравлических механизмов.....	92
5.2. Экспериментальное исследование сифона	104
5.3. Исследование автоматических сифонов	110

Глава 6. ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ	119
6.1. Презентация элективного курса «Основы механики жидкости»	119
6.2. Исследование гидродинамического удара	125
6.3. Исследование разрушений при гидродинамическом ударе	131
Глава 7. ПРОЕКТЫ СОЗДАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ	139
7.1. Учебная модель анемометра	139
7.2. Учебные приборы для опытов с ультразвуком	147
Глава 8. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	158
8.1. Презентация проблемы исследовательского проекта на уроке по кипению жидкости	158
8.2. Внеурочное экспериментирование при изучении электростатики	165
8.3. Демонстрация постоянного магнита и электромагнита на уроке физики	175
Глава 9. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОЕКТЫ ВЫПУСКНОГО КЛАССА	184
9.1. Особенности проектной деятельности в выпускном классе	184
9.2. Интерференционный опыт Юнга	185
9.3. Эриометр Юнга и дифракция электронов	201
9.4. Формирование содержания ученического проекта	211
Заключение	216
Список литературы	217

Предисловие

Исследование образовательных ресурсов как средства организации учебно-исследовательской проектной деятельности в массовой школе направлено на решение одной из фундаментальных проблем образования, связанных с повышением уровня естественнонаучной грамотности, формированием научного типа мышления и развитием интереса школьников к физике. Актуальность этой проблемы определяется требованиями недавно принятого Федерального государственного образовательного стандарта к освоению учащимися основ метода научного познания и прямым указанием ФГОС на необходимость выполнения школьниками индивидуальных проектов исследовательского характера.

Наблюдения и педагогический эксперимент показывают, что многие учителя физики не готовы к реализации требований ФГОС, поскольку испытывают трудности в поиске интересного и доступного школьникам содержания исследовательских проектов. Кроме того, экспериментальная подготовленность большинства учителей недостаточна для квалифицированного научного руководства проектами учащихся, связанными с учебным физическим экспериментом. Выход зачастую находится в выполнении примитивных заданий репродуктивного или даже реферативного характера. В отдельных случаях реализация ученических проектов осуществляется в стенах вузов на готовом и невозпроизводимом в условиях школы университетском оборудовании, принцип действия которого нередко недоступен пониманию учащихся.

В работах В. Г. Разумовского [84–89] дан сравнительный анализ результатов диагностики исследовательских умений отечественных и зарубежных школьников, который показывает, что российские учащиеся плохо владеют практическими навыками, умениями объяснять и исследовать физические явления. Изучение иностранных источников информации подтверждает приоритетное значение самостоятельной познавательной деятельности школьников по исследованию современных объектов окружающего их мира. Поэтому проектная деятельность учащихся является неотъемлемой частью обучения физике за рубежом.

В отечественной педагогической науке проблемы проектной деятельности школьников рассматриваются во многих исследованиях. К сожалению, большинство из них носит излишне теоретизированный характер и не представляет особого интереса для учителей физики, реально руководящих ученическими проектами.

Мы исходим из того, что ученический проект по физике выполняется в совместной деятельности учителя и ученика по исследованию объектов и явлений ноосферы, направленной на получение новых резуль-

татов в области учебной физики. Поэтому в первой главе монографии рассмотрено понятие ученической проектной деятельности. Во второй главе сформулировано основное требование к информации, обеспечивающей выполнение учебного исследования. В третьей главе вводится и анализируется понятие образовательных ресурсов проектной деятельности. Четвертая глава посвящена методике организации проектной деятельности по физике. В остальных пяти главах представлены дидактические образовательные ресурсы конкретных проектов, связанных с исследованиями явлений повседневной жизни, созданием физических приборов, совершенствованием учебного физического эксперимента, и показана специфика исследовательских проектов выпускного класса. Такое построение книги, направленной на решение как теоретических, так и практических задач, объясняет небольшие повторы, которые имеются в отдельных местах.

Авторы благодарны действительному члену РАО профессору В. Г. Разумовскому за внимание и многолетнюю поддержку их исследований актуальных проблем дидактики физики.

В педагогическом эксперименте по оптимизации информации для учебного исследования приняли участие Ю. В. Иванов и А. Л. Кутявин в бытность свою аспирантами. Конструкции гидравлических механизмов и программа элективного курса по гидродинамике разработаны совместно с М. Л. Исаковой, выполняющей диссертационное исследование. Аспиранты, магистранты и студенты И. А. Васильев, И. М. Гуляев, О. В. Дюкина, Н. А. Корнев, Е. А. Наговицына, И. В. Салтыков в разное время провели педагогические эксперименты, подтвердившие основные положения развиваемой здесь концепции проектной деятельности. Все они способствовали созданию монографии, и всем им авторы выражают искреннюю признательность. Авторы благодарны также рецензентам И. В. Гребеневу, М. Д. Даммер и Ф. А. Сидоренко, внимательно прочитавшим рукопись и сделавшим ряд полезных замечаний.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках проекта № 14–36–01015 «Образовательные ресурсы как средство организации учебно-исследовательской проектной деятельности в массовой школе».

Глава 1

ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ

ФГОС ставит перед современной школой задачу вовлечения в проектную деятельность всех обучающихся. Проблемы, возникающие при решении этой задачи, явились предметом научного анализа большого количества психологических, педагогических и методических исследований. Понятно, что учитель физики, реально руководящий индивидуальными проектами школьников, не имеет возможности сколько-нибудь подробно изучить оригинальные публикации результатов научных исследований. Вместе с тем учитель должен владеть общепринятой терминологией и основами педагогической теории организации проектной деятельности в школе.

Поэтому в первой главе монографии кратко раскрыто содержание понятия проектной деятельности, обсуждены психологические основы учебной деятельности и рассмотрена ученическая проектная деятельность при изучении физики.

1.1. Понятие проектной деятельности

Современное общество возникло и развивается благодаря проектной деятельности людей. Организация деятельности является предметом изучения и исследования *методологии*. Рассмотрим необходимые для дальнейшего понятия и принципы проектной деятельности, опираясь на фундаментальную монографию по методологии А. М. и Д. А. Новиковых [74].

1.1.1. Деятельность и ее виды. Находясь в условиях реальной действительности, человек всегда испытывает определенные потребности. Желание удовлетворения их приводит к формированию мотивов деятельности. Изучая действительность, человек приобретает знания, умения и навыки, обеспечивающие постановку обоснованной цели собственных действий. Он определяет конкретные средства и способы достижения цели. Выполняя необходимые действия, человек получает и анализирует результат деятельности.

Таким образом, под деятельностью понимают активное взаимодействие человека с окружающей его реальной действительностью, при котором человек выступает как субъект, целенаправленно

воздействующий на объект и удовлетворяющий тем самым свои потребности [74, с. 28].

В научных исследованиях и на практике принято различать репродуктивную и продуктивную деятельность.

Репродуктивная деятельность означает воспроизведение известного или уже имеющегося в наличии. Как правило, пассивная репродуктивная деятельность исполнительского характера имеет место, если ее цель задается извне и задача заключается в достижении навязанной цели.

Продуктивная деятельность направлена на получение нового результата, который может быть как интеллектуальным, так и материальным.

Продуктивная деятельность, обеспечивающая получение *объективно нового* результата, называется *творчеством*, а способность субъекта к творчеству — *креативностью*. Продуктивная деятельность имеет активный и творческий характер, если ее цель задается субъектом этой деятельности.

Если продуктивная деятельность обеспечивает получение только *субъективно нового* результата, то она является *учением*.

Реально продуктивная деятельность обязательно включает в себя репродуктивную, без которой она не может быть осуществлена. Репродуктивная деятельность обычно представляет собой начальный этап продуктивной.

1.1.2. Проектная деятельность. В современном обществе преимущественным является проектно-технологический тип культуры организации деятельности. Он заключается в том, что продуктивная деятельность разбивается на отдельные завершенные циклы, которые называются *проектами*. Жизненный цикл проекта от начальной идеи до полной ее реализации принято разделять на фазы, фазы — на стадии, стадии — на этапы.

Проект — это специально организованное ограниченное в средствах, ресурсах и времени целенаправленное изменение материального или интеллектуального объекта, приводящее к результату, отличающемуся новизной.

Каждый проект состоит из:

1) *фазы проектирования*, итогом которой является конкретная цель проекта и план ее достижения;

2) *технологической фазы*, результатом которой является реализация построенного плана;

3) *рефлексивной фазы*, представляющей собой оценку полученного результата.

Понятия проектирования, технологии и рефлексии определяют суть проектной деятельности. Процессы проектирования и рефлексии

сии в определенном смысле противоположны: *проект* дословно означает брошенный вперед; *рефлексия* — обращение назад.

Под *технологией* в настоящее время понимают систему условий, форм, методов и средств достижения поставленной цели.

Традиционное представление о проекте как совокупности документов, обеспечивающих создание изделия, сменилось более широким пониманием этого термина.

По основным сферам деятельности проекты подразделяются на технические, организационные, экономические, социальные, образовательные, инвестиционные, инновационные, научно-исследовательские, учебные, смешанные [74, с. 42].

1.1.3. Принципы проектной деятельности. Принято выделять следующие принципы проектной деятельности [40, с. 35–36].

Принцип прогностичности означает необходимость предвидения на начальных этапах проектирования окончательного результата проекта.

Принцип пошаговости предполагает последовательный переход от начальных к конечным стадиям проекта, причем выполнение каждой последующей стадии базируется на результатах предыдущей.

Принцип нормирования требует обязательности прохождения всех этапов создания и выполнения проекта.

Принцип обратной связи указывает на необходимость анализировать результат осуществления каждого проектного этапа и в соответствии с полученной информацией корректировать последующие действия.

Принцип продуктивности означает обязательную направленность проектной деятельности на получение результата, имеющего практическую значимость.

Принцип саморазвития показывает, что в процессе выполнения проекта происходит развитие его участников и появляются замыслы новых проектов.

1.1.4. Принципы организации практической деятельности. Практическая деятельность представляет собой систему, которая характеризуется составом, структурой и функциями, существует в среде и во времени. Перечислим основные принципы организации практической деятельности [74, с. 241–249].

Принцип иерархичности предполагает, что деятельность может осуществляться на разных уровнях ее иерархии: операционном, тактическом и стратегическом.

Принцип целостности означает, что практическая деятельность включает все характеризующие ее компоненты в их единстве.

Принцип коммуникативности предполагает, что деятельность не изолирована и связана множеством коммуникаций со средой.

Принцип историчности свидетельствует о том, что деятельность осуществляется в определенных временных рамках, имеет начало и конец.

Принцип адекватности означает, что деятельность субъекта может привести к решению стоящей перед ним проблемы, если у субъекта имеются средства и способы сделать это или он может их приобрести в процессе деятельности.

Применительно к деятельности учителя перечисленные принципы могут быть пояснены следующим образом.

Принцип иерархичности констатирует, что учитель может быть либо *исполнителем* — это операционный уровень, когда выполняются лишь отдельные педагогические операции обучения и воспитания школьников, либо *деятелем* — тактический уровень, когда выполняется весь учебно-воспитательный процесс, либо *творцом* — стратегический уровень, при котором учитель свободно ориентируется в профессиональной области и самостоятельно ставит цели собственной деятельности.

Согласно принципу целостности деятельности учитель способен осознать возникшую педагогическую проблему, приобрести необходимые для ее решения знания и умения, поставить цель собственной деятельности, определить средства, способы и последовательность действий, выполнить намеченную совокупность действий, решить проблему и тем самым достичь поставленной цели.

Принцип коммуникативности констатирует тот факт, что деятельность учителя неразрывно связана с деятельностью окружающих членов общества: школьников, родителей, коллег, администрации, причем как деятельность учителя влияет на общество, так и деятельность общества оказывает влияние на учителя.

Принцип историчности подтверждает то обстоятельство, что любая практическая деятельность учителя реализуется в определенных временных рамках: то, что полезно и эффективно сейчас, должно быть изменено, усовершенствовано или отброшено потом, когда изменятся условия деятельности.

Согласно принципу адекватности в процессе педагогической деятельности учитель должен заниматься такими проблемами, для непосредственного решения которых обладает достаточными квалификацией и практическим опытом.

1.2. Психологические основы учебной деятельности

Проектная деятельность в школе всегда является учебной, поскольку для успешного выполнения исследовательского проекта школьнику многому нужно научиться. Эта деятельность для того и

организуется, чтобы у учащихся были сформированы *универсальные учебные действия* и школьники приобрели необходимые для дальнейшего знания и умения.

1.2.1. Ориентировочная основа действий. Одна из наиболее обоснованных психологических теорий обучения создана трудами П. Я. Гальперина и Н. Ф. Талызиной [22, 96]. В качестве методологического фундамента авторы использовали идею *интериоризации* (от лат. *interior*): формирование внутренних структур психики происходит при усвоении структур внешней деятельности человека. Центральным в теории является *принцип поэтапности*. Он утверждает, что каждый новый этап обучения формируется на базе предшествующего и обеспечивает переход к следующему этапу. К основным понятиям теории относятся *деятельность* и *действие*. Поэтому обсуждаемая теория обучения называется *теорией поэтапного формирования умственных действий*.

Согласно этой теории при обучении новые знания и умения учащегося возникают в результате учебной деятельности, состоящей из системы действий, объединенных общим мотивом. Различают предметные, умственные и ориентировочные действия.

Предметные действия называются *материальными*, если они выполняются с реальными предметами, и *материализованными*, если используются заменители предметов (рисунки, схемы, модели, наглядные пособия и т. д.). В силу принятой методологии предметные действия представляют генетическую основу умственных действий. Поэтому в основе познавательной деятельности школьника должны лежать практические предметные действия. В таком случае будет исключено механическое зазубривание, а приобретенные знания станут осмысленными и прочными.

Умственные действия представляют собой интериоризированные предметные действия. Они производятся в уме и не нуждаются в дополнительной опоре на материальные и материализованные действия. Сформированные умственные действия характеризуются сокращенностью и свернутостью, поэтому они выполняются автоматически.

Ориентировочные действия являются основой любых предметных и умственных действий, это управляющий психологический механизм всякого действия. Цель действия достигается, если созданы условия для его успешного выполнения. Совокупность таких условий называют *ориентировочной основой действия* (ООД), а сам процесс выработки этих условий — *ориентировкой*.

В теории поэтапного формирования умственных действий рассматривается три способа ориентировки, каждому из которых соответствует свой тип учения.

По первому типу учения ООД составляется субъектом самостоятельно путем слепых проб и ошибок — формирование действия идет медленно, с большим количеством ошибок.

Второй тип учения отличается тем, что ООД дается ученику в готовом виде в конкретной форме, пригодной в одном частном случае — формирование действия идет быстро и безошибочно, однако сфера его действия ограничена.

Третий тип учения состоит в том, что ООД составляется учеником самостоятельно с помощью данного ему общего метода — формирование действия отличается быстротой, безошибочностью и широкой областью применимости.

Таким образом, чтобы школьники самостоятельно и успешно осуществляли учебную деятельность, они должны владеть обобщенным способом составления ориентировочной основы этой деятельности.

1.2.2. Критерий эффективности обучения. В разработанной П. Я. Гальпериным деятельностной теории обучения [22, 23] показано, что деятельность учащихся складывается из отдельных действий, каждое из которых представляет собой целостную систему взаимосвязанных ориентировочного, исполнительного и контрольного компонентов. Из этой теории следует, что наиболее эффективен такой тип учения, при котором центральное место занимают ориентировочный и контрольный компоненты действия, а исполнительный компонент используется лишь в той мере, в которой необходимо формирование механических навыков, не обеспечивающих понимание сущности изучаемого материала.

Этому критерию эффективности обучения, казалось бы, в первую очередь должны удовлетворять учебники, предназначенные для будущих педагогов. Однако, к сожалению, многие учебные пособия, в которых рассматривается учебный физический эксперимент, этому не учат. Например, в практикуме по теории и методике обучения физике в школе [43] типичное задание состоит из названия и подробной инструкции по его выполнению.

«Задание 7. Изучение емкости плоского конденсатора.

1) Закрепите диски разборного конденсатора на штативе, как показано на рис. 1.1. Верхний диск соедините со стержнем электрометра, нижний — с корпусом. Расстояние между дисками должно составить 2–3 см.

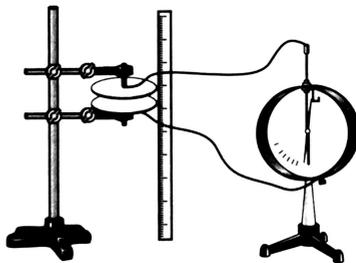


Рис. 1.1. Иллюстрация из практикума по теории и методике обучения физике [43]

2) Сообщите верхней пластине заряд, при котором стрелка электрометра отклонится до половины шкалы.

3) Покажите зависимость емкости конденсатора от расстояния между пластинами.

4) Покажите зависимость емкости конденсатора от площади перекрытия его пластин (для этого, не меняя расстояния между пластинами, одну из них сдвигают в сторону).

5) Покажите зависимость емкости конденсатора от диэлектрической проницаемости вещества, находящегося между его пластинами. (Вывод об этой зависимости делают, наблюдая за показаниями электрометра при внесении между дисками диэлектрической пластины.)» [43, с. 187–188].

Совершенно очевидно, что строго выполняя предписанные действия, студент получит требуемый результат эксперимента. Это означает, что при обучении будущих учителей физики выполнению демонстрационного эксперимента преобладает именно исполнительный компонент действия. Поэтому эффективность такого обучения невелика.

Если задание составлять в соответствии с теорией П. Я. Гальперина, то оно должно быть примерно таким: используя разборный плоский конденсатор, эбонитовую палочку, мех и в качестве вольтметра демонстрационный электрометр, разработайте и поставьте серию демонстрационных экспериментов, качественно подтверждающих справедливость формулы емкости плоского конденсатора $C = \epsilon_0 \epsilon S/d$; проанализируйте условия и результаты поставленных опытов на предмет соответствия их теории плоского конденсатора.

Подобного рода задания, систематически выполняемые учащимися, будут способствовать развитию ориентировочного и контролирующего компонентов действий, что в конечном итоге даст в полном соответствии с теорией развивающего обучения [29, 30] существенный рост эффективности обучения.

1.3. Ученическая проектная деятельность

Недавно принятый ФГОС ориентирован на становление такого выпускника, который отличается креативностью и критичностью мышления, владеет основами научного метода познания, мотивирован на творчество и инновационную деятельность, способен осуществлять учебно-исследовательскую, проектную и информационно-познавательную деятельность. Рассмотрим возможности, которые предоставляет ФГОС для развития перечисленных качеств личности в процессе проектной деятельности учащихся и учителя.

1.3.1. Индивидуальный проект. Индивидуальным проектом ФГОС называет особую форму организации деятельности обучающихся, предполагающую выполнение учебного исследования или

учебного проекта. Понятие учебного исследования предполагается очевидным. Что касается учебного проекта, то разъясняется, что он может быть информационного, творческого, социального, прикладного, инновационного, конструкторского, инженерного и т. д. характера.

«Индивидуальный проект выполняется обучающимся самостоятельно под руководством учителя (тьютора) по выбранной теме в рамках одного или нескольких изучаемых учебных предметов, курсов в любой избранной области деятельности (познавательной, практической, учебно-исследовательской, социальной, художественно-творческой, иной).

Результаты выполнения индивидуального проекта должны отражать:

- сформированность навыков коммуникативной, учебно-исследовательской деятельности, критического мышления;
- способность к инновационной, аналитической, творческой, интеллектуальной деятельности;
- сформированность навыков проектной деятельности, а также самостоятельного применения приобретенных знаний и способов действий при решении различных задач, используя знания одного или нескольких учебных предметов или предметных областей;
- способность постановки цели и формулирования гипотезы исследования, планирования работы, отбора и интерпретации необходимой информации, структурирования аргументации результатов исследования на основе собранных данных, презентации результатов.

Индивидуальный проект выполняется обучающимся в течение одного или двух лет в рамках учебного времени, специально отведенного учебным планом, и должен быть представлен в виде завершенного учебного исследования или разработанного проекта: информационного, творческого, социального, прикладного, инновационного, конструкторского, инженерного» [100].

1.3.2. Понятие ученического проекта. Под ученическим проектом мы понимаем упорядоченную совокупность планируемых и выполняемых действий школьника, которые обеспечивают полное решение стоящей перед ним задачи и обоснование правильности этого решения.

Метод ученических проектов относится к личностно-ориентированным технологиям и предполагает организацию интегрированной самостоятельной деятельности учащихся, направленной на решение задачи учебного проекта [76, 77, 79].

Метод проектов — это один из видов творческих методов обучения, характерной особенностью которого является полнота и завершенность творческого процесса. Составление и выполнение проекта предполагает совместную творческую деятельность учителя и его ученика.

Напомним, что под *методом* понимается обобщенная модель определенного способа достижения поставленной цели, система

приемов, определенная технология учебно-воспитательной деятельности. Поэтому понятия проекта и метода проектов существенно различны.

Метод проектов предполагает *самостоятельную деятельность учащихся* — индивидуальную, парную или групповую [41, 42], выполняемую в течение определенного промежутка времени. Деятельность можно считать самостоятельной, если само ее содержание является основным мотивом и целью действий школьника [27].

Целью проектной деятельности является не просто усвоение ее содержания, а решение на основе этого содержания конкретной проблемы, то есть активное применение получаемых знаний и умений для получения нового знания или практического результата на основе применения приобретенного знания.

Обычно считается, что в ученических проектах учащиеся и учитель преследуют разные цели.

Цели школьника — самостоятельно получить решение интересной задачи проекта, проявить свои способности, принести пользу, получить практически важный результат, поработать в коллективе единомышленников, публично представить и защитить полученный результат.

Цели учителя — в процессе выполнения ученического проекта обеспечить выполнение задач обучения, развития и воспитания, сформировать проектную компетенцию школьников.

1.3.3. Виды ученических проектов. Ученические проекты различают по содержанию (предмет, тема, явления), по коммуникациям (в пределах класса, школы, города, региона, страны), по количеству участников (индивидуальный, парный, групповой, коллективный, массовый), по продолжительности (урок, рабочий день, месяц, четверть).

По *характеру доминирующей деятельности* ученические проекты делятся на познавательные, информационные, творческие, игровые, практические [81, 90, 92].

Познавательный проект предполагает самостоятельное получение обучаемыми нового знания. По ожидаемому результату познавательные проекты делятся на *исследовательские* и *учебно-исследовательские*: в первых предвидится возможность получения объективно нового результата, во вторых планируется получение результата, отличающегося лишь субъективной новизной.

Информационный проект направлен на поиск, сбор и фиксацию информации об интересующем исполнителя объекте или явлении с целью ее анализа, обобщения и представления для дальнейшей работы.

Творческий проект предполагает максимальное самовыражение личности в искусстве, литературе, живописи.

Игровой проект в качестве результата представляет собой игру, придуманную и выполняемую участниками проекта.

Практический проект предполагает получение продукта, применение которого на практике даст ожидаемый эффект.

1.3.4. Содержание и структура ученических проектов. Выполняемые учащимися проекты, как и любые другие, содержат проектировочную, технологическую и рефлексивную фазы. Кратко рассмотрим примерное содержание стадий ученического проекта, на которые распадаются указанные фазы (табл. 1).

Фаза проектирования содержит стадии мотивации, информации и планирования. На мотивационной стадии у ученика возбуждается интерес к проблеме, формируется представление о полез-

Таблица 1

Фазы проектной деятельности

Структура проектной деятельности		
Фаза	Стадия	Этап
1. Проектировочная	1.1. Мотивационная	1.1.1. Интерес
		1.1.2. Полезность
		1.1.3. Выгода
	1.2. Информационная	1.2.1. Поиск
		1.2.2. Изучение
		1.2.3. Систематизация
	1.3. Планирования	1.3.1. Цель проекта
		1.3.2. Идея решения
		1.3.3. План выполнения
2. Технологическая	2.1. Организационная	2.1.1. Исполнители
		2.1.2. Оборудование
		2.1.3. Продолжительность
	2.2. Ориентировочная	2.2.1. Действия
		2.2.2. Последовательность
		2.2.3. Контроль
	2.3. Исполнительская	2.3.1. Выполнение
		2.3.2. Результат
		2.3.3. Достоверность
3. Рефлексивная	3.1. Аналитическая	3.1.1. Анализ результата
		3.1.2. Теория явления
		3.1.3. Соответствие цели
	3.2. Оформительская	3.2.1. Текст и формулы
		3.2.2. Рисунки
		3.2.3. Фотографии
	3.3. Презентационная	3.3.1. Выступление
		3.3.2. Наглядность
		3.3.3. Дискуссия

ности ее решения и выгоде которую он может получить. Информационная стадия предполагает поиск, изучение и систематизацию информации, необходимой для решения проблемы. На стадии планирования ученик выдвигает идею проекта, формулирует цель и составляет план реализации проекта.

Технологическая фаза включает организационную, ориентировочную и исполнительскую стадии. На стадии организации осуществляются отбор участников проекта, подготовка материальных ресурсов и установление времени выполнения проекта. Ориентировочная стадия заключается в определении совокупности и последовательности действий, необходимых для реализации проекта, и способов контроля за результатами осуществления этих действий. Исполнительская стадия включает выполнение обозначенных действий, получение и проверку достоверности результата.

Рефлексивная фаза состоит из аналитической, оформительской и презентационной стадий. Аналитическая фаза предполагает анализ полученного результата, теоретическое объяснение его и сопоставление результата с целью проекта. Оформительская стадия состоит из описания полученного результата, дополненного графическими и фотографическими иллюстрациями. Презентационная стадия включает выступление по выполненному проекту, наглядные материалы, характеризующие проект, и дискуссию по проекту.

Фазы, стадии и этапы проектной деятельности сведены в табл. 1, которая представляет собой структурированную модель ученического проекта, определяющую ее содержание. Совместная проектная деятельность учителя и ученика осуществляется в соответствии с этой моделью, все этапы которой значимы. Например, если учитель не предусмотрит выгоду, которую получит школьник от выполнения проекта, ему придется затратить немало дополнительных усилий, чтобы начатый проект был завершен.

1.3.5. Проектные умения школьников. В процессе проектирования и реализации ученического проекта у школьников формируются следующие проектные умения.

Поисковые: умения находить информацию по каталогам, в литературе, в Интернете, в окружающей действительности.

Информационные: усвоение и структурирование информации, выделение главного, представление в различных формах, хранение.

Мыследеятельностные [91]: выдвижение идеи, проблематизация, целеполагание, постановка вопросов, выдвижение гипотезы, формулирование задач, выбор способа или метода решения проблемы, обоснование этого способа, планирование деятельности, самоанализ и рефлексия.

Коммуникативные: слушать и понимать других, выражать себя, находить компромисс, взаимодействовать внутри группы, приходиться к консенсусу, развивать толерантность.

Теоретические: анализировать, объяснять, обобщать, моделировать, делать умозаключения, доказывать.

Экспериментальные: создание условий эксперимента, получение его результата, проведение анализа результата.

Презентационные: построение устного доклада или сообщения о проделанной работе, выбор способов и форм наглядной презентации результатов деятельности и полученного продукта, изготовление предметов наглядности, подготовка письменного отчета о проделанной работе.

1.3.6. Организация проектной деятельности школьников. Тематику ученических проектов разрабатывает учитель. Она может быть изменена или уточнена в соответствии с предложениями школьников, но научность, актуальность, новизну и полезность решаемых в проектах проблем обеспечивает именно учитель. Это не означает, что учащиеся не должны участвовать в процессе обоснования тематики проектов, просто для подавляющего большинства из них этот процесс находится за пределами возможного.

Суть организации проектной деятельности учащихся заключается в создании учителем условий, обеспечивающих выполнение всех фаз ученических проектов.

В фазе проектирования учитель формирует достаточно высокий уровень мотивации учащегося к реализации выбранного проекта, сообщает исходную информацию, обеспечивает получение школьником полной информации, необходимой для выполнения проекта и вместе с ним составляет план реализации проекта.

В технологической фазе учитель организует коллектив участников или исполнителей проекта, создает материальные условия, определяет временные рамки, разрабатывает ориентировочную основу действий, обеспечивает ее выполнение, получение требуемого результата и обоснование его достоверности.

Наконец, в рефлексивной фазе учитель проверяет правильность выполненного школьниками анализа и теоретического объяснения полученного результата, а также соответствие его цели проекта, помогает учащимся оформить проект, дает советы по подготовке презентации.

1.3.7. Оценивание ученических проектов. Предложенная выше структура проекта (табл. 1) позволяет осуществить оценку проектной деятельности учащегося. Для этого по этапам проекта формулируют утверждения, с которыми можно либо согласиться, либо нет.

Фаза проектирования

- 1.1.1. Школьники проявили значительный интерес к проекту.
- 1.1.2. Проект принес пользу исполнителям и их товарищам.
- 1.1.3. Результат выполнения проекта выгоден исполнителям.
- 1.2.1. Учащиеся осуществили поиск информации для проекта.
- 1.2.2. Школьники глубоко изучили исходную информацию проекта.
- 1.2.3. Учащиеся систематизировали найденную информацию.
- 1.3.1. Цель проекта сформулирована самостоятельно и точно.
- 1.3.2. Школьники предложили идею решения проблемы проекта.
- 1.3.3. План выполнения проекта соответствует возможностям.

Технологическая фаза

- 2.1.1. Участники были подготовлены к проектной деятельности.
- 2.1.2. Необходимые приборы и материалы имелись в наличии.
- 2.1.3. Проект полностью выполнен в отведенное для него время.
- 2.2.1. Выделены необходимые для выполнения проекта действия.
- 2.2.2. Разработанная последовательность действий оптимальна.
- 2.2.3. Контроль в процессе выполнения проекта достаточен.
- 2.3.1. Проект выполнялся тщательно и аккуратно.
- 2.3.2. При выполнении проекта получен ожидаемый результат.
- 2.3.3. Достоверность полученного результата установлена.

Рефлексивная фаза

- 3.1.1. Анализ результата проекта характеризуется полнотой.
- 3.1.2. Дано верное теоретическое объяснение результата.
- 3.1.3. Запланированная цель проекта достигнута.
- 3.2.1. Текст отчета написан понятно хорошим русским языком.
- 3.2.2. Графические иллюстрации к тексту качественны.
- 3.2.3. Фотографии физических явлений и приборов информативны.
- 3.3.1. Выступление исполнителей с докладом убедительно.
- 3.3.2. Презентация и демонстрационные эксперименты наглядны.
- 3.3.3. Дискуссия по проекту проведена корректно и толерантно.

В случае согласия с утверждением, характеризующим этап выполненного проекта, ему присваивается 1 балл, при несогласии — 0 баллов. Затем все баллы суммируются и делятся на общее число этапов 27. В итоге получается оценка, которую переводят в пятибалльную шкалу следующим образом: если оценка больше 0,63, то *удовлетворительно*, если больше 0,86 баллов — *хорошо*, если больше 0,95 баллов — *отлично* [87].

Более грубая итоговая оценка получится, если баллами 0 и 1 оценивать не 27 этапов, а 9 стадий проекта: мотивационную, информационную, планирования, организационную, ориентационную, исполнительскую, аналитическую, оформительскую и презентационную. В этом случае относительная погрешность результата превышает 10%, поэтому границам пятибалльной шкалы соответствуют привычные относительные значения школьных оценок:

$3/5 = 0,6$, $4/5 = 0,8$ и $5/5 = 1,0$. Иными словами, *удовлетворительно* получает проект, в котором полностью выполнены 5 стадий ($5/9 = 0,56$), *хорошо* — 7 стадий ($7/9 = 0,78$) и *отлично* — все 9 стадий ($9/9 = 1,00$).

1.4. Исследовательские проекты учащихся по физике

Отличительной особенностью проектной деятельности является новизна ее результата. Субъективная новизна неизменно присутствует в привычной учебной деятельности. Поэтому, если при организации проектной деятельности учащихся преследуется цель получения лишь субъективной новизны продукта, то по эффективности она вряд ли будет значительно отличаться от обычных уроков. Известно, что сильнейшим стимулом исследования является получение результата, характеризующегося объективной новизной. Но возможно ли проведение таких исследований в школе?

1.4.1. Концепция учебной физики. Научную дисциплину, обозначаемую термином *теория и методика обучения и воспитания (физика)*, в дальнейшем мы будем называть *дидактикой физики*. В монографии [87] обоснована концепция учебной физики как дидактической модели физической науки, определяющей содержание дидактики физики.

Принято считать, что современная физическая наука включает экспериментальную, теоретическую и вычислительную физику [83]. Однако вычислительный эксперимент, подобно мысленному и умозрительному, нуждается в проверке натурным и с этой точки зрения мало чем отличается от теории. Кроме того, остается непонятным, где собственно сосредоточены знания, полученные физической наукой.

Изучение показывает, что на всех этапах исторического развития физическая наука помимо теоретического и экспериментального компонентов всегда содержала и в настоящее время содержит равнозначимый им дидактический компонент. Этот компонент, который по аналогии и для краткости может быть назван *дидактической физикой*, сосредоточен в научных статьях, монографиях, университетских курсах физики и включает в себя физические знания, предназначенные для обучения настоящих и будущих физиков. Непосредственно для обучения всего подрастающего поколения он непригоден, поскольку недоступен и не нужен подавляющему большинству людей.

Связь и взаимопроникновение физической науки и дидактики физики схематически показаны на рис. 1.2. На стыке этих наук возникла *учебная физика* — область научного знания, позволяющая

организовать учебное познание объектов и явлений естественной и искусственной природы (*ноосферы*). Процесс учебного познания необходим и доступен всем представителям данного поколения, обеспечивает реализацию этапов научного познания и творческое развитие личности учащихся.

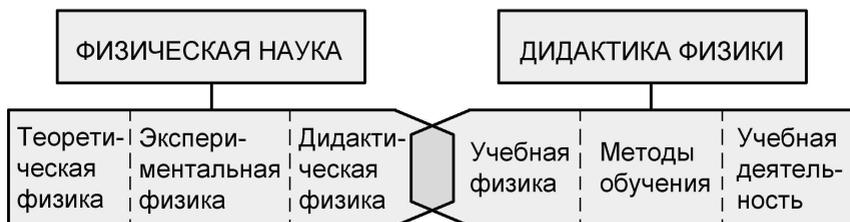


Рис. 1.2. Связь и взаимопроникновение физической науки и дидактики физики

Учебная физика представляет собой дидактическую модель физической науки. Подобно тому как физика содержит теоретический, экспериментальный и дидактический компоненты, учебная физика включает учебную физическую теорию, учебный физический эксперимент и методику их изучения [87].

1.4.2. Создание элементов учебной физики. Процесс создания элементов учебной физики схематически изображен на рис. 1.3. В результате научного познания явлений и процессов естественной природы возникает физическая наука. Полученные знания используются на практике так, что техническое создание изменяет часть окружающей человека природы — растет ноосфера. Для того чтобы этот рост был обеспечен, необходимо обучение все новых поколений людей. Поэтому наряду с техническим созданием элементов ноосферы происходит дидактическое создание из элементов физической науки элементов учебной физики. Одновременно осуществляется дидактическое познание элементов ноосферы, которое также приводит к появлению элементов учебной физики.

Дидактическое познание и создание представляют собой составные части единого процесса дидактического исследования элемента физической науки, относящегося к объекту, явлению или процессу ноосферы. Это исследование призвано дать ответы на вопросы: нужно ли изучать выбранный элемент дидактической физики? можно ли его изучить в условиях существующей системы образования? сможем ли мы научить сущности этого элемента? нужно ли применять выбранный объект ноосферы при изучении физики? можно ли его применить для обучения? сможем ли мы применить этот объект в условиях реального учебного процесса?

Напомним, что общепринято представление, будто содержание физического образования формируется при адаптации физических знаний к школьному уровню (пунктир на рис. 1.3). При этом теория и методика обучения физике отвечает на вопросы: для чего учить? чему учить? и как учить?



Рис. 1.3. Процесс создания нового элемента учебной физики

Но выше показано, что в физической науке нет таких знаний, которым нужно учить школьников. Их прежде всего необходимо создать. Именно поэтому новый элемент дидактики физики возникает в результате дидактического исследования элемента физической науки, относится к учебной физике и включает неразрывно связанные учебную физическую теорию, учебный физический эксперимент и методику их изучения.

Сходных взглядов придерживался выдающийся отечественный математик и педагог А. А. Ляпунов [3], который, исследуя про-

блемы формирования содержания физического образования, ввел в научный оборот термин *онтодидактика* (от греч. *onto* — сущность, *didaktikos* — поучение). Предполагалось, что онтодидактика исследует научные знания с целью переработки их по существу (то есть в самой их сущности) в знания, пригодные для обучения. Аналогичные мысли высказывают и другие исследователи, рассуждая, например, об «изоморфной копии базовой науки» [28, с. 19].

1.4.3. Исследования в области учебной физики. Совершенно очевидно, что в условиях средней школы невозможно проведение научных исследований физических явлений, поэтому исключено получение объективно новых результатов в физике. Но это и не нужно. В школе учащиеся изучают не непосредственно физическую науку, а ее дидактическую модель — учебную физику. Это педагогическая наука, специалистом в которой является не ученый-физик, а учитель физики. Он становится ученым-методистом как только начинает получать объективно новые результаты в сфере учебной физики.

Эти результаты могут относиться к учебной теории, учебному эксперименту или методике их изучения. Исследования в учебной теории и методике изучения физики подавляющему большинству учащихся недоступны и неинтересны. Понятно, что школьники могут предложить ранее неизвестное решение учебной задачи или подсказать решение методической проблемы. Но это отдельные случаи в практике обучения физике. Что же касается учебного физического эксперимента, то многие школьники в состоянии придумать новый учебный прибор, предложить оригинальную экспериментальную установку, пронаблюдать неожиданное явление, выполнить не используемый в традиционном обучении опыт. Главное, однако, в том, что исследовательская деятельность в области учебного эксперимента доставляет учащимся удовольствие и вызывает у них повышенный интерес.

Таким образом, исследовательские проекты по физике обязательно должны быть связаны с учебным физическим экспериментом. Учитель физики, являясь научным руководителем этих проектов, должен обеспечивать потенциальную возможность получения учащимися объективно новых результатов. В любом случае проект нельзя считать подлинно исследовательским, если его планируемый результат заранее известен учителю. Вместе с тем учитель не может допустить неудачи школьника, выполнившего проект. Это означает, что в проекте обязательно должен быть гарантирован, по крайней мере, частичный успех школьника.

1.4.4. Учебные исследования и ученические проекты. Принято различать исследовательскую и проектную деятельность учащихся.

«В афористической форме их отличие можно было бы описать так: в исследовании обнаруживается то, что уже есть, а в проекте создается то, чего еще нет» [77].

В результате учебного исследования по физике школьники получают субъективно новое знание о реально существующем физическом явлении или объекте. При этом они используют и осваивают методы научного исследования: наблюдение, описание, измерение, эксперимент, моделирование, аналогию, доказательство, анализ, синтез, дедукцию и т. д.

Выполняя проект по физике, школьники создают новый объект, которого раньше не было в окружающем их мире. Это может быть новый физический прибор, оригинальная экспериментальная установка, компьютерная программа, презентация, учебное пособие, инструкция к лабораторной работе, фотография физического явления, видеоклип демонстрационного эксперимента и т. д.

Однако ученический проект, выполненный без понимания физической сущности положенного в его основу явления, формирует главным образом практические умения учащихся и не приносит им полного удовлетворения. В равной степени учебное исследование по физике при отсутствии материального результата этой деятельности не представляет особого интереса для большинства школьников.

Поэтому ученические проекты по физике обязательно должны быть рассчитаны как на исследование существующего, так и на создание нового. При этом соотношение между исследованием и созданием может быть различным.

Проектное исследование — это учебное исследование физического явления или объекта, которое выполняется в рамках определенного проекта и необходимо для достижения практической цели этого проекта. Например, чтобы осуществить проект по созданию прибора для измерения в демонстрационном опыте заряда электрона, нужно выполнить учебное исследование явления электролиза с целью определения оптимальных условий эксперимента.

Исследовательский проект — это ученический проект, целью которого является выполнение учебного исследования физического явления или объекта посредством специально созданных для этого приборов и экспериментальных установок. Например, чтобы количественно исследовать явление электромагнитной индукции, нужно изготовить усилитель постоянного тока и устройство сопряжения его с компьютером.

Изложенное показывает, что различие между проектным исследованием и исследовательским проектом не настолько велико, чтобы эти термины не могли использоваться на практике как синонимы.

1.4.5. Проблемы проектной деятельности по физике. Сама сущность практической работы учителя, стремящегося привить школьникам любовь к физической науке, является источником проблем, необходимых для организации проектной деятельности учащихся по физике.

1. *Экспериментальная проверка оригинальных идей.* Такие идеи, относящиеся к учебному физическому эксперименту, чаще всего высказывает учитель, который испытывает потребность в экспериментальном обосновании изучаемого в школе физического явления. Например, у учителя может возникнуть идея, что при изучении силы Архимеда полезно продемонстрировать на уроке действующую модель воздушного шара-монгольфера.

2. *Проверка достоверности рекомендаций в публикациях.* Информация о физических приборах и учебных экспериментах, содержащаяся в опубликованных материалах, нуждается в обосновании ее достоверности. Известны научно-популярные журналы, рассчитанные на школьников, в которых нередко встречаются неточности, грубые ошибки, некорректные рекомендации. Поэтому проблемы ученических проектов могут заключаться в экспериментальной проверке опубликованных работ, связанных с дидактикой физики.

3. *Совершенствование устаревших физических приборов.* Многие физические приборы, успешно применявшиеся в течение десятков лет, к настоящему времени устарели, хотя соответствующие физические явления изучаются в школе. Проблема совершенствования устаревших приборов для учебного физического эксперимента является одной из постоянно актуальных и практически значимых.

4. *Расширение функциональных возможностей приборов.* Учебные физические приборы допускают вариативность применения, то есть помимо прямого назначения могут быть использованы в других целях. Например, известная трубка Ньютона, как показано в монографии [73], обеспечивает постановку еще более 12 демонстрационных опытов. Поиск вариантов нетрадиционного применения учебного оборудования физических кабинетов и экспериментальное обоснование эффективности этого применения вполне соответствует задачам проектной деятельности школьника.

5. *Разработка демонстрационных опытов по физике.* К важнейшим проблемам проектной деятельности учащихся относится подготовка учебного эксперимента для демонстрации на уроках физики. Это могут быть совершенно новые опыты, идеи которых высказаны учителем и его учениками, или усовершенствованные и модернизированные давно известные опыты. В школьном курсе физики используются десятки демонстрационных экспериментов, а

разработаны их многие сотни и даже тысячи. Поэтому подобрать интересную конкретным школьникам проблему проектного исследования не представляет особого труда.

6. *Разработка экспериментальных задач.* В физических олимпиадах экспериментальный тур представляет собой наибольшую сложность для учащихся. Это свидетельствует о недостаточной экспериментальной подготовленности школьников. Выполнение исследовательских проектов, направленных на разработку условий экспериментальных задач, их решение методами физического эксперимента и проведение анализа полученного решения, будет способствовать формированию экспериментальной компетентности учащихся.

7. *Использование бытовых приборов и материалов.* Проблемы ученических проектов, связанные с применением в учебном физическом эксперименте встречающихся в быту приборов, материалов и инструментов, имеют важное значение для выполнения учащимися самостоятельных домашних исследований. Такие проекты формируют навыки использования полученных на уроках теоретических знаний в практической деятельности.

Перечисленным не исчерпываются возможные направления проектной деятельности школьников по физике. Но даже приведенный здесь далеко не полный перечень проблем учебной физики свидетельствует об уникальных возможностях учителя для организации внеурочной деятельности по выполнению учебных исследований, представляющих значительный интерес для изучающих физику в современной школе.

Глава 2

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ УЧЕБНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследовательского проекта по физике является получение нового знания о физическом явлении. Новизна полученного продукта может быть субъективной, и тогда исследование носит учебный характер. Объективно новый результат определяет истинно исследовательскую деятельность исполнителя и его руководителя. В условиях школы такой результат может быть получен исключительно в области учебной физики.

В проектном исследовании ученика получение нового результата осложняется отсутствием необходимых для этого знаний и умений. Поэтому исследовательский проект школьника может быть реализован, если он одновременно является обучающим. Для этого в распоряжение учащегося должна быть предоставлена точная и исчерпывающая информация, которая полностью обеспечивает выполнение проекта. Вместе с тем эта информация не должна сводить проектную деятельность к репродуктивному воспроизведению известного материала.

В главе рассмотрен педагогический эксперимент, который подтвердил гипотезу, что оптимизация информации для учебного исследования будет достигнута, если учащиеся усвоят содержание и метод аналогичного или прототипного исследования. Для практики это означает, что только пройдя отработанную последовательность действий, школьники в состоянии самостоятельно сделать следующий шаг исследовательского характера.

2.1. Педагогический эксперимент в дидактике физики

Практика работы показывает, что изучение технологии педагогического эксперимента по общепризнанным пособиям [26, 35, 75, 78, 94] не обеспечивает успешность овладения студентами этим видом научной деятельности. Причина в том, что такое изучение ведет в

лучшем случае к усвоению специфической терминологии и некоторых методов статистической обработки результатов. Между тем умение планировать и реализовывать педагогические эксперименты относится к важнейшим профессиональным умениям учителя физики. Чтобы обеспечить формирование этого умения, необходимо усвоение обобщенного понятия эксперимента. Достичь этого проще всего студентам, изучающим физику, поскольку понимание сущности эксперимента лежит в основе их учебной деятельности.

2.1.1. Учебное экспериментальное исследование. Любой эксперимент выполняет, по крайней мере, две функции: обеспечивает получение *фактов*, необходимых для построения теории, и осуществляет проверку *следствий*, необходимых для верификации теории. Существенно, что переходы от экспериментальных фактов к *теоретической модели* и, наоборот, от *следствий* модели к новым фактам носят внелогический, интуитивный характер. Важно также, что любому реальному эксперименту предшествует и сопутствует умозрительный, осуществляемый в голове экспериментатора. В этом смысле реальный эксперимент — это материализованная мысль исследователя.

Выполнение указанных функций обеспечивается содержанием и структурой эксперимента. Очевидно, осуществленный эксперимент в идеале должен приводить к ожидаемому *результату*. Но чтобы был получен результат экспериментальной деятельности, должны быть созданы соответствующие *условия*. Сам по себе результат особого значения не имеет до тех пор, пока не произведен его *анализ*. Таким образом, базовая структурная формула любого эксперимента включает три компонента: *условия* → *результат* → *анализ*.

Учебное экспериментальное исследование в физике также осуществляется в соответствии с этой формулой.

Студенты понимают, что для создания *условий* нужно подобрать оборудование, из него собрать экспериментальную установку, и на ней в определенном порядке выполнить эксперимент.

В *результате* всегда возникает большое число самых разнообразных физических явлений. Из совокупности наблюдаемых явлений нужно выделить основное явление и попытаться получить его количественную характеристику.

Анализ включает в себя связь полученного результата с результатами других экспериментов, теоретическое объяснение основного результата, интерпретацию результата и прогноз новых физических явлений.

Таким образом, структура учебного экспериментального исследования [67, 87] прочно усваивается студентами на занятиях по физике и дидактике физики (табл. 2).

Таблица 2

Структура учебного экспериментального исследования

УЧЕБНОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ	
Формулировка исследовательской задачи	
Проведение экспериментального исследования	
1. Условия	1.1. Оборудование 1.2. Экспериментальная установка 1.3. Порядок выполнения эксперимента
2. Результат	2.1. Совокупность наблюдаемых явлений 2.2. Основное явление 2.3. Количественная характеристика
3. Анализ	3.1. Связь полученного результата с другими 3.2. Теоретическое объяснение основного результата 3.3. Прогноз новых явлений

2.1.2. Содержание и структура педагогического эксперимента.

Твердо усвоенные знания содержания и структуры физического эксперимента облегчают понимание сущности и проведение педагогического эксперимента в сфере дидактики физики. Выше уже отмечалось (п. 1.4.1), что элемент учебной физики включает неразрывно связанные учебную физическую теорию, учебный физический эксперимент и методику их изучения. Новый результат, нуждающийся в экспериментальном обосновании, может быть получен в любом из компонентов элемента учебной физики [87]. Одной из задач педагогического эксперимента является обоснование предположения, что предлагаемое исследователем совершенствование элемента учебной физики дает положительный эффект, не слишком возмущая традиционный учебно-воспитательный процесс. Последнее требование существенно из этических соображений и вытекает из принципа соответствия, согласно которому всякая инновация должна не отвергать, а развивать достигнутое.

Поэтому структура и содержание педагогического эксперимента в сфере дидактики физики могут быть представлены так, как это показано в табл. 3. Педагогический эксперимент, подобно любому другому, включает три структурных компонента: *условия*, *результат* и *анализ*. Однако содержание этого эксперимента относится к педагогической науке, а именно — к дидактике физики. Сравнение учебного физического эксперимента с обучающим дидактическим проведено на конкретном примере в следующих параграфах главы.

Таблица 3

Структура педагогического эксперимента

ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ	
Формулировка цели педагогического эксперимента	
Проведение педагогического эксперимента	
1. Условия	<p>1.1. Объект, субъект и средства обучения (учитель, контингент учащихся, успеваемость, кабинет, лаборатория, учебные физические приборы, технические средства обучения, учебные пособия и т. д.).</p> <p>1.2. Элемент учебного материала, подлежащий усвоению (учебная теория, учебный эксперимент, понятия, законы, величины, формулы, физические задачи).</p> <p>1.3. Последовательность проведения педагогического эксперимента (методика изучения элемента учебного материала, подготовка урока, деятельность учителя и учащегося на уроке физики в рамках предлагаемой методики, внеурочная деятельность).</p>
2. Результат	<p>2.1. Совокупность наблюдаемых педагогических явлений (учебная деятельность, активность, проявление интереса, увлеченность, эмоции, затруднения, отношение учащихся к деятельности).</p> <p>2.2. Основной результат или основное дидактическое явление (обнаруженные изменения в знаниях, умениях, навыках, компетенциях, мотивации учащихся).</p> <p>2.3. Количественная характеристика основного явления (средний балл, коэффициент усвоения, уровень сформированности умений, совокупность полученных знаний, качество обучения, продолжительность педагогического эксперимента, количество учащихся, усвоивших данный элемент учебного материала, диаграммы, гистограммы и т. д.).</p>
3. Анализ	<p>3.1. Связь полученного результата с результатами других экспериментов (текущих проверок знаний, умений, мотивации, например, методом тестирования).</p> <p>3.2. Теоретическое обоснование основного результата (дидактические принципы, закономерности обучения, педагогические концепции и теории, концепции и положения дидактики физики).</p> <p>3.3. Интерпретация полученного результата, прогноз новых педагогических и дидактических явлений.</p>

В заключение подчеркнем, что изложенное здесь подтверждается результатами многолетней работы по организации, проведению и критическому анализу студенческих, магистерских и аспирантских [14, 38] педагогических экспериментов в средних и высших учебных заведениях.

2.2. Проблема полноты информационного обеспечения учебного исследования

Под *учебным исследованием* при изучении физики мы понимаем организуемую учителем самостоятельную деятельность учащегося по научному познанию сущности физического явления, приводящую к результату, отличающемуся субъективной новизной. Если полученный в этой деятельности результат характеризуется объективной новизной, то учебное исследование превращается в научное. Как уже отмечалось выше, в массовой школе выполнение научных исследований учащимися и учителем возможно только в области учебной физики.

Учебное исследование должно быть обеспечено информационно. В работах [68–71] показано, что недостаточная информация не позволяет организовать эффективное учебное исследование. Понятно, что избыточная информация, которая не предполагает получение даже субъективно нового результата, сводит деятельность учащегося к репродуктивному уровню. Отсюда следует, что существует оптимальный объем информации, при котором, с одной стороны, сохраняется исследовательский характер деятельности учащегося, а с другой — учебное исследование не становится непомерно сложным. Этот объем информации в принципе можно установить, выделив этапы исследования и затем определив, информация о каких этапах учебного исследования обеспечивает достаточно эффективную организацию его учителем.

Однако такой способ обладает тем существенным недостатком, что не учитывает интегральный характер реального исследования, которое далеко не всегда можно свести к последовательному выполнению отдельных четко очерченных этапов работы. Например, экспериментальное учебное исследование осуществляется в соответствии с известной схемой: *условия* → *результат* → *анализ*. Однако каждый из этих компонентов неизбежно включает два других, поэтому указанные компоненты лишь в определенной степени можно считать этапами исследования.

Таким образом, налицо парадоксальность ситуации: для успешного выполнения учебного исследования учащемуся должна быть сообщена полная информация об этом исследовании, но в таком случае говорить об исследовании вообще не приходится!

Изучение и анализ сущности научно-исследовательской деятельности подсказывает выход из этой ситуации: *учащемуся необходимо сообщить полную информацию не о предстоящем ему исследовании, а об аналогичном или прототипном*. В таком случае деятельность учащегося будет максимально приближена к деятельности ученого, а деятельность учителя фактически окажется

сведенной к роли научного руководителя, который видит проблему, владеет методами решения аналогичных проблем и знакомит с ними своего ученика.

Интуитивно ясно, что сообщение информации об аналогичном или прототипном исследовании должно способствовать выполнению данного учебного исследования.

Представляет интерес прямое обоснование этого положения в реальном педагогическом эксперименте. Ниже представлено именно такое обоснование. Оно состоит из двух частей: в первой (§ 2.3–2.5) описаны два аналогичных учебных экспериментальных исследования разных физических явлений; во второй (§ 2.6) рассмотрен педагогический эксперимент, показывающий, что успех учебной исследовательской деятельности школьников в значительной степени определяется предварительным усвоением информации об аналогичном исследовании.

2.3. Выбор объекта учебного исследования

Для обоснования справедливости выдвинутой выше гипотезы выберем в качестве объекта учебного исследования, например, явление гидродинамического удара. Этот выбор обусловлен тем, что, с одной стороны, теория гидродинамического удара проста и доступна учащимся, а само явление легко воспроизводится даже в домашних условиях, но с другой — это явление совершенно неизвестно школьникам, так как выходит за рамки школьного курса физики.

2.3.1. Общая информация. Явление гидродинамического удара теоретически и экспериментально исследовано великим русским ученым Н. Е. Жуковским еще в 1898 г. Побудительным стимулом этого научного исследования явилась чисто практическая задача. В конце XIX века в Москве был построен новый водопровод, и эксплуатационники столкнулись с неприятным явлением: толстые и прочные чугунные и стальные трубы внезапно разрывались. Наблюдения показали, что разрывы происходили при быстром перекрытии потока воды задвижкой. Это явление и получило название гидродинамического удара.

Очевидно, гидродинамический удар объясняется резким возрастанием давления в остановившейся жидкости. Учебный вариант теории этого явления заключается в следующем.

2.3.2. Учебная теория. Пусть по трубе, площадь поперечного сечения которой S , со скоростью v течет жидкость плотностью ρ . Быстро перекроем трубу заслонкой. Жидкость возле заслонки сразу остановится. Кинетическая энергия текущей жидкости при

этом будет израсходована на сжатие жидкости рядом с заслонкой. Область сжатия распространяется навстречу текущей жидкости со скоростью c упругой (звуковой) волны. Те точки жидкости, до которых она дошла, останавливаются.

За небольшое время τ заслонкой будет остановлен объем жидкости $V = c\tau S$. Этот объем, двигавшийся до остановки со скоростью v , обладал импульсом $mv = \rho Vv = \rho c\tau Sv$, где m — масса объема V . Сила, действующая со стороны жидкости на заслонку, равна передаваемому заслонке импульсу, деленному на время τ : $F = mv/\tau$. Чтобы узнать давление жидкости на заслонку, эту величину нужно еще разделить на площадь заслонки: $p = F/S = mv/\tau S$. Таким образом, получаем $p = \rho v c$.

Именно на эту величину p повышается давление в текущей по трубе со скоростью v жидкости, если «мгновенно» возле заслонки скорость ее уменьшается до нуля.

Так как скорость звука в воде довольно велика ($c = 1500$ м/с), то даже при малых скоростях течения воды рост давления при гидродинамическом ударе будет весьма ощутимым. Понятно, почему до тех пор, пока не была вскрыта физическая сущность гидродинамического удара, разрывались водопроводные трубы, и почему в наших квартирах водопроводные краны сделаны на резьбе.

2.3.3. Проблема создания учебного эксперимента. Обсуждая с учащимися явление гидродинамического удара, учитель может заметить, что представляет большой интерес непосредственное наблюдение этого явления в учебном эксперименте, но неизвестно, как это сделать. Однако водопровод в наших квартирах можно рассматривать как сообщающиеся сосуды, вода в которых течет за счет гидростатического давления. Поэтому имеет смысл вначале повторить учебное исследование явления гидростатического давления — возможно, оно поможет решить проблему разработки учебного эксперимента по гидродинамическому удару.

Так вместе с учащимися приходят к формулировке проблемы учебного исследования: каким должен быть демонстрационный опыт, чтобы убедительно доказать факт существования гидродинамического удара?

2.4. Экспериментальное исследование гидростатического давления методом фонтана

Учебное экспериментальное исследование явления гидростатического давления проводят совместно с учащимися. В качестве инди-

катора величины гидростатического давления в сосуде используют жидкостный фонтан.

Условия эксперимента

Оборудование: пластиковая бутылка с отверстием возле дна, резиновый шланг, стеклянная трубка с отверстием в торце (сопло).

Экспериментальная установка. Один конец резинового шланга вставляют в отверстие пластиковой бутылки, а второй конец соединяют с соплом. Бутылку за горлышко закрепляют в лапке штатива, шланг с соплом располагают возле стенки бутылки (рис. 2.1).

Порядок выполнения эксперимента. Набирают в пластиковую бутылку воду. Поднимают стеклянную трубку так, чтобы ее отверстие было выше уровня воды в бутылке. Обращают внимание учащихся на уровни воды в бутылке и стеклянной трубке. Медленно опускают стеклянную трубку ниже уровня воды в бутылке и определяют, на какую высоту поднимается фонтан. Изменяя положение и наклон стеклянной трубки, показывают соответствующие изменения фонтана.

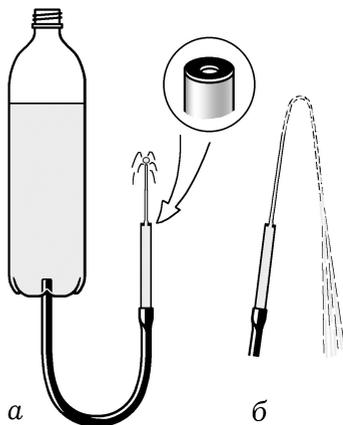


Рис. 2.1. Схема опыта по исследованию гидростатического давления

Результат эксперимента

Совокупность наблюдаемых явлений. Учащиеся видят и отмечают движение жидкости в сообщающихся сосудах, фонтан, сплошную струю, распад сплошной струи на капли, возникновение нескольких струек, образование массивной капли на конце сплошной струи, приседания капли, кумулятивные всплески при падении капель в воду и т. д.

Основное явление. Если сопло слегка наклонить, то фонтан поднимается на высоту, равную уровню воды в бутылке. Когда сопло расположено вертикально, высота фонтана несколько меньше потому, что образующаяся сверху крупная капля препятствует подъему воды.

Количественная характеристика основного явления. Вначале поверхности воды в бутылке и стеклянной трубке находятся на одном уровне. При смещении стеклянной трубки ниже уровня жидкости в бутылке наблюдается фонтан, поднимающийся на высоту смещения так, что он достигает уровня жидкости в бутылке.

Анализ эксперимента

Связь полученного результата с известными. Основной результат, полученный в эксперименте, связан с движением жидкости по трубам различного диаметра, явлениями в сообщающихся сосудах, гидростатическим парадоксом и т. д.

Теоретическое объяснение основного результата. Давление жидкости в сосудах определяется формулой $p = \rho gh$. Когда отверстие стеклянной трубки находится выше уровня жидкости в бутылке, то по закону сообщающихся сосудов $p_1 = p_2$, следовательно $h_1 = h_2$, то есть поверхности жидкости в обоих сосудах находятся на одном уровне.

Когда отверстие стеклянной трубки находится ниже уровня жидкости в бутылке, из него начинает бить фонтан. Высота фонтана определяется смещением верхнего конца стеклянной трубки относительно уровня поверхности жидкости в бутылке. Давление в бутылке на уровне отверстия стеклянной трубки и около этого отверстия в трубке одинаково, и фонтан достигает уровня жидкости в бутылке.

Прогноз новых явлений. Таким образом, по высоте фонтана, бьющего из сопла, соединенного с наполненным жидкостью сосудом, можно определить гидростатическое давление в жидкости на уровне сопла. Отсюда следует, что, используя сообщающиеся сосуды и фонтан, возможно, удастся обнаружить рост давления в жидкости, возникающий при гидродинамическом ударе.

2.5. Экспериментальное исследование гидродинамического давления методом фонтана

По аналогии с рассмотренным выше учебным исследованием гидростатического давления проведем исследование явления гидродинамического удара с целью разработки демонстрационного опыта, показывающего существование этого явления.

Из изложенной выше учебной теории (п. 2.3.2) следует, что для получения гидродинамического удара нужно разогнать столб жидкости, а затем внезапно его остановить. В момент остановки наблюдается резкий скачок давления. Естественно предположение, что это возрастание давления в жидкости можно обнаружить с помощью фонтана. Для этого достаточно в стенке того сосуда, в котором происходит гидродинамический удар, сделать отверстие, направленное вертикально вверх.

Остается придумать, как разогнать жидкость и затем внезапно ее остановить. Представим себе трубу с заслонкой, в которой сделано сравнительно небольшое отверстие. Тогда жидкость, текущая

по трубе, дойдя до заслонки, сама резко остановится, давление в ней возрастет, и из отверстия вырвется тонкая струя.

Но для проверки этого предположения все уже есть (рис. 2.1)! Надо только заставить воду быстро течь по стеклянной трубке с соплом. Сделать это можно двумя способами.

Поднимем шланг с соплом значительно выше уровня воды, перекроем отверстие сопла пальцем, отпустим шланг с соплом ниже уровня воды и откроем сопло. Мы наблюдаем, что вода с большой скоростью устремляется к соплу, внезапно останавливается, и из сопла бьет фонтан на высоту несколько метров!

Второй способ заключается в следующем. Держась за стеклянную трубку, поднимем ее немного над поверхностью воды в бутылке и затем резко опустим вниз ниже уровня воды. И вновь из сопла бьет струя до потолка (рис. 2.2)!

Таким образом, поставленная проблема учебного исследования решена: разработан простой опыт, демонстрирующий существование явления гидродинамического удара.

Сравнение рассмотренного выше учебного исследования гидростатического давления с учебным исследованием гидродинамического удара приводит к следующему выводу. Общим для обоих исследований являются оборудование, экспериментальная установка, совокупность наблюдаемых явлений. Однако порядок выполнения эксперимента, основное явление, его количественная характеристика, а также целиком анализ полученного результата совершенно различны. Следовательно, эти разные исследования аналогичны друг другу. При этом первое исследование можно считать прототипом второго, поскольку из него в буквальном смысле вытекает второе.

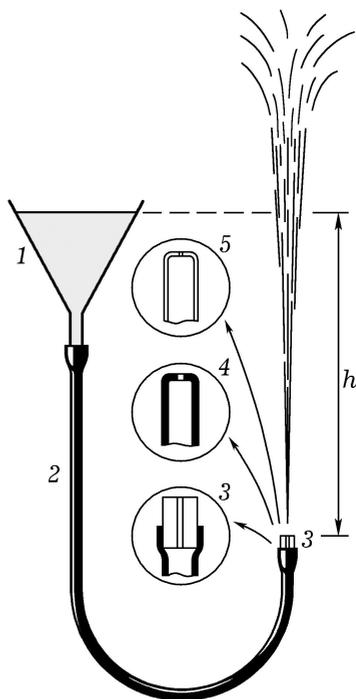


Рис. 2.2. Схема опыта для демонстрации гидродинамического давления: 1 — сосуд с водой; 2 — гибкий шланг; 3, 4 и 5 — различные по конструкции сопла; h — высота, на которую поднимается фонтан за счет гидростатического давления

2.6. Педагогический эксперимент по определению содержания первичной информации

Рассмотрим педагогический эксперимент, целью которого является определение содержания первичной информации, обеспечивающей успешное выполнение учебного исследования. В качестве объекта учебного исследования используем явления гидростатического давления и гидродинамического удара, которые исследуются одним и тем же методом фонтана.

В педагогическом эксперименте приняли участие выпускники средней общеобразовательной школы и выпускники педагогического института, всего 170 человек, которые образовали три группы.

Условия педагогического эксперимента

1. В первой группе из 46 учащихся 11-х классов гимназии № 8 г. Глазова эксперимент проводил А. Л. Кутявин.

Эти учащиеся осуществляли умозрительное исследование.

В течение 10 минут школьникам была изложена учебная теория гидродинамического удара (см. п. 2.3.2). Затем им предлагалось в течение 40 минут придумать и на листе бумаги описать учебный эксперимент по доказательству существования явления гидродинамического удара. Описание должно было содержать условия эксперимента со схемой экспериментальной установки и порядком выполнения опыта, а также ожидаемый результат и его теоретическое объяснение.

2. Во второй группе из 52 учащихся 11-х классов средней общеобразовательной школы № 2 г. Глазова педагогический эксперимент проводили Ю. В. Иванов и А. Л. Кутявин.

Учащиеся этой группы выполняли реальное учебное исследование с использованием готовой экспериментальной установки.

Как и первой группе теория гидродинамического удара излагалась в течение 10 минут. Однако после этого рассматривалось аналогичное исследование гидростатического давления методом фонтана на заранее подготовленной экспериментальной установке. Рассмотрение аналогичного исследования проводилось в течение 20 минут. Затем ставилась задача по аналогии с рассмотренным исследованием провести собственное исследование гидродинамического удара на имеющемся оборудовании.

Учащимся было предложено 5 установок, две из которых располагались в лаборантской, а три в конце класса на каждом ряду. Учащиеся могли подходить к экспериментальным установкам и проверять свои предположения. Общение между учащимися исключалось. На выполнение исследования и оформление отчета отводилось 40 минут.

3. Третья группа состояла из 28 студентов 5 курса физического факультета и 44 студентов 5 курса математического факультета Глазовского государственного педагогического института имени В. Г. Короленко. Обе категории учащихся выполняли учебное исследование.

дование в одной аудитории в одно и то же время. Студентам в течение 15 минут сообщалась информация о гидродинамическом ударе, включающая учебную теорию явления. Затем в течение 10 минут рассматривалось исследование гидростатического давления методом фонтана на предварительно подготовленной экспериментальной установке. Далее перед студентами ставилась задача придумать и описать учебный эксперимент, доказывающий существование явления гидродинамического удара. В аудитории находились две экспериментальные установки. На выполнение учебного исследования отводилось 60 минут.

Результат педагогического эксперимента

1. Испытуемые первой группы в течение 10 минут после получения задания вспоминали бытовые ситуации, в которых они могли видеть, как им кажется, явление гидродинамического удара. Задавали вопросы: если заменить жидкость газом, то будет ли результат тем же? Ни один учащийся этой группы не предложил установку, показывающую явление гидродинамического удара.

2. Во второй группе учащиеся, подумав первые 5 минут, сразу начали подходить к экспериментальным установкам и проверять свои предположения. При работе на установке некоторые учащиеся повторяли рассмотренное предварительно исследование, затем зажимали шланг, раскачивали воду в сосудах.

Учащиеся этой группы быстро догадались, как надо провести эксперимент, чтобы доказать существование явления гидродинамического удара. Они поднимали сопло выше уровня воды в бутылке, зажимали отверстие пальцем, опускали сопло ниже уровня воды и отпускали палец, при этом наблюдали мощную струю из сопла, которая поднималась на высоту, значительно превышающую уровень воды в бутылке.

3. Студенты пединститута, составившие третью группу, через две минуты после формулировки проблемы исследования начали подходить к экспериментальным установкам. Несколько студентов-физиков сразу стали резко опускать сопло вниз, некоторые пережимали шланг и плавно отпускали его. Несколько студентов-математиков поднимали сопло выше уровня воды в бутылке, зажимали шланг, опускали сопло ниже уровня воды в бутылке и разжимали шланг. Некоторые студенты только смотрели, как выполняют опыты их сокурсники, затем садились на место и начинали описывать эксперимент. Студенты только спустя 15 минут после начала учебного исследования смогли обнаружить явление гидродинамического удара на готовой экспериментальной установке.

Количественно результат педагогического эксперимента можно охарактеризовать следующим образом: полностью выполнили учебное исследование примерно 30% студентов-физиков, 12% школьников

второй группы, 9% студентов-математиков и ни один из школьников первой группы.

Анализ педагогического эксперимента

Анализ результата педагогического эксперимента свидетельствует в первую очередь о том, что учебное исследование в полном объеме не выполнено подавляющим большинством испытуемых, следовательно, его результат для учащихся действительно является субъективно новым, то есть поставленная перед испытуемыми проблема для них на самом деле является исследовательской.

1. Учебное исследование не выполнено ни одним из испытуемых первой группы, которой была изложена полная информация только о теории явления и не сообщалась информация об аналогичном исследовании. Ни один из учащихся этой группы не предложил даже идею эксперимента, демонстрирующего явление гидродинамического удара.

2. При сообщении полной информации об аналогичном исследовании большинство школьников второй группы обнаружили явление гидродинамического удара и правильно описали условия его наблюдения.

3. Выпускники педагогического института, имея полную информацию об аналогичном исследовании, в большинстве своем добились цели учебного исследования и предложили эксперимент по демонстрации гидродинамического удара. Однако, несмотря на сравнительно большое время, предоставленное для выполнения и оформления учебного исследования, полностью выполнила исследование лишь третья часть будущих учителей физики. Что касается будущих учителей математики, то в процентном отношении выполнивших учебное исследование в три раза меньше, чем физиков. Это, с одной стороны, свидетельствует о соответствующей профессиональной подготовке на физическом факультете, а с другой — показывает, что даже те люди, мышление которых в течение 5 лет обучения целенаправленно формировалось в математическом русле, в состоянии выполнить учебное физическое исследование, если владеют полной информацией об аналогичном исследовании.

Таким образом, педагогический эксперимент подтвердил проверяемую гипотезу: *эффективность исследования в сфере учебной физики существенно возрастает, если учащийся получает полную информацию об уже выполненном аналогичном или прототипном исследовании.*

Этот вывод конкретного педагогического эксперимента полностью соответствует результатам анализа многолетней исследовательской деятельности авторов в области учебной физики, проводимой совместно с учащимися, студентами и учителями физики. Во всех случаях, когда исполнители не владели информацией об аналогах или прототипах, они не были в состоянии решить стоящие перед ними проблемы.

Глава 3

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рекомендации по организации проектной исследовательской деятельности школьников, содержащиеся в современной научно-педагогической литературе, вооружают учителя физики или студента педагогического вуза главным образом теоретическими сведениями. Однако одни лишь теоретические положения и выводы не обеспечивают эффективное руководство учебно-исследовательской деятельностью школьников. Затруднения, которые испытывает учитель физики, планирующий проектную деятельность, заключаются в поиске актуальных проблем, формулировке задач и выборе методов выполнения исследовательских проектов.

Необходимо, чтобы проблемы учебных исследований были тесно связаны с материалом школьного курса физики, задачи — мотивировали учащихся к поиску их решения, методы — обеспечивали достижение целей проектов в ограниченные сроки. Поэтому разработка содержания и технологии исследовательских проектов школьников представляет собой одну из приоритетных научных задач дидактики физики.

В главе обоснована необходимость создания специальных образовательных ресурсов проектной деятельности школьников, применение которых полностью согласуется с общепринятыми психологическими и педагогическими теориями учебной деятельности. Предложены различные виды образовательных ресурсов, обеспечивающих выполнение учебно-исследовательских проектов по физике.

3.1. Образовательные ресурсы ученических проектов

Рассмотрим понятие образовательного ресурса проектной деятельности (ОРПД) школьников по физике. Определим цели, задачи, содержание и основные виды таких ресурсов.

3.1.1. Материально-техническое оснащение учебного процесса. Согласно действующему ФГОС необходимо такое финансирование школы, которое, помимо прочего, обеспечивает выполнение индивидуальных проектов и внеурочную деятельность учащихся.

Школа или иное образовательное учреждение выполняют требования ФГОС, если они выделяют помещения, необходимые для

учебно-исследовательской и проектной деятельности учителя и учеников. Это могут быть лаборатории, мастерские и даже цеха, предназначенные для внеурочной деятельности, связанной с учебными исследованиями, техническим творчеством, моделированием, робототехникой, производством.

Материально-техническое оснащение образовательного процесса по физике, наряду с учебным оборудованием физического кабинета, включает ручные инструменты, электроинструменты, измерительные приборы, компьютерную технику, множительную технику, конструкционные материалы, расходные материалы, элементы электроники и т. д.

Все, что необходимо для организации проектной и учебно-исследовательской деятельности, должно быть обеспечено современной школой. Школьники имеют право использовать учебное демонстрационное и лабораторное оборудование, цифровые и аналоговые измерительные приборы, цифровые лаборатории. Им нужно предоставить все возможности для проектирования, конструирования и экспериментирования; размещения продуктов познавательной, учебно-исследовательской и проектной деятельности в информационно-образовательной среде школы; доступа к информационным ресурсам Интернета.

Школа создает условия, при которых учитель и учащиеся имеют возможность пользоваться множительной техникой для тиражирования учебных и методических тексто-графических и аудио-видео-материалов, результатов творческой, научно-исследовательской и проектной деятельности, для выпуска школьных печатных изданий и работы школьного сайта. Все перечисленные виды деятельности обеспечиваются расходными материалами.

Таким образом, недавно принятый Федеральный государственный образовательный стандарт предоставляет уникальные возможности для организации в современной школе учебно-исследовательской и проектной деятельности обучающихся.

Конечно, в настоящее время массовая школа многим из того, что в идеале требуется, не располагает. Но это и не обязательно. Единственное, что действительно необходимо для организации продуктивной проектной деятельности учащихся по физике, — это достаточная экспериментальная подготовленность учителя физики и его желание вне уроков заниматься с учащимися.

3.1.2. Образовательные ресурсы и их виды. Проектная деятельность школьников носит обучающий характер. Различные средства обучения в настоящее время принято называть образовательными ресурсами.

В широком смысле слова под *образовательным ресурсом* (ОР) понимают совокупность элементов среды, используемых учащимися

и учителем непосредственно в целях образования. К образовательным ресурсам относят учебно-методическую литературу, наглядные пособия, технические средства обучения, учебно-методические комплексы, лабораторное оборудование и т. д.

Различают материальные и информационные образовательные ресурсы. При изучении физики в качестве *материальных образовательных ресурсов* используют физические приборы, демонстрационное и лабораторное оборудование, компьютерную технику, цифровые лаборатории, материалы, инструменты, вещества и многое другое.

Информационные образовательные ресурсы содержат информацию, необходимую при обучении физике; к ним относятся учебники, рабочие тетради, учебно-методические комплексы, видеофильмы, научно-методические и научно-популярные журналы и другие издания.

Если информационный образовательный ресурс хранится и передается в цифровой форме, то он называется *цифровым* (ЦОР) или *электронным* (ЭОР). К цифровым образовательным ресурсам относятся обучающие компьютерные программы, электронные учебники, цифровые видеофильмы, компьютерные презентации и т. д.

При организации проектной деятельности определяющее значение имеет *интеллектуальный образовательный ресурс*, включающий методологию проектной деятельности учащихся, содержание школьного курса физики и экспериментальную подготовленность учителя (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Виды образовательных ресурсов проектной деятельности

3.1.3. Дидактические ресурсы проектной деятельности. В современной школе невозможно эффективное осуществление продук-

тивной проектной деятельности учащихся без специально разработанных для этой цели дидактических материалов.

Под *дидактическим ресурсом проектной деятельности* будем понимать учебное руководство в печатной или цифровой форме, которое задает содержание, материальное обеспечение, технологию выполнения, объем, оформление и форму представления результатов учебно-исследовательского проекта школьника.

Целью дидактического ресурса проектной деятельности (ДРПД) является обеспечение оптимальных условий для руководства учителем проектной деятельностью школьников и выполнения учащимися исследовательских проектов по физике.

Под оптимальными нужно понимать такие условия, для создания которых из всех возможных вариантов требуются минимальные интеллектуальные, временные и материальные затраты.

Иными словами, ДРПД нужен для того, чтобы ученик под руководством учителя смог самостоятельно и успешно выполнить индивидуальный проект в обоснованно минимальные сроки. Поэтому образовательный ресурс проектной деятельности должен представлять собой ориентировочную основу действий как для учителя, так и для учащихся.

Общие задачи ДРПД определяются структурой проектной деятельности, которая, как известно, содержит три взаимосвязанные фазы: проектирования, технологии и рефлексии (см. п. 1.1.2, 1.3.4). Эти общие задачи могут быть сформулированы следующим образом.

1. Сообщить учащимся информацию, возбуждающую интерес к проблеме исследования и позволяющую определить конкретную цель проекта.

2. Представить близкую к оптимальной последовательность действий для достижения цели проекта и указать способ реализации разработанного плана действий.

3. Обеспечить самостоятельность выполнения проекта учащимися и предложить способ оценки полученных ими результатов.

Перечисленные задачи удастся решить, если ДРПД будет содержать систему заданий творческого характера, последовательное выполнение которых приведет к достижению цели проекта. Напомним, что творческими по В. Г. Разумовскому следует считать задания, которые в явном виде не содержат указания о сведениях, необходимых для их выполнения [84, 85].

3.1.4. Принципы построения содержания дидактических ресурсов. При отборе материала и конструировании содержания ДРПД следует руководствоваться тремя основными принципами, которые вытекают из самой сущности проектной деятельности школьников при изучении физики, рассмотренной в первой главе.

Принцип элементарности. Содержание проектных исследований должно быть элементарным, то есть доступным для овладения учащимися, знакомыми с физикой только в рамках школьного курса. Реализация этого принципа обеспечивается, если содержание ученических проектов тесно связано со школьным курсом физики, то есть опирается на изучаемые в школе учебную теорию и учебный эксперимент, служит углублению, обобщению и применению знаний, полученных на уроках. Вместе с тем это содержание не должно ограничиваться фактическим материалом, логикой и последовательностью его представления в учебнике. Исследования физических явлений в проектной деятельности могут значительно опережать изучение их на уроках. Поэтому ДРПД должен содержать связанную с курсом физики краткую учебную теорию и задания, направленные на изучение материала школьного учебника.

Принцип продуктивности. Проектные исследования приносят глубокое удовлетворение учащимся, если в результате их выполнения не только углубляются знания и развиваются умения, но и появляется новый материальный или интеллектуальный продукт, имеющий практическую значимость или личную ценность. Отсюда следует, что необходимы такие проблемы исследовательских проектов, которые предполагают получение школьником осязаемого вещественного результата. Это может быть самостоятельно изготовленный физический прибор, собранная своими руками экспериментальная установка, созданная собственным умом компьютерная программа и т. д. Возможность получения такого продукта является сильнейшим стимулом в работе и гарантирует углубление интереса школьников к физике. Таким образом, согласно принципу продуктивности в ДРПД должны быть включены задания, связанные с изготовлением физических приборов, разработкой компьютерных программ, освоением новых для школьника приемов работы и технологических операций.

Принцип эмоциональности. Выполнение проекта, как и решение проблемы исследования, должно приводить к яркому, эффективному, лично значимому результату, доставляющему исполнителю сильные положительные эмоции. В идеале при выполнении проекта школьник, испытав отрицательные эмоции от собственных ошибок и неудач, должен получить значительный эмоциональный заряд положительной полярности от достигнутого им успеха. Поэтому, планируя проектное исследование, необходимо заранее просчитать возможные действия школьника и посредством ДРПД скоординировать его деятельность так, чтобы по крайней мере одна задача проекта была успешно и полностью решена, причем это решение оказалось бы эффективным и впечатляющим.

3.1.5. Содержание дидактического ресурса. Сформулированные выше задачи и принципы определяют содержание дидактического ресурса проектной деятельности.

Как показано выше (см. п. 2.3–2.6), проект по учебному исследованию физического явления в принципе может быть выполнен школьником лишь при условии, что его образовательный ресурс содержит полную информацию об аналогичном или прототипном исследовании. Самостоятельность выполнения проекта будет обеспечена, если его ДРПД содержит не инструкцию, предписывающую строго определенную последовательность действий, а систему заданий исследовательского характера. Эта система, с одной стороны, представляет собой план достижения цели проекта, а с другой — определяет способ оценки полученных школьниками результатов. Иными словами, создающая ДРПД система заданий является ориентировочной основой действий для руководителя и исполнителей проекта.

Каждое задание проекта представляет собой микропроект, который школьник должен выполнить полностью самостоятельно при минимальной помощи со стороны учителя. Разумеется, руководство учителя необходимо и при выполнении отдельного задания, но оно не должно быть связано с креативной сущностью этого задания.

Информационные задания содержат теоретические сведения, поясняют ключевые понятия и физические закономерности, сообщают полезную информацию, которой, как правило, нет в школьных учебниках, но которая дает представление об актуальности, научной и практической значимости исследования, указывают дополнительные источники информации.

Теоретические задания рекомендуют школьникам изучить необходимые для выполняемого исследования физические понятия, вывести формулы, выполнить умозрительные эксперименты и интерпретировать их результаты.

Проектировочные задания предлагают учащимся разработать проект устройства, прибора или экспериментальной установки, отвечающие определенным требованиям.

Опытно-конструкторские задания направлены на организацию изготовления, налаживания, тестирования и описания физических приборов и экспериментальных установок.

Опытно-исследовательские задания требуют, используя изготовленное оборудование, воспроизвести, пронаблюдать и объяснить исследуемые физические явления.

Рационализаторские задания побуждают учащихся усовершенствовать прибор, подобрать оптимальные условия опыта, дать рациональное объяснение его результатов и придумать способы экспериментальной проверки этого объяснения.

Дидактические задания предусматривают в процессе выполнения проекта разработку учащимися фрагмента урока физики или внеурочного занятия с демонстрациями специально подготовленных для этого приборов, экспериментальных установок и физических опытов.

Презентационные задания направлены на подготовку исполнителями научного доклада по выполненному проекту, сопровождающегося компьютерной презентацией на основе самостоятельно изготовленных графических и фотографических иллюстраций.

Публикационные задания имеют своей целью написание краткой статьи по результатам выполненного проекта и публикацию ее в доступных школьнику изданиях.

3.1.6. Количество заданий в дидактическом ресурсе. Продолжительность выполнения одного проекта, с учетом возрастных особенностей и возможностей учащихся массовой школы, не может превышать месяца. Если школьник в состоянии уделять проекту в среднем 1 час в день, то в неделю на проект он будет тратить около 6 часов. Тогда общее время на выполнение проекта составит примерно 24 часа. Это вполне реальная цифра, так как практика показывает, что за это время большинство учащихся успевают изучить и собрать электронный прибор, выполнить с ним учебные эксперименты и оформить результаты своего труда.

Общее число заданий в проекте определяется их объемом и временем, отведенным на выполнение проекта. Если среднее время, затрачиваемое учащимся на выполнение одного задания, не превышает двух часов, а общее время, выделяемое на проект, составляет 24 часа, то ДРПД должен состоять не более чем из 12 заданий.

Разумеется, это ориентировочная цифра: количество заданий в ДРПД, помимо прочего, определяется уровнем самостоятельности, который обеспечивается проектом. Если у учащихся исследовательские умения сформированы в достаточной степени, то детализация проблемы исследовательского проекта может быть более грубой. Для менее подготовленных школьников потребуется несколько большее количество заданий. Но в целом ДРПД из 12 творческих заданий наиболее близок к оптимальному.

Изложенное здесь не противоречит положению ФГОС, что «индивидуальный проект выполняется обучающимся в течение одного или двух лет в рамках учебного времени, специально отведенного учебным планом» (п. 1.3.1), так как в нем ничего не говорится об оптимальной продолжительности проекта для учащегося.

3.2. Информационные источники дидактических ресурсов

Рассмотрим источники информации, пригодные для разработки дидактических ресурсов проектной деятельности по физике (рис. 3.1). К ним относятся научные монографии по дидактике физики, научно-методические статьи, опубликованные в периодических изданиях, учебные руководства, предназначенные для учителя и учащихся, статьи для школьников в научно-популярных журналах, различного рода материалы, относящиеся к физике, и сосредоточенные в Интернете.

3.2.1. Научно-методические публикации по учебной физике.

Основными периодическими изданиями, в которых систематически публикуются результаты научных исследований в области учебной физики, являются журналы «Физика в школе», «Физика-ПС», «Учебная физика» и «Физическое образование в вузах», а также сборники трудов научных конференций по дидактике физики. Материалы этих изданий, относящиеся к учебному физическому эксперименту, могут способствовать определению тематики и содержания исследовательских проектов учащихся. Однако непосредственное использование их в самостоятельной проектной деятельности школьников невозможно, так как эти материалы совершенно не интересны и практически недоступны учащимся, поскольку предназначены для специалистов в области физического образования.

Применение научных работ в проектной деятельности возможно и даже необходимо, если эта деятельность осуществляется учителем, который привлекает школьников для решения конкретных задач выполняемого им исследования. Целью такого исследования является, как правило, проверка достоверности информации, содержащейся в опубликованной работе, и оценка возможности применения ее для совершенствования учебного эксперимента, используемого при изучении физики в школе.

Например, в журнале «Физическое образование в вузах» опубликована статья о формировании физико-технической компетенции студентов-физиков и старших школьников. В ней помимо прочего приведены характеристики разработанных авторами экспериментальных установок: 1) линейная колебательная система с одной степенью свободы без затухания; 2) маятник Жуковского; 3) неконсервативная линейная система с гармонической вынуждающей силой; 4) линейная система с конечным и бесконечным числом степеней свободы; 5) параметрическая колебательная система с одной степенью свободы; 6) автоколебательная система с одной степенью свободы; 7) маятник Капицы; 8) нелинейная колебательная система для демонстрации хаотических колебаний [109].

Учителя может заинтересовать пятая установка из приведенного перечня, которая представляет собой не что иное, как модель качелей. По приведенной в статье фотографии можно понять только идею этой установки. Чтобы воплотить ее в реальность, учителю придется провести специальное исследование, к которому целесообразно привлечь школьников.

Приведем еще один пример дидактического исследования, которое может провести учитель вместе со своими учениками. В сборнике трудов XII Международной учебно-методической конференции В. Я. Бирюковым приведено описание эффективной демонстрации энергии заряженного конденсатора, которое мы здесь полностью воспроизводим.

«Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле $W = CU^2/2$. Для того чтобы убедить учащихся в справедливости зависимости запасаемой энергии от квадрата напряжения, предлагается следующая демонстрация. Берем электролитический конденсатор емкостью 33 000 мкФ, рассчитанный на максимальное напряжение 50 В и заряжаем его от источника тока до напряжения, равного 0,5 от максимального. Для уменьшения броска тока в начальный момент зарядки конденсатор необходимо подключать через проволочный резистор (реостат) сопротивлением 4–15 Ом. Необходимо также учитывать, если источник тока нестабилизированный, то напряжение на конденсаторе будет достигать импульсного значения, которое в $\sqrt{2}$ раз больше эффективного. После отсоединения проводников от блока питания они замыкаются, что приводит к яркой вспышке, сопровождаемой резким звуком. Проведя ту же операцию, но с увеличенным в 2 раза напряжением, убеждаем зрителей, что яркость вспышки и сопровождаемый грохот значительно увеличились, и они соглашались с тем, что энергия разряда возросла в 4 раза. По цвету вспышки косвенно можно судить о металле замыкаемых проводников. Так, медные проводники дают вспышку с синеватым отливом, а алюминиевые — ярко-белую.

Затем аудиторию знакомят с техническими приложениями, связанными со способностью электрических конденсаторов накапливать значительный заряд: в фотовспышках, импульсных модуляторах радиолокаторов и точечной сварке. Для демонстрации последнего берутся две сложенные жестяные пластинки, через них производится разряд, и они точечно свариваются. Завершается эксперимент пробиванием отверстия в безопасной бритве. При этом один проводник с помощью зажима типа «крокодил» подсоединяется к бритве, а второй подводится к точке, где необходимо прожечь отверстие. Демонстрируя отверстие в бритве, поясняют, что просверлить отверстие обычным сверлом не удастся, а искровому разряду это под силу.

Простота и наглядность описанного эксперимента под стать опыту Э. Ферми по определению энергии ядерного взрыва, когда он развеивал бумажки, а ударная волна их относила в сторону» [6].

Из этого описания видно, что автором предложен впечатляющий эксперимент, демонстрирующий способность конденсатора накапливать электрическую энергию и показывающий зависимость

величины этой энергии от напряжения. Подобный эксперимент был бы вполне уместен на школьном уроке. Но для этого нужно обеспечить полную безопасность экспериментальной установки. Следовательно, необходимо дидактическое исследование предложенного В. Я. Бирюковым учебного эксперимента с целью повышения его безопасности и доступности. Самостоятельно провести такое исследование учащиеся не могут хотя бы потому, что возможность поражения электрическим током не исключена. Однако это исследование вполне по силам школьному учителю физики, который может привлечь к работе учащихся с целью самостоятельного решения ими отдельных задач соответствующего проекта.

Таким образом, научно-методические публикации по учебной физике непосредственно невозможно использовать в качестве дидактических ресурсов проектной деятельности школьников. Но они являются источником информации для определения содержания совместных проектов учителя и ученика. Особенную ценность имеют опубликованные материалы, в которых содержится полная и точная информация о разработанных авторами учебных экспериментах. В этом случае учителю достаточно в качестве цели совместного проекта поставить проверку достоверности сообщенных в источнике сведений и оценку возможности применения их для совершенствования известного учебного физического эксперимента [31, 32, 45, 104–108, 110–112].

3.2.2. Физические задачи, допускающие экспериментальную проверку. Значительными дидактическими возможностями для организации проектной деятельности школьников обладают книги, посвященные творческим задачам по физике [8, 44, 84]. Многие творческие задачи допускают постановку учебного эксперимента с целью проверки их решения на соответствие действительности. При условии использования дополнительных источников информации, содержащих сведения о современных приборах школьного кабинета физики и доступных электронных устройствах, этот эксперимент может послужить началом серьезного проекта. Например, ниже в п. 7.1 представлено проектное исследование модели анемометра, исходной проблемой которого стала творческая задача из книги [84, с. 142].

Особое место в учебной литературе по физике занимают книги, предназначенные для подготовки к физическим олимпиадам. В них обязательно имеются экспериментальные задачи, предназначенные для учащихся разных классов и охватывающие все темы школьного курса [5, 21, 95]. Эти задачи, безусловно, могут быть использованы для организации проектной деятельности школьников.

Своеобразную разновидность физических задач представляют собой экспериментальные доказательства [53], которые также мо-

гут служить основой интересных проектных исследований. По своей сути экспериментальные доказательства являются умозрительными экспериментами или идеями реальных опытов. Поэтому они не дают полной и точной информации об условиях соответствующих им натуральных экспериментов. Но, усвоив идею опыта, можно попытаться воплотить ее в реальность в исследовательском проекте.

3.2.3. Учебные исследования в книгах для учащихся и учителя.

Одна из серий книг, посвященных учебным исследованиям, была опубликована издательством «Наука» в период с 1978 по 1989 год [46–50]. Их переработанные и дополненные варианты частично переизданы издательством «Физматлит» [51, 52] и издательским домом «Интеллект» [72] в 2007–2011 годах. Эти книги представляют собой учебные руководства самостоятельными исследованиями учащихся в области таких разделов учебной физики, как кумулятивный эффект, акустика, ультраакустика, полное внутреннее отражение света, градиентная оптика. Они предназначены для школьников, учителей физики, студентов и преподавателей педагогических вузов.

Содержание обсуждаемых книг разбито на главы, каждая из которых посвящена учебным исследованиям родственных явлений. В главах материал сгруппирован в параграфы и расположен, как правило, по мере нарастания его сложности. Каждый параграф, как правило, состоит из двух частей: в первой сообщается некоторая информация и в явном или неявном виде формулируется проблема учебного исследования; во второй — представлен возможный вариант выполнения исследования. Сделано это для того, чтобы читатель мог приостановиться, попытаться осознать и самостоятельно решить поставленную проблему, а затем сравнить полученные результаты с приведенными во второй части параграфа. Описания экспериментов содержат однозначную и исчерпывающую информацию об их условиях, поэтому читатель, точно следующий описанию, обязательно получит требуемый результат. Творческий компонент работы читателя обеспечивается заданиями для самостоятельного выполнения.

Все это определяет возможность использования материала этих книг в качестве основы ДРПД. Многие их параграфы фактически являются готовыми дидактическими ресурсами для небольших проектов. Организация проектной деятельности при этом состоит из двух этапов. Первый заключается в выполнении учащимися заданий по воспроизведению описанных в книгах явлений. Второй этап состоит в самостоятельном решении школьниками задач совершенствования экспериментальных установок и электронных приборов на основе современных электронных компонентов и материалов, выполнении точных измерений, оценке погрешностей, изучении

функциональных зависимостей между физическими величинами, разработке практического применения исследованных явлений.

Например, в книге [46, с. 69–76] описан опыт, в котором порошком визуализируются линии равных фаз изгибной волны, распространяющейся в листе плотной бумаги. При выполнении проекта после воспроизведения этого опыта школьник может детально исследовать явление интерференции изгибных волн, распространяющейся от источника и отраженной краем листа, по интерференционной картине определить длину изгибной волны и скорость ее распространения.

В книге [47] описан эксперимент, в котором узкий пучок света распространяется в оптически неоднородном слое, образованном диффузией одной жидкости в другую. Выполняя исследовательский проект, школьнику будет полезно вместо кюветы из оргстекла изготовить стеклянную кювету и интересно разработать аналогичные описанным опыты, создавая оптически неоднородный слой нагреванием поверхности жидкости.

В книге [48, с. 23–50] описаны опыты с капиллярными волнами на струе, приводящими к распаду струи на капли. При выполнении исследовательского проекта школьники могут вначале воспроизвести эти опыты, а затем сосредоточить свои усилия на разработке современного электронного стробоскопа на мощных светодиодах, который обеспечит демонстрацию распада струи на капли в большой аудитории.

В книге [51] описана серия опытов с самодельным световодом. Изготовление такого световода требует значительных затрат времени на шлифовку и полировку полоски оргстекла. Изучив технологию изготовления световода по приведенному в книге описанию, учащиеся могут выполнить исследование современных доступных материалов на предмет их использования для быстрого изготовления демонстрационного световода.

Таким образом, учебные руководства, содержащие описания доступных для воспроизведения физических опытов, предоставляют учителю богатый фактический материал, способствующий организации проектной деятельности. Но задавая содержание, они не обеспечивают выполнение всех этапов исследовательского проекта.

3.2.4. Материалы Интернета. Значительными возможностями в качестве информационного источника проектной деятельности обладает интернет-ресурс. Можно выделить несколько основных способов представления информации, принятых в Интернете.

Текстовые материалы. Это обычные статьи, которые в отличие от печатных вариантов снабжены многочисленными иллюстрациями и нередко гиперссылками. Особую значимость для проектной деятельности имеют описания технологий обработки материалов

и изготовления приборов. Обычно такие описания сопровождаются сериями фотографий, представляющими собой фотострукции, подробно и последовательно показывающие все необходимые для достижения цели действия. Текст при этом просто поясняет иллюстрации, которые, помимо прочего, свидетельствуют о достоверности даваемых рекомендаций.

Примером сказанного является так называемая «лазерно-утюжная» технология изготовления печатных плат из фольгированного гетинакса или стеклотекстолита, которая представлена в Интернете в многочисленных вариантах. При освоении этой технологии школьникам будет полезно самостоятельно найти информацию о ней в Интернете, подробно изучить и критически оценить соответствующие рекомендации.

Обращая внимание учащихся на интернет-ресурсы, учитель должен на конкретных примерах демонстрировать недостоверность многих материалов Интернета. Воспитанное у школьников критическое отношение к непроверенным данным способствует формированию самостоятельности мышления.

Видеоклипы. Такие интернет-ресурсы представляют собой относительно короткие видеоролики, в которых показываются физические опыты. Обычно демонстрация явления сопровождается речью с соответствующими пояснениями. Достоинством видеоклипов следует считать наглядность представления материала. Недостатки заключаются, как правило, в невысоком уровне теоретического объяснения физического явления. Неприятны также не относящиеся к делу действия демонстратора. Например, ведущий одной из популярных передач «Галилео» сопровождает физические и другие эксперименты такими комментариями, телодвижениями и ужимками, которые после просмотра уже нескольких видеороликов вызывают отторжение у зрителей, желающих просто уяснить суть явления.

подавляющее большинство интернет-ресурсов не ставит задачу организации работы школьников по исследованию демонстрируемого явления. Поэтому учитель при использовании такого информаци-



Рис. 3.2. Простая и эффектная демонстрация униполярного электродвигателя

онного ресурса должен сформулировать систему заданий, которые обеспечили бы школьнику успешное выполнение проекта.

Например, в Интернете имеются видеоролики¹⁾, на которых демонстрируется работа униполярного электродвигателя (рис. 3.2). При постановке опыта производят следующие действия: к шляпке стального шурупа-самореза примагничивают цилиндрический неодимовый магнит; острием шуруп с магнитом примагничивают к стальному полюсу гальванического элемента; гибким многожильным проводом соединяют второй полюс элемента с боковой поверхностью магнита. В результате магнит вместе с шурупом начинает быстро вращаться вокруг вертикальной оси.

Рассмотренный эксперимент воспринимается школьниками как фокус, поэтому нуждается в исследовании с целью выяснения физической сущности явления. В таком случае дидактический ресурс для организации проектной деятельности школьника может включать следующие задания творческого характера: 1) изучите опыты, демонстрирующие существование силы Ампера; 2) воспроизведите явление, демонстрируемое в найденном видеоклипе; 3) дайте качественное объяснение явлению; 4) постройте теоретическую модель этого явления, изобразите физическую схему опыта и обозначьте на ней действующие на ротор двигателя силы; 5) выведите из модели следствия, которые допускают экспериментальную проверку; 6) поставьте опыты, подтверждающие выведенные следствия; 7) количественно изучите явление (измерьте силу тока, оцените модуль магнитной индукции неодимового магнита, силу Ампера и т. д.); 8) разработайте конструкцию униполярного электрогенератора; 9) на опыте убедитесь, что униполярный электрогенератор действительно работает.

Особенностью использования интернет-ресурсов в проектной деятельности является необходимость предварительной экспертизы, поскольку большинство этих материалов прямо не предназначены для воспроизведения школьниками, а некоторые из них представляют серьезную опасность.

3.3. Дидактические ресурсы проектов по физике

На основе рассмотренных выше методологических принципов, психологических теорий и педагогических требований к дидактическим ресурсам проектной деятельности нами разработаны, проверены в педагогическом эксперименте и внедрены в практику обучения три вида ДРПД по физике (рис. 3.1): статьи для учащихся и школьных учителей физики, системы творческих заданий

¹⁾ <http://www.youtube.com/>

и рабочие тетради. Они задают уровни учебно-исследовательской деятельности, отличающиеся степенью самостоятельности учащихся в планировании и выполнении проекта.

3.3.1. Публикации как дидактический ресурс исследовательского проекта. Обобщая многолетний опыт организации исследовательской деятельности школьников, студентов и магистрантов в области учебного физического эксперимента, мы пришли к выводу, что оптимальным дидактическим ресурсом является оригинальная статья, посвященная одному учебно-исследовательскому проекту. Требование оригинальности означает, что в статье должны быть строго и исчерпывающе описаны только те физические приборы, которые действительно разработаны и изготовлены авторами, и лишь такие эксперименты, которые авторы реально выполняли.

Здесь уместно привести краткие сведения о журнале «Потенциал», редакция которого предоставила авторам монографии уникальную возможность публикации серии статей (дидактических ресурсов проектной деятельности), снабженных цветными фотографиями приборов, экспериментальных установок и результатов опытов.

Первый номер ежемесячного журнала для старшеклассников и учителей «Потенциал» вышел в январе 2005 года. Своим появлением журнал обязан знаменитой ЗФТШ при не менее знаменитом МФТИ. Однако уже с самых первых номеров журнал ориентирован не только на ограниченный круг элитных читателей, но на самую широкую аудиторию людей, занимающихся обучением и изучением физики, математики и информатики.

Главным редактором журнала стал А. Д. Гладун — доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой общей физики МФТИ. Глубокое знание физики, нетривиальный подход к педагогическим проблемам [24, 25], осознанный патриотизм главного редактора определили содержание и облик журнала, сделали его лучшим в стране учебным изданием естественнонаучного профиля. Фактически журнал «Потенциал» приобрел статус образовательного проекта национального масштаба.

Сотрудничество с журналом «Потенциал» позволило нам приступить к реализации давно задуманного проекта «Учебные исследования в физике». Суть его заключается в создании системы современных учебных экспериментов, обеспечивающих получение ярких и впечатляющих результатов, для корректного объяснения которых достаточно использования лишь учебной физической теории. Основным критерием отбора материала для учебных исследований является его материальная, временная и интеллектуальная доступность старшекласснику и учителю физики. Formой представления материала является журнальная статья объемом не более 10 страниц. Статья делится на 7–9 параграфов, каждый из которых

посвящен отдельному этапу предлагаемого исследования, причем последний параграф включает задания для самостоятельного исследования. Параграфы статьи содержат исчерпывающие изложения теоретических сведений, условий эксперимента и конструкций учебных приборов. Текст снабжен иллюстрациями, облегчающими усвоение изложенного. Практически каждый параграф статьи допускает развитие. Тематика статей охватывает все разделы школьного курса физики. Нередко статьи образуют серии, позволяющие более подробно исследовать интересное физическое явление. К настоящему времени опубликованы 55 статей [114–168] общим объемом около 500 страниц.

Основной проблемой образовательного проекта «Потенциал» является формирование потребности в этом журнале педагогических вузов, школ и отдельных читателей. Необходимы как административные меры, так и спонсорская помощь школам в приобретении журнала.

Педагогический эксперимент по внедрению ДРПД в форме оригинальных статей проводится в течение 8 лет в Глазовском педагогическом институте и средних учебных заведениях г. Глазова. Информационные ресурсы этого типа успешно применяются в рамках курсов повышения квалификации при подготовке учителей к руководству проектной деятельностью школьников. Об эффективности этой формы ДРПД свидетельствуют положительные результаты использования ее учителями физики в практической работе над ученическими проектами [97].

3.3.2. Система исследовательских заданий как дидактический ресурс. В ресурсах, представляющих собой систему исследовательских заданий, более строго, чем в статье по учебной физике, определено содержание и примерный объем работы школьника, но не задана форма представления результатов [12, 20]. Дидактический ресурс одного исследовательского проекта занимает четыре страницы, распечатывается с двух сторон одного листа формата А4 и сгибается посередине так, что получается книжка из двух листов формата А5. Он включает кратко изложенную учебную теорию и необходимую для выполнения проекта информацию, принципиальные схемы приборов и систему заданий, определяющих план работы школьника.

На страницах 56 и 57 приведен уменьшенный в масштабе 1:2 ДРПД по исследованию электронного стробоскопа с компьютерным управлением вспышками. Вначале ставится проблема исследования: дается краткая информация о стробоскопическом эффекте и современных средствах его изучения и использования. После этого учащимся предлагается 9 заданий. Все задания относятся к разряду нетрафаретных и непривычны учащимся. Выполняя их,

3. Учебные проекты в натурном компьютерном эксперименте

В светодиодах созданы условия, при которых излучение выходит наружу из электронно-дырочного перехода и обладает большой интенсивностью. Подобрав полупроводники из разных материалов, можно получить излучение во всем видимом диапазоне, а также в примыкающих к нему инфракрасной и ультрафиолетовой областях.

В отличие от ламп накаливания светодиоды *миллишерцонины*. Это объясняется тем, что люминесценция прямого тока через светодиод без задержки вызывает соответствующее изменение интенсивности его излучения. Кроме того, светодиоды способны изучать свет высокой интенсивности при небольшом напряжении питания. Эти качества светодиодов обеспечивают успешное применение их в электронных стробоскопах.

3. Компьютерное управление стробоскопическим источником. Чтобы стало возможным комплексное исследование движения тела, например, по стробоскопической фотографии, нужно точно знать частоту вспышек электронного стробоскопа. Для измерения частоты используются специальные приборы — частотомеры. Но лучше вместо измерения неизвестной частоты переменного напряжения задавать такое значение частоты вспышек стробоскопа, которое необходимо в эксперименте.

Существенна также продолжительность отдельной вспышки света. Она должна быть настолько небольшой, чтобы движущееся тело за время вспышки не успело переместиться на сколько-нибудь заметное расстояние. Иначе на фотографии изображение тела получится нерезким. Помимо, что в любом случае длительность вспышки должна быть значительно меньше продолжительности паузы между вспышками. Значит, нужно уметь регулировать не только частоту, но еще и длительность вспышек.

Решение этих задач оптимальным образом обеспечит компьютер со специальной программой *Генератор*. В таком случае экспериментальная установка должна включать: 1) компьютер, снабженный звуковой картой; 2) усилитель переменного напряжения, вырабатываемого компьютером; 3) малоинерционный источник света.

В качестве источника света, обладающего высоким быстродействием, наиболее пригодны светодиод или светодиодный фонарь. Но для обеспечения работы такого источника необходимо напряжение порядка 3–5 В и сила тока до 0,1 А. Компьютер не в состоянии выдавать переменный сигнал с такими параметрами. Поэтому необходим усилитель сигнала с соответствующим питанием.

4. Устройство и принцип действия усилителя. Принципиальная схема электронного усилителя показана на рис. 1. Сигнал с генератора *G1*, которым является компьютер, через резистор *R1* поступает на базу маломощного транзистора *V1*. Нагрузкой этого транзистора служит резистор *R2*, сигнал с которого подается на базу мощного транзистора *V2*. Этот транзистор управляет током, проходящим от источника питания через светодиод *HL1*. Резистор *R3* ограничивает силу тока, проходящего через светодиод, и предотвращает выход его из строя.

3.2. СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК СВЕТА

Проект имеет своей целью создание, исследование и применение в учебном эксперименте стробоскопического источника света с компьютерным управлением.

1. Сущность стробоскопического эффекта. Электронный стробоскоп представляет собой генератор световых вспышек, следующих друг за другом со строгой периодичностью. Если стробоскопический источник прерывистого света движется, то глаз наблюдателя одновременно видит несколько положений источника в тех местах, в которых он находился в моменты вспышек.

Траекторию движения тела, обозначенную световыми вспышками, можно не только наблюдать, но и фотографировать. Этот *стробоскопический эффект* объясняется инерционностью зрительного ощущения и комплексным временем экспозиции или выдержки фотоаппарата. При стробоскопическом освещении несомещающегося тела удается наблюдать и фотографировать *траекторию движения с временными метками*, обозначенную последовательными изображениями движущегося тела.

2. Устройство и принцип действия светодиода. В металлах свободными носителями заряда являются отрицательно заряженные *электроны*. Такие же носители заряда обеспечивают проводимость полупроводников *n*-типа. В полупроводниках *p*-типа свободными носителями заряда являются виртуальные частицы, которые называются *дырками*. Дырки обладают положительным зарядом, по модулю равным заряду электронов.

Если полупроводники *p*- и *n*-типа сплавить так, чтобы между ними возникла резкая граница, то за счет взаимной диффузии электронов и дырок образуется электронно-дырочный переход. Такой переход обладает односторонней проводимостью и называется *полупроводниковым диодом*. По диоду проходит *прямой* электрический ток, когда на полупроводник *p*-типа подан положительный потенциал относительно полупроводника *n*-типа. Происходит это потому, что при таком *прямом напряжении* в направлении движения навстречу друг другу приходят основные носители заряда в обоих полупроводниках. При *обратном напряжении* электрический ток через диод мал, так как он обеспечивается неосновными носителями заряда, концентрация которых в полупроводниках невелика.

В области *p-n* переходы электроны, встречаясь с дырками, *рекомбинируют*, то есть становятся *связанными*. Но энергия связанного с атомом электрона меньше, чем свободной, поэтому при рекомбинации электронно-дырочных пар происходит выделение энергии в виде *фотонов*. Поток фотонов представляет собой электромагнитное излучение. В обычных диодах интенсивность этого излучения мала, так как оно поглощается веществом полупроводников.

Натурный компьютерный эксперимент: учебно-исследовательские проекты

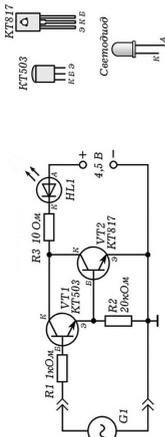


Рис. 1

Задание 1. Функциональная схема экспериментальной установки. Устрой идею электронного стробоскопа с компьютерным управлением, нарисуйте функциональную схему соответствующей установки и поясните назначение и принцип действия отдельных ее элементов.

Задание 2. Электронный усилитель. Разберитесь с назначением и принципом действия электронных компонентов усилителя (рис.1). Выясните, какие элементы называются эмиттером, базой и коллектором, для чего нужен резистор R3. Справа от принципиальной схемы показана штекерная использованная в приборе транзисторов и светодиода, с которой также следует разобраться.

Задание 3. Изготовление и наладка прибора. Разработайте конструктивно и технологично изготовления электронного стробоскопа и соберите прибор. Вход усилителя нужно снабдить проводами со штекером, обеспечивающим соединение с компьютером. Для этого штекер сначала разбираете, припаяйте провода длиной 15–20 см к его корпусу и к одному из центральных выводов и затем штекер соберите. На рис.2 подробно показано, как это нужно сделать. Концы проводов припаяйте к входу усилителя так, что бы его общая точка была соединена с корпусом штекера. Сфотографируйте отдельные этапы работы для презентации. Для светодиода предусмотрите длинные, тонкие многожильные провода.

Задание 4. Звуковой генератор. В интернете нетрудно найти простые программы, обеспечивающие на аудиовыходе напряжение, регулируемое по частоте и амплитуде¹. Скачай и загрузи

Рис. 2

3. Учебные проекты в натурном компьютерном эксперименте

подобную программу в компьютер, проведите ее тестирование. Для этого к одному из аудиовыходов ноутбука (рис.2) подключите звуковые колонки и запустите программу. Услышав звук, попробуйте изменить его частоту и громкость. Если на всех диапазонах все получается как надо, то программа звукового генератора пригодна для использования. Теперь отключите колонки и вместо них в один из аудиовыходов вставьте штекер входа изготовленного вами усилителя. Установите частоту сигнала в пределах 10–100 Гц и запустите компьютерный генератор. Включите питание усилителя и постепенно повышайте уровень выходного сигнала генератора. Если все нормально, то светодиод должен ярко гореть.

Задание 5. Исследование компьютерного стробоскопа. Изучите принципиальную схему датчика освещенности (рис.3). Методом вольного монтажа или на пластине картона соберите монтаж. Установите светодиод стробоскопа и фотоаод датчика освещенности друг против друга. Датчик освещенности подключите к компьютерному осциллографу. Зарисуйте функциональную схему собранной экспериментальной установки. Задавая частоту вспышек выводе датчика освещенности, возникающего на выходе датчика освещенности. Выясните, как изменяются осциллограммы освещенности при различных величинах переменного напряжения на светодиоде. Сопоставьте значения частоты вспышек светодиода, заданные звуковым генератором и вычисленные по осциллограмме.

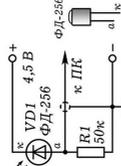


Рис. 3

Задание 6. Движение тела по окружности. Светодиод поместите внутрь прозрачного силиконового шарика. Приведите шарик в движение по окружности в вертикальной плоскости. Цифровым фотоаппаратом или Web-камерой сделайте стробоскопическую фотографию. По полученному изображению подтвердите справедливость закона сохранения энергии.

Задание 7. Свободное падение тела. Получите стробоскопическую фотографию шарика, совершавшего свободное падение. По изображению траектории с временными метками вычислите ускорение свободного падения.

Задание 8. Другие виды движения. Сделайте стробоскопические фотографии движения тела по параболе, движения груза при колебаниях натянутого маятника и других движений. Выясните, какие количественные оценки для этих движений можно получить по фотографиям.

Задание 9. Компьютерная презентация. Используя собранную и усвоенную информацию, принципиальные схемы и технологии изготовления приборов, теоретические объяснения, расчеты и выводы, результаты экспериментов и наблюдений, фотографии приборов, экспериментальных установок и опытов, подготовьте компьютерную презентацию выполненного проектного исследования.

¹ <http://genalgic.narod.ru/audio/generator.htm>; <http://www.maasoftware.ru/generator.htm>.

школьники в первую очередь изготавливают учебный физический прибор, осваивая новые для себя технологические операции.

Затем они изучают возможности ноутбука, который в наши дни является предметом повсеместного использования, в качестве физического прибора. При этом учащиеся узнают, что компьютер может быть использован для управления вспышками светодиода. Наконец, школьники осваивают метод стробоскопического наблюдения и фотографирования, получают стробоскопические фотографии и используют их для экспериментального исследования теоретически изученных на уроках физики механических движений.

Главное достоинство таких дидактических ресурсов, на наш взгляд, состоит в том, что даже начинающий учитель, имеющий небольшой опыт внеурочной работы со школьниками, получает возможность эффективно руководить полноценными учебными исследованиями. Чтобы убедиться в справедливости этого предположения, мы в 2013–2014 учебном году провели специальный педагогический эксперимент в школах г. Глазова. Студенты 5 курса в количестве 7 человек получили готовые ДРПД и в период педагогической практики организовали учебно-исследовательскую проектную деятельность 14 школьников, объединенных в 7 звеньев.

Ученические проекты были направлены на разработку натурального компьютерного эксперимента. В течение месяца работы учащиеся успешно выполнили следующие проекты: 1) Электронный стробоскоп с компьютерным управлением; 2) Как с помощью компьютера исследовать механическое движение; 3) Резонанс полезный и резонанс вредный; 4) Компьютерный измеритель температуры для модели гейзера; 5) Осциллограммы заряда и разряда конденсатора; 6) Датчик Холла в компьютерном тесламетре; 7) Как работают полупроводниковые выпрямители.

3.3.3. Дидактический ресурс в форме рабочей тетради. В ресурсе типа рабочей тетради определены содержание, объем и форма отчета исполнителя. Структура обсуждаемого ДРПД подробно рассмотрена нами в работе [11]. Такие ресурсы включают краткую информацию, необходимую для выполнения проекта, и примерно 12 заданий теоретического, опытно-конструкторского и исследовательского характера [10]. Один исследовательский проект оформляется на 8 страницах, собранных в книжечку из четырех листов формата А5. После формулировки каждого задания вставлены поля с клетками для записи школьниками результатов его выполнения. Следует подчеркнуть, что хотя школьники работают в звеньях из двух человек, но каждый из них имеет собственный ДРПД, в котором представляет полностью самостоятельный отчет о выполненном проекте.

Исследование 6 ПАРОРЕАКТИВНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ

Около 2000 лет назад Герон Александрийский изобрел *паровую турбину*. Один из вариантов этой турбины изображен на рис. 1. Вы видите котел с водой, под которым разведен огонь. Из крышки котла введены две трубы и введена в толстый металлический шар так, что шар может вращаться на них. Шар снабжен двумя соплами, расположенными по диаметру перпендикулярно оси вращения. Сопла направлены в противоположные стороны. Поэтому как только вода вскипает, из сопел вырываются струи пара, и шар приходит в быстрое вращение.

Примерно через 17 столетий Я. Сегнер изобрел *водяную турбину*. Подобно турбине Герона она имела два сопла, направленные в противоположные стороны. Сопла располагались в нижней части резервуара, который мог вращаться вокруг вертикальной оси. Когда резервуар заполнялся водой, она под гидростатическим давлением вытекала из сопел и приводила резервуар во вращение. Это устройство получило название *сегнерова колеса*.

В прежние времена для школьного кабинета физики выпускался специальный прибор, представляющий собой действующую модель сегнерова колеса (рис. 2). Вы видите, что этот прибор представляет собой довольно сложное устройство из металла, требующее для своего изготовления релюх для наших дней умений работы руками.

Задание 1. Модель сегнерова колеса. Прочумайте технологию изготовления следующих элементов (рис. 3): 1 — сопла полиэтиленовые короткие; 2 — пробки изолоновые; 3 — крышка с проволоочным держателем и подшипником из бусинки. Предложите, как с использованием этого оборудования и пластиковой бутылки, собрать модель водяного сегнерова колеса.

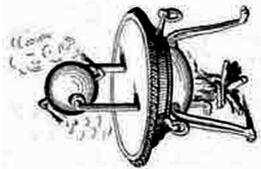


Рис. 1

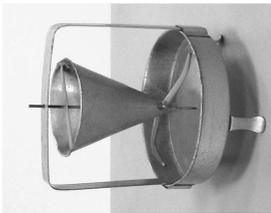


Рис. 2

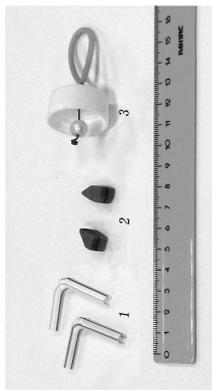
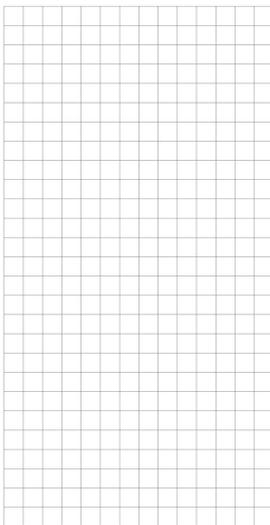


Рис. 3



Задание 2. Скорость вращения водяного сегнерова колеса. Исследуйте, от чего зависит скорость вращения водяного сегнерова колеса. Объясните полученные в эксперименте результаты.



Задание 3. Реакция вытекающей и втекающей струй. «Представьте себе, что на плоту находится сосуд с поршнем, заполненный водой, причем из бака выведена за борт труба (рис. 4). Если поршень опустить, из трубы выйдет струя воды, и плот, очевидно, начнет двигаться в направлении, противоположном направлению движения воды в струе.

А что произойдет, если поднять поршень так, чтобы струя воды вошла в сосуд? В порядке физико-психологического эксперимента этот вопрос задавался школьникам, учителям физики, преподавателям вузов. В большинстве случаев отвечающие были еднородными и говорили, что, конечно, плот начнет двигаться навстречу входящей по трубе в сосуд струе жидкости»¹).

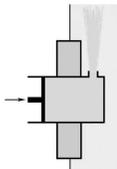


Рис. 4

Правильно ли это? Допустим, в вашем распоряжении имеются медицинский шприц, гибкий шланг и отрезок металлической или пластиковой трубки. Придумайте и поставьте опыт, позволяющий выяснить вопрос о реакции втекающей и вытекающей струй.



Задание 4. Воздушное сегнерово колесо. Продумайте технологию подготовки следующих элементов (рис. 5): 1 — шарик от пинг-понга с тремя отверстиями; 2 — сопла полиэтиленовые длинные; 3 — экраны задерживающие; 4 — наконечник полиэтиленовый; 5 — груша резиновая. Предложите, как с использованием этого оборудования собрать модель воздушного сегнерова колеса.

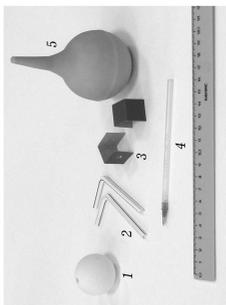
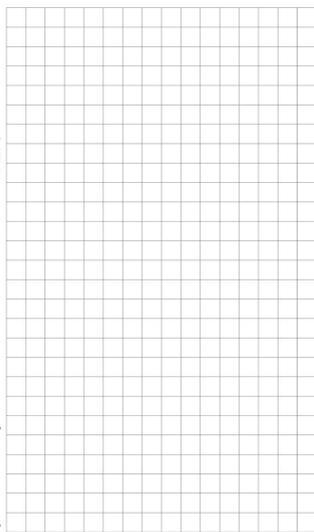


Рис. 5



Задание 5. Воздушное сегнерово колесо. Опишите, как собирается на работе воздушного сегнерова колеса реакция втекающей и вытекающей струй. Что доказывают результаты опыта, в котором на сопла надеты задерживающие экраны?



¹ Жуковский Н.Е. Собрание сочинений. Том 8. - М.-Л.: Гостехиздат, 1940. - 700 с.

Задание 6. Проект парореактивного сегнера колеса. Вы уже знаете, что такое паровая турбина, сегнерова колесо и реакция струи. Опираясь на эти знания, предложите устройство, состоящее из нагревателя, парового котла и двух сопел, которое, находясь на плавающем плоту, может непрерывно вращаться вокруг оси.

Задание 7. Модель парореактивного сегнера колеса. Используя небольшой пластиковый стакан, металлическую трубку специальной формы, свечу и сосуд с водой, соберите и исследуйте модель парореактивного сегнера колеса.

Задание 8. Известные модели парореактивных лодочек. Найдите в Интернете информацию о «pop-pop-лодочках»². Оцените их доступность, укажите недостатки. Выберите модели, пригодные для воспроизведения.

Задание 9. Парореактивная лодочка. На рис. 6 изображена фотография парореактивной лодочки, котел двигателя которой имеет прозрачную крышку. В конструкции использованы толстая алюминиевая фольга, поликарбонат, трубки для коктейля, герметик, изолон, изоленга, свеча. Разработайте технологию и изготовьте лодочку.

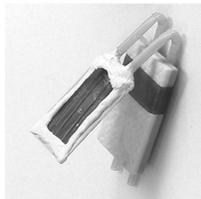


Рис. 6

² <http://www.phetproject.org/index.htm> Pop-Pop Boats
<http://www.scienceproject.org/boat/jasem/Carroll.html>
<http://www.ama.com/visasat/pop-pop/ultrabop.htm>

Дидактические ресурсы проектной деятельности, оформленные в виде рабочей тетради, в большей степени, чем другие, способствуют достижению целей обучения, поскольку требуют от школьника тщательного обдумывания и аккуратного оформления результатов выполнения заданий в строго ограниченном объеме. Пример такого дидактического ресурса [10] приведен на с. 59–62 в уменьшенном в два раза масштабе.

Педагогический эксперимент проводился в 2012–2013 учебном году совместно с аспирантом кафедры физики и дидактики физики ГГПИ М. Л. Исаковой. В нем приняли участие 18 студентов 5 курса — будущих учителей физики, которые организовали работу 32 учащихся в пяти школах города Глазова. В результате школьники, объединенные в 16 звеньев, в течение месяца работы успешно выполнили следующие проекты: 1) Гидравлические механизмы; 2) Поплавок Декарта; 3) Гидродинамический удар; 4) Разрушения при гидродинамическом ударе; 5) Физическая модель гейзера; 6) Парореактивный движитель; 7) Распад струи на капли; 8) Быстропротекающие процессы; 9) Явление кумуляции энергии; 10) Ультразвуковая кавитация.

Глава 4

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ФИЗИКЕ

Обеспечить выполнение ученического проекта, предусматривающего изготовление школьником относительно сложного учебного прибора, не просто. Как правило, учитель физики не имеет под руками станков и сколько-нибудь серьезных инструментов, часто в школе отсутствует учебная мастерская, а технические знания, умения и навыки учителя оставляют желать лучшего. Как в этих условиях добиться, чтобы приборы, изготовленные школьниками, заработали, доставив им искреннюю и глубокую радость? Что нужно сделать, чтобы опыты получились и учителю не пришлось потратить чрезмерно много нервов и времени на руководство проектами, испытывая негативные эмоции от неудач школьников?

Для исчерпывающих ответов на эти вопросы необходимо специальное исследование. В этой главе изложены лишь основные этапы подготовки учителя физики к руководству проектной деятельностью школьников, обеспечение материально-технических ресурсов ученических проектов, способы изготовления электронных приборов и методика организации проектной деятельности по физике. Предполагается, что основой технологии проектной деятельности являются дидактические образовательные ресурсы, содержание и структура которых рассмотрены в предыдущей главе.

4.1. Подготовка учителя физики к проектной деятельности

Технология подготовки учителя к руководству индивидуальными ученическими проектами по физике значительно выходит за рамки нашей монографии и представляет собой проблему отдельного исследования. Поэтому кратко обсудим лишь важнейшие этапы такой подготовки.

4.1.1. Подготовка учителя в педагогическом вузе. Успех проектной учебно-исследовательской деятельности учащихся полностью определяется уровнем экспериментальной подготовленности ее руководителя.

Однако современная реальность такова, что из учебных планов педагогических вузов фактически выдавливается блок предметных

дисциплин. Это выражается в первую очередь в существенном сокращении числа часов, выделяемых на аудиторные занятия по общей и теоретической физике. Основной упор при этом делается на самостоятельную внеурочную работу студентов, которая по определению носит чисто теоретический характер, а по факту является репродуктивной. Ставится задача не столько обучения, обеспечивающего приобретение знаний, умений и навыков, сколько формирования компетенций будущих выпускников.

Но на педагогические направления обучения поступают абитуриенты, не только не имеющие сколько-нибудь твердых знаний школьной физики, но и слабо владеющие математическим аппаратом школьного уровня, плохо знающие русский язык, с трудом излагающие вслух и письменно собственные мысли. В этих условиях для подготовки компетентного учителя физики необходимо значительное увеличение числа аудиторных занятий по предмету. Примерно в половине из них опытные преподаватели должны обеспечивать самостоятельную учебно-исследовательскую деятельность студентов в сфере учебной физики.

Тем не менее даже в условиях обучения, созданных в последние годы, в педагогических вузах может быть организована продуктивная деятельность студентов, направленная на формирование экспериментальной компетенции будущего учителя физики. Решению этой проблемы посвящен ряд наших работ [1, 2, 9, 13–19]. Возможности аудиторных и внеаудиторных занятий при соответствующем отношении профессорско-преподавательского коллектива кафедр в принципе позволяют студентам приобретать и совершенствовать умения, обеспечивающие выполнение учебного физического эксперимента школьного уровня. Например, в работе [9] раскрыты содержание и методика формирования экспериментальной подготовленности студентов в рамках учебной дисциплины «Общая и экспериментальная физика».

4.1.2. Подготовка учителя на курсах повышения квалификации. Учитывая современное состояние уровня обучения физике в массовой школе, в качестве главной цели курсов повышения квалификации следует поставить повышение уровня экспериментальной компетентности учителей физики как необходимое условие практической реализации основных положений ФГОС относительно проектной деятельности обучающихся в средней школе.

Специалисты, прошедшие курсы повышения квалификации, должны *уметь*:

1) выводить из общих положений ФГОС следствия, относящиеся к повышению качества физического образования в школе;

2) выполнять современный учебный физический эксперимент разного уровня: от домашних опытов на основе подручных мате-

риалов до относительно сложных экспериментов, требующих изготовления электронных устройств;

3) планировать проектную деятельность учащихся, осуществлять ее пошаговое моделирование, предвидеть и устранять трудности, которые могут возникнуть перед школьниками;

4) выполнять натурный компьютерный эксперимент с полной подготовкой экспериментальной установки, включающей изготовление датчиков физических величин, подключение устройства сопряжения, ввод и установку программного обеспечения;

5) организовывать урочную и внеурочную деятельность обучаемых, способствующую формированию их экспериментальной компетенции;

6) проектировать методику организации процесса научного познания учащихся при изучении различных вопросов и тем школьного курса физики.

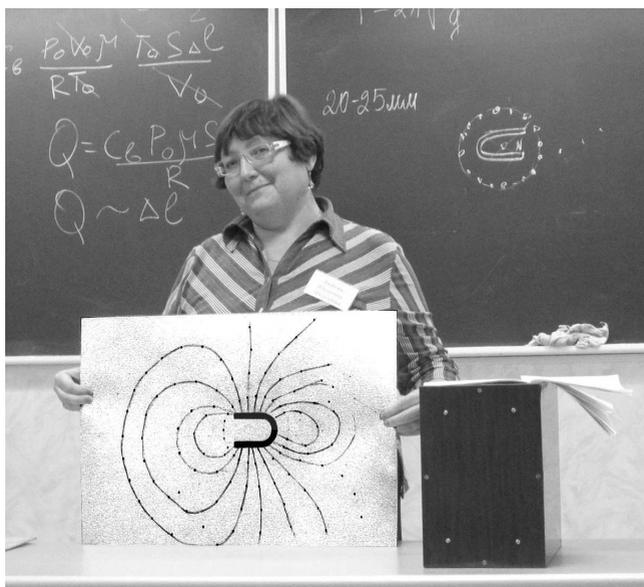


Рис. 4.1. Демонстрация учителем физики результатов работы на практическом занятии курсов повышения квалификации

Формирование перечисленных умений будет обеспечено, если программа курсов повышения квалификации включает три учебных модуля:

теоретический, раскрывающий технологию организации проектной деятельности обучающихся;

экспериментальный, обеспечивающий самостоятельное выполнение каждым слушателем курсов индивидуального проекта, посвященного учебному исследованию конкретного физического явления; *коммуникативный*, представляющий собой серию интерактивных занятий по результатам выполненных проектов.

Таким образом, на курсах фактически моделируется организация проектной деятельности школьников в области учебной физики.

Опыт проведения курсов повышения квалификации преподавателей физики средних и высших учебных заведений (рис. 4.1, 4.2) подтвердил возможность и целесообразность реализации представленного здесь подхода для подготовки учителей физики к организации проектной деятельности учащихся в школе.



Рис. 4.2. Демонстрация серии учебных опытов с упругими волнами, подготовленных одним из слушателей курсов повышения квалификации на практических занятиях

Разработанная нами программа курсов повышения квалификации рассчитана на 72 часа аудиторных занятий. Одной из важнейших задач этих курсов является развитие экспериментальной компетенции учителей физики. С этой целью слушателям предлагается выполнение учебно-исследовательских проектов, моделирующих проектную деятельность учащихся в школе.

В течение двух недель помимо активной работы на лекционных и семинарских занятиях каждый учитель самостоятельно изготавливает учебный прибор, выполняет с ним эксперимент, готовит презентацию и выступает с сообщением о завершённом проекте.

Например, участниками одной из групп проводимых авторами курсов были изготовлены следующие приборы и экспериментальные установки: 1) прибор для демонстрации движения центра масс; 2) стробоскоп на логической микросхеме; 3) стробоскоп на таймере; 4) индикатор интенсивности звука; 5) генератор звуковой частоты; 6) ультразвуковой генератор низкой частоты; 7) термоэлектрический измеритель температуры; 8) регулятор напряжения для снятия вольтамперных характеристик; 9) индикатор разности потенциалов; 10) гауссметр на датчике Холла; 11) измеритель электрического заряда; 12) прибор для определения энергии заряженного конденсатора; 13) пьезоэлектрический источник высокого напряжения; 14) автогенератор демонстрационный на транзисторе; 15) левитрон на датчике Холла; 16) модели световодов; 17) борный люминофор. С этими приборами во время выступлений были продемонстрированы и обсуждены десятки учебных экспериментов.

4.1.3. Самостоятельная подготовка учителя физики. Реальное положение дел в массовой школе характеризуется нехваткой учителей физики, их загруженностью бумажной работой, необходимостью подготовки учащихся к ЕГЭ, недостаточным количеством часов, выделяемых на изучение физики и, как следствие, отсутствием натурального эксперимента на школьных уроках. В этих условиях учитель должен иметь возможность самосовершенствования в области учебного физического эксперимента. Имеется только один действенный способ решения этой проблемы — выполнение учителем учебно-исследовательских проектов в процессе совместной деятельности с учащимися.

Но для этого нужны учебные материалы, позволяющие учителю физики без чрезмерных затрат времени освоить функции научного руководителя ученических проектов. Отсюда следует, что одной из приоритетных задач специалистов с сфере дидактики физики является разработка таких дидактических ресурсов проектной деятельности, которые представляют интерес для учителя и школьника и гарантируют им успешное получение планируемого результата.

Однако никто не в состоянии предусмотреть всего многообразия конкретных условий, в которых работает учитель. Поэтому готовые ДРПД, которых, кстати, далеко не достаточно, не всегда можно непосредственно использовать на практике. Кроме того, руководить исследованием, даже если оно учебное, чужой головой не удастся.

Учитель, выполняя функции научного руководителя школьника, должен детально продумывать содержание исследовательского проекта, его структуру, последовательность действий, то есть все то, о чем подробно написано в предшествующих главах. Такому продумыванию способствует готовый ДРПД, и если он соответствует

потребностям учителя и желаниям учащихся, то его, безусловно, нужно использовать.

В случае, если проблема, стоящая перед учителем, не решена или готовый ДРПД слишком сложен для школьников, необходима авторская разработка дидактического ресурса. В этой разработке и заключена суть самостоятельной подготовки учителя физики к руководству проектной деятельностью школьника. Создавая ДРПД, учитель фактически умозрительно выполняет проект и чем тщательнее он это делает, тем более эффективной окажется реальная проектная деятельность школьника. Эта деятельность исполнителя, бесспорно, носит творческий характер, так как она нацелена на проверку предположений и надежд научного руководителя.

4.2. Подготовка материально-технических ресурсов

Эффективность проектной деятельности, помимо достаточной экспериментальной подготовленности учителя физики, определяется оптимальной организацией труда школьников. Опыт руководства процессом изготовления электронных и других физических приборов, когда одновременно работают 10–20 учащихся, позволяет предложить некоторые рекомендации.

4.2.1. Рабочее место исполнителя проекта. Рабочее место для выполнения проекта должно быть таким, чтобы его можно было быстро подготовить на любом столе и затем быстро убрать до следующего занятия. Эти требования будут удовлетворены, если все материалы и инструменты, необходимые для данного проекта, сосредоточены в прозрачных емкостях с этикетками.

В качестве таких емкостей удобно использовать стаканы высотой 15–20 см, изготовленные из пластиковых бутылок объемом 1,5–2,0 л. В пластиковые емкости набирают необходимые радиодетали: резисторы, конденсаторы, диоды, микросхемы, панельки под микросхемы, провода, разъемы и другие элементы, перечень которых понятен из принципиальной схемы изготавливаемого прибора. Туда же помещают вырезанную из одностороннего фольгированного стеклотекстолита плату нужного размера. Кроме перечисленного, в емкость вводят этикетку из плотной бумаги с указанием названия проекта и его исполнителей.

В такой же емкости нужно подготовить необходимые для индивидуального проекта инструменты: нож, ножницы, пинцет, кусачки, плоскогубцы (рис. 4.3). В отдельную пластиковую емкость помещают паяльник на 36 В, подставку для него, оловянно-свинцовый припой и канифоль в качестве флюса. Кроме того, на всех учащихся нужен общий набор материалов, инструментов и приборов:



Рис. 4.3. Удобный способ хранения и подготовки к работе инструментов, материалов и изготовленных школьниками приборов

изолянта, шило, мультиметр, надфили, напильники, запасные провода. Если рабочие места создаются в классе, то дополнительно нужно предусмотреть защитные покрытия на поверхности столов (рис. 4.4). Поработав, школьники складывают свой будущий прибор и относящиеся к нему изготовленные ими компоненты обратно в тот же пластиковый сосуд. В нем удобно хранить впоследствии и готовый прибор.



Рис. 4.4. Работа группы школьников по изготовлению электронных приборов

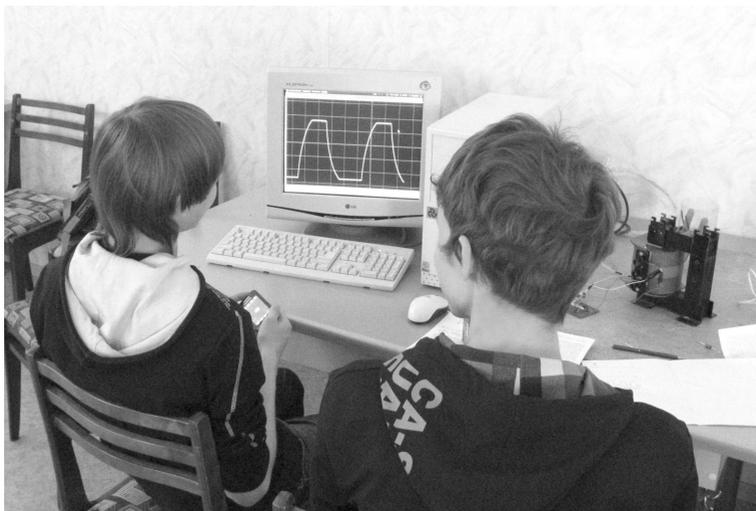


Рис. 4.5. Выполнение учебного физического эксперимента звеном школьников



Рис. 4.6. Выполнение записей по исследовательскому проекту

По мере готовности приборов с рабочих мест убирают инструменты и паяльные принадлежности. Вместо них выставляют необходимые для экспериментальных исследований приборы и другое оборудование. Учащиеся на своих местах выполняют эксперименты и оформляют полученные результаты.

В отдельных случаях специфика учебного физического эксперимента требует особых условий: затемнения, доступа к воде, необходимости проветривания, наличия персонального компьютера с нестандартным программным обеспечением и т. д. Возможность создания таких условий должна быть предусмотрена заранее, чтобы их реализация не отнимала слишком много сил и времени.

На фотографии (рис. 4.5) школьники выполняют натурный компьютерный эксперимент по исследованию явления самоиндукции. Рабочее место предусматривает возможность ведения записей, описания выполненных опытов (рис. 4.6).

4.2.2. Компьютеризированное рабочее место. На отдельном столе необходимо иметь подключенный к Интернету компьютер, сканер и лазерный принтер. Выход в Интернет позволяет учащимся оперативно получать информацию, относящуюся к выполняемым проектам. Используя сканер, они имеют возможность вводить в компьютер текстовую, графическую и фотографическую информацию, распознавать и обрабатывать ее. Лазерный принтер обеспечивает распечатку материалов для ученических проектов. На компьютеризированном рабочем месте школьники делают заготовки презентации, получают необходимые консультации, показывают и обсуждают с учителем окончательный вариант презентации, подготовленный в домашних условиях на ноутбуках.



Рис. 4.7. Разработка монтажной платы электронного прибора

Кроме того, это рабочее место используется для разработки печатных плат посредством свободно распространяемой программы

Sprint-Layout. На рис. 4.7 показан процесс создания рисунка проводящих дорожек печатной платы школьниками, выполняющими проектное исследование, связанное с изготовлением электронного прибора.

4.2.3. Рабочее место для травления печатной платы. Отдельное, одно на всех учащихся, рабочее место должно быть отведено для травления печатных плат. Его нужно оборудовать в помещении, где имеется водопроводный кран. На одном из столов нужно расположить электроплитку с закрытой спиралью, электрический утюг, деревянную дощечку с ровной поверхностью, несколько листов чистой газетной писчей бумаги, чистую сухую тряпочку. Второй стол желателен покрыть защитным клеенчатым покрытием и подготовить на нем мелкую шкурку-нулевку, стиральный порошок, перманентный черный маркер, стеклянный химический стакан для раствора хлорного железа, стеклянную трубку для покачивания платы в растворе, небольшую плоскую кювету для травления, хлорное железо, спирт, ацетон, вату. Напомним, что все оборудование для выполнения ученических проектов должно храниться в прозрачных контейнерах, которые можно быстро выставить на столы и убрать в шкафы по окончании работы.



Рис. 4.8. Подготовка платы для травления, выполняемая школьниками в учебной лаборатории

На фотографии (рис. 4.8) школьники подготавливают пластинку фольгированного стеклотекстолита к травлению для получения печатной платы электронного устройства.

4.3. Способы изготовления электронных приборов

Практика показывает, что проекты, в которых необходимо изготовление электронного прибора, вызывают наиболее глубокой и устойчивый интерес школьников. От правильности сборки и надежности электронного прибора зависит успешность его применения в опытах и в целом результативность проекта. К сожалению, у большинства учителей физики не сформированы умения изготовления и налаживания простых электронных приборов. Но эти умения вполне могут быть приобретены самостоятельно в совместной проектной деятельности с учащимися. Надежность современной элементной базы настолько велика, что при правильной сборке электронный прибор начинает работать сразу, без дополнительного налаживания. Следовательно, главное, что требуется от учителя, — это обеспечить быструю и безошибочную сборку прибора в точном соответствии с его принципиальной схемой.

4.3.1. Подбор радиодеталей. Современные радиодетали настолько миниатюрны, что их производителям приходится использовать специальную маркировку. С ней можно познакомиться на сайтах, посвященных, например, цветовой маркировке резисторов¹⁾. Изучение этой маркировки, а тем более запоминание ее не имеет никакого смысла ни для учащихся, ни для учителя. Поэтому лучше всего и тем и другим научиться самостоятельно определять номиналы радиодеталей.

С этой целью удобно использовать мультиметр, например типа DT9208A, который позволяет измерять напряжение, силу тока, частоту, сопротивление, емкость, температуру, коэффициенты усиления транзисторов $p-n-p$ и $n-p-n$ типа (рис. 4.9).

При комплектации радиодетальями будущего прибора вначале подбирают все резисторы, измеряя их сопротивление мультиметром. На конденсаторах сравнительно больших размеров обычно указаны значения их емкостей. Иногда на конденсаторе обозначен номинал с единицами измерения (например, $3n3$ — $3,3$ нФ, $0,015$ мк — $0,015$ мкФ). Чаще в продаже встречаются конденсаторы, на которых указана емкость в пикофарадах: если на конденсаторе написано, например, «102», то его емкость составляет $10 \cdot 10^2$ пФ, «223» — это $22 \cdot 10^3$ пФ, полезно помнить, что 1000 пФ = 1 нФ, 1000 нФ = 1 мкФ. Тем не менее, желательно измерение емкостей конденсаторов мультиметром, так как нередки случаи значительного расхождения действительной емкости с обозначенным на корпусе конденсатора значением.

¹⁾ http://beam-robot.ru/electronics_for_beginners/resistor-color-code.php

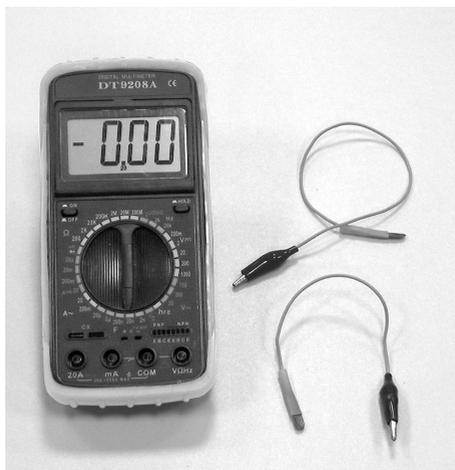


Рис. 4.9. Универсальный мультиметр и самодельные выводы для подключения к нему конденсаторов, емкость которых требуется измерить

Прямое направление диодов определяют, измеряя их сопротивление в ту и другую сторону. При этом нужно учитывать, что в режиме измерения сопротивлений мультиметр является источником тока, отрицательным полюсом которого является гнездо СОМ.

Для транзисторов по справочникам необходимо определить цолевку, то есть установить, на какие ножки выведены эмиттер, база и коллектор биполярного транзистора или исток, затвор и сток полевого.

Микросхемы собираются в различных корпусах, но на любом из них точкой или иным способом обозначен ключ, от которого по часовой стрелке идет отсчет ножек, если смотреть на микросхему с их стороны. Для микросхем следует приобрести специальные панельки, к выводам которых и припаиваются радиодетали.

Имеет смысл посоветовать школьникам ознакомиться с параметрами, характеристиками и типовыми схемами включения транзисторов и микросхем по найденным в Интернете их *Datasheet*.

4.3.2. Способ навесного монтажа. Навесным называется такой монтаж учебного электронного прибора, при котором детали соединяются выводами непосредственно друг с другом с помощью оловянно-свинцового припоя без применения какой-либо платы. На рис. 4.10 в качестве примера показаны принципиальная схема и готовый ультразвуковой генератор, собранный способом навесного монтажа.

Этот способ целесообразно использовать, когда детали крупные, их немного и выводы деталей жесткие и прочные. При изготовлении учебного прибора способом навесного монтажа, как и любым

другим, нужно стремиться, чтобы расположение деталей примерно соответствовало положению их условных обозначений на принципиальной схеме. Это облегчает проверку правильности сборки прибора, поиск неисправности, наладку и повышает дидактические возможности прибора.

Сборку прибора способом навесного монтажа осуществляют в такой последовательности.

1. *Подготавливают радиодетали.* Если детали паяные, плоскогубцами или пинцетом выпрямляют их выводы. Ножом зачищают от оксидной пленки концы выводов деталей длиной 3–5 мм.

2. *Облуживают выводы деталей.* Нагревают паяльник. Приложив покрытое припоем жало паяльника к зачищенному выводу детали, погружают вывод в канифоль. Покрывают зачищенную часть вывода детали *тонким, ровным* слоем оловянно-свинцового припоя. При пайке нельзя перегревать детали, особенно полупроводниковые, так как они могут прийти в негодность. Чтобы не допустить перегрева, деталь держат пинцетом за ту часть вывода, которая находится между корпусом детали и зачищенным концом.

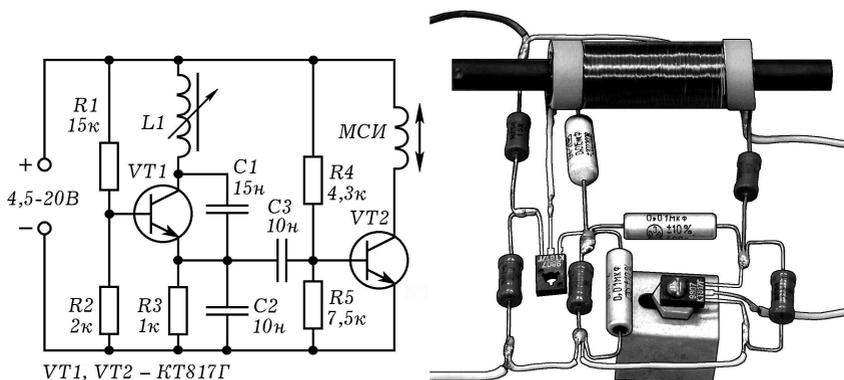


Рис. 4.10. Способ навесного монтажа: принципиальная схема и собранный в соответствии с ней ультразвуковой генератор

3. *Соединяют выводы деталей пайкой.* Прижимают друг к другу соединяемые облуженные выводы деталей. Жалом паяльника прикасаются к кусочку припоя, потом к канифоли и затем к месту соединения. Прикоснувшись к соединяемым выводам, прогревают место пайки так, чтобы припой пропитал пространство между выводами. Удаляют жало паяльника и дуют на место пайки для более быстрой кристаллизации припоя.

Если пайка неровная, это свидетельствует о недостатке канифоли. Погружают жало паяльника в канифоль и повторяют действия. Не надо размазывать припой по выводам деталей, нужно расплавить

его, держа жало паяльника в одном месте, и дождаться, когда припой растечется сам.

При соединении трех или более выводов, а также в том случае, если к данной точке впоследствии будет припаиваться что-то еще, выводы можно предварительно сложить вместе и обмотать тонким проводом, который заранее необходимо зачистить (снять ножом изоляцию) и облудить. Пайка должна получиться гладкая, блестящая, без острых выступов и проплешин.

Особенно тщательно припаивают провода, идущие к входу, к нагрузке и к источнику питания устройства, поскольку их соединения с прибором часто деформируются и могут нарушиться в самый ответственный момент. Для выводов прибора используют тонкие гибкие многожильные провода в полихлорвиниловой или фторопластовой изоляции толщиной 0,5–1,5 мм.

Провода, идущие к источнику питания, целесообразно делать разного цвета: плюс — красный, минус — белый. Если источник питания двуполярный, то третий общий провод нужно брать другого цвета, например синий или черный.

Перед пайкой конец провода очищают от изоляции. Для этого на расстоянии 3–5 мм от торца провода в изоляции делают неглубокий круговой надрез ножом. Этот надрез не должен доставать до проводящих жил провода. Кусочек изоляции ножом аккуратно удаляют. Убеждаются, что жилы провода не повреждены. В противном случае удаляют испорченный конец провода и повторяют операцию. Облуживают выступающую из изоляции часть провода, не повредив изоляцию. Припаивают провод в нужное место устройства. Пока пайка не остыла и изоляция размягчена, ее можно попытаться натянуть на оголенную часть провода.

4.3.3. Способ картонной платы. Изготовление картонной платы предпочтительно в том случае, когда электронный прибор собирают начинающие экспериментаторы. Помимо простоты и доступности использования этот способ повышает дидактические качества прибора: в демонстрационных и лабораторных опытах школьники видят принципиальную схему, электронные детали, их расположение и монтаж.

Приборы, в которых задействовано относительно высокое напряжение, также лучше собирать на картоне или навесным монтажом. Однако, если прибор содержит детали с мелкими выводами, например микросхемы, собирать его на плате из картона нецелесообразно, поскольку школьники, только лишь осваивая пайку, не сумеют обеспечить достаточную надежность прибора.

При сборке прибора на картонной плате действуют следующим образом. Подбирают плотный ровный картон толщиной около 0,5 мм. На белом листе писчей бумаги рисуют принципиальную

схему прибора. Ее размер, а также размеры схематических изображений отдельных элементов и их обозначения нужно сделать такими, чтобы размещенные на плате детали не закрывали их. Добиться этого можно, если сначала нарисовать схему на черновике, разложить на ней детали и проверить рациональность их расположения. Начисто схему можно нарисовать яркой черной пастой. Поля вокруг схемы должны быть не менее 10 мм. Можно заключить схему в прямоугольную рамку, ограничивающую будущую плату, тогда линии рамки не должны быть слишком близки к краям листа.

Еще лучше изобразить принципиальную схему в подходящем графическом редакторе компьютера и затем распечатать на лазерном принтере. Далее в том же графическом редакторе схему нужно отразить зеркально и также распечатать.

Заднюю сторону листа с изображенной принципиальной схемой равномерно кистью покрывают тонким слоем клея ПВА и дают бумаге пропитаться несколько секунд. Затем аккуратно накладывают ее на гладкую поверхность картона и чистой сухой тряпочкой разравнивают. Если клей наносить не на бумагу, а на картон, то поверхность бумаги будет морщинить, так как бумага, пропитываясь клеем, немножко растягивается. Быстро таким же способом на противоположную поверхность картона приклеивают отображенную зеркально схему (или просто чистую бумагу). Если этого не сделать, картон выгнется, и плата не будет плоской. Несколько слоев тонкой газетной бумаги кладут снизу под получившуюся заготовку платы, несколько сверху, и все это помещают на сутки под пресс.

Подготавливают канцелярский нож, стальную линейку, пластиковую подложку для резания. Располагают плату на подложке лицевой стороной вверх. Наложив линейку вдоль края будущей платы с ее внутренней стороны, располагают нож так, чтобы его плоскость была перпендикулярна плоскости картона, а угол атаки равнялся примерно 30–45°. Плотной прижимая линейку одной рукой, другой обхватывают нож так, чтобы указательный палец прижимал лезвие. Независимо от размера платы, рез делают от одного края картона до другого. Повторяют движение до тех пор, пока картон не будет полностью разрезан.

Выводы деталей выпрямляют и загибают пинцетом под прямым углом. От корпуса детали до места сгиба должен оставаться промежуток не меньше 2–3 мм. Изгиб выводов нужно производить так, чтобы номиналы радиодеталей оказались сверху.

Карандашом намечают места для отверстий под выводы деталей. Помещают плату на деревянную подложку и тонким шилом протыкают отверстия. Размер отверстий должен быть таким, чтобы выводы деталей плотно крепились в них.

После этого выводы деталей зачищают, облуживают и вставляют в предназначенные для них отверстия. С изнаночной стороны

платы выводы загибают так, чтобы они были прижаты к ее поверхности. Гибкие провода сначала продевают в отверстия и лишь затем зачищают от изоляции и облуживают.

Для крепления переменного резистора в плате сверлят аккуратное отверстие нужного диаметра и с помощью гайки закрепляют в нем резистор так, чтобы регулировочная ручка оказалась на лицевой стороне платы.

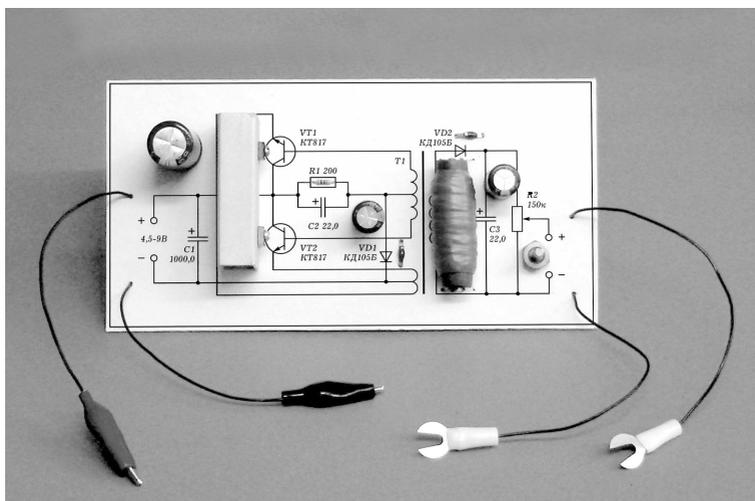


Рис. 4.11. Способ картонной платы: преобразователь постоянного напряжения

Чтобы при пайке не загрязнить плату, под место соединения выводов деталей подкладывают кусочек бумаги. Затем разогревают место соединения паяльником и на мгновение прикасаются к нему кусочком канифоли так, чтобы немного канифоли осталось на выводах. После этого жалом паяльника наносят на место соединения небольшую каплю припоя, прогревая это место в течение нескольких секунд, пока оно не покроется расплавленным припоем. Отведя паяльник в сторону, охлаждают спай и убирают защитный кусочек бумаги. Если выводы деталей расположены далеко друг от друга, соединение их осуществляют тонким многожильным проводом.

На рис. 4.11 показан преобразователь постоянного напряжения, собранный описанным способом.

4.3.4. Способ печатной платы с поверхностным монтажом. Поверхностный монтаж на печатной плате целесообразен в случае, если прибор содержит транзисторы, микросхемы и другие мелкие детали, когда нужно достичь максимальной надежности даже ценой уменьшения наглядности прибора. Существует несколько техноло-

гий изготовления печатных плат, мы рассмотрим наиболее простую и проверенную на собственном опыте.

Сначала разрабатывают монтажную схему. Подобрать радиодетали, раскладывают их в том же порядке, в каком нарисована принципиальная схема электронного устройства и, карандашом наметив проводники монтажной схемы, определяют размер будущей печатной платы.

Включают компьютер и запускают программу *Sprint-Layout 5.0*. На рабочем поле определяют место расположения панельки для микросхемы. Открывают библиотеку готовых элементов: *Опции/Библиотека*, в ней выбирают панельку с нужным числом выводов $PCB \rightarrow SMD \rightarrow SMD - DIL \rightarrow DIP - 8.LMK$ (например, 8 выводов) и помещают ее на рабочее поле. Пользуясь инструментарием программы, например инструментом *Проводник*, рисуют проводящие дорожки будущей печатной платы (рис. 4.12а). Дорожки нельзя делать слишком узкими, лучше, если их минимальная ширина будет не меньше 1,6 мм. Надежность платы тем выше, чем шире предназначенные для пайки радиодеталей медные дорожки. Промежутки между соседними проводящими дорожками не должны быть меньше 1 мм. В этой же программе дорожки закрашивают черным цветом, убирают вспомогательные контуры электронных элементов, рисунок отражают зеркально и лазерным принтером распечатывают на глянцевой бумаге.

Медную поверхность вырезанной из фольгированного гетинакса или стеклотекстолита платы мелкой шкуркой-нулевкой тщательно очищают от оксидной пленки, протирают влажным стиральным порошком и промывают проточной водой. Обработку шкуркой желательно производить вдоль одного направления, чтобы поверхность медной фольги не была хаотически исцарапана абразивом. От этого зависит качество перевода рисунка монтажной схемы. Но нельзя и перестараться, иначе медный слой истончится, и во время пайки дорожки будут перегреваться и отслаиваться от гетинакса.

Рисунок накладывают на подготовленную поверхность платы и через тонкую бумажную прокладку (серую писчую бумагу) проглаживают горячим утюгом 1–2 минуты. Быстрым движением, не дожидаясь охлаждения, снимают глянцевую бумагу с омедненной поверхности, придерживая плату через сухую ткань. Оставшийся на плате рисунок после ее охлаждения при необходимости подправляют черным маркером *Permanent*.

Травление платы производят в водном растворе хлорного железа. Приобрести его можно в радиомагазине, оптимальная концентрация раствора указана на упаковке. Если хлорное железо сухое, то при его растворении в холодной воде раствор нагревается. Тогда раствор не нуждается в дополнительном нагревании. Но если хлорное желе-

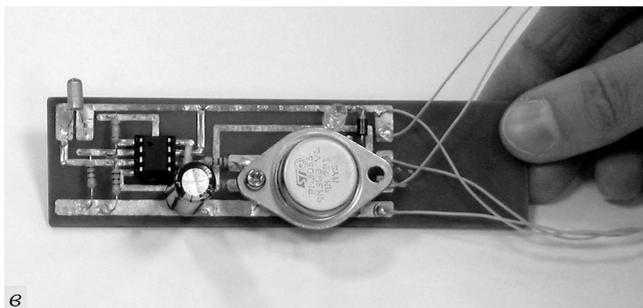
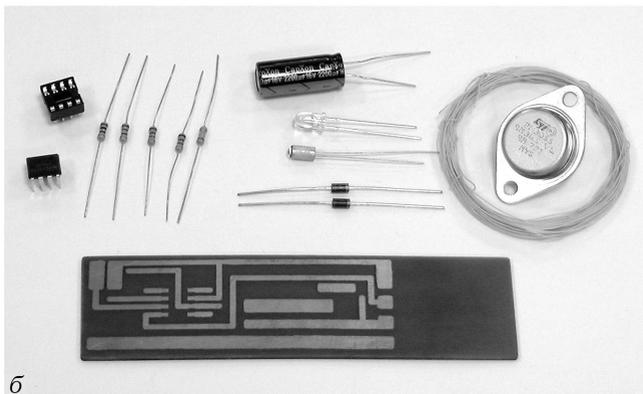
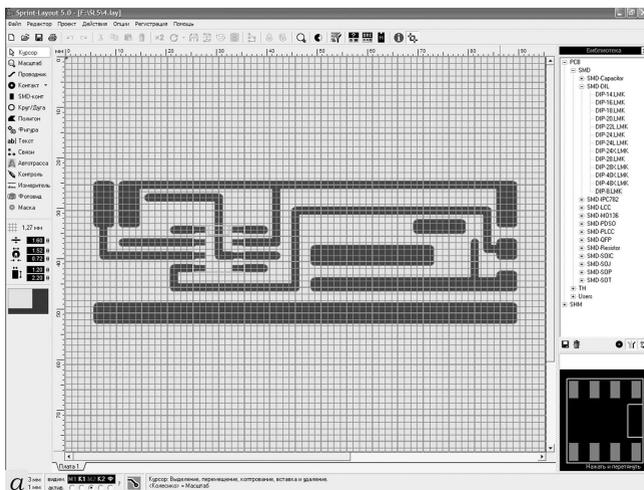


Рис. 4.12. Способ печатной платы с поверхностным монтажом: а — создание монтажной схемы в специальной компьютерной программе; б — радиоэлементы и подготовленная к монтажу плата; в — готовый прибор

зо влажное, то раствор получается холодным, и его нужно немного нагреть на электроплитке. Это ускорит процесс травления.

Протравленную плату промывают в проточной воде, высушивают и удаляют с нее следы маркера ватой, смоченной спиртом, а черную краску принтера — ацетоном. Весь процесс изготовления платы неопытным экспериментатором занимает не более двух часов.

Медные дорожки платы облуживают. Для этого в руку берут кусочек канифоли, одновременно касаются медной дорожки платы облуженным жалом паяльника и кусочком канифоли так, чтобы канифоль расплавилась и образовала небольшую лужицу возле жала паяльника. Используя эту канифоль, ровным слоем наносят оловянно-свинцовый припой на дорожки платы. Необходимо следить за тем, чтобы дорожки не перегревались и не отклеивались от платы. В то же время дорожки должны прогреваться настолько, чтобы припой равномерно распределялся по поверхности меди.

Как было описано выше, выводы деталей распрямляют, их концы зачищают и облуживают. *Пайку начинают с панелек для микросхем*, выводы которых зачищают и облуживают особенно тщательно. Концы выводов панелек длиной 2–3 мм отгибают под прямым углом и прижимают к облуженной дорожке платы, держа пинцетом выше сгиба. Облуженным жалом паяльника прикасаются к месту соединения вывода и дорожки. Не совершая размазывающих припой движений, ждут несколько секунд, пока место соединения прогреется, и припой пропитает промежуток между дорожкой и выводом панельки. Убирают паяльник и охлаждают припой. Если место пайки гладкое и блестящее и щель между выводом и дорожкой отсутствует, то пайка удалась. Тем же способом припаивают к плате остальные детали устройства, размещая их номиналами вверх.

На рис. 4.12б приведена фотография электронных элементов устройства и изготовленной описанным способом платы. Полностью готовое электронное устройство показано на рис. 4.12в.

4.3.5. Включение и налаживание электронного прибора.

Чтобы облегчить поиск ошибок сборки и наладку приборов, нужно для себя установить определенные правила и строго их выполнять, а также приучить к этому школьников. Например, как уже говорилось, провода, соединяющие прибор с источником питания, всегда делать определенного цвета: провод, идущий к плюсу источника — всегда красный, к минусу — белый, и снабжать их красным и белым зажимами типа крокодил. Если питание прибора двуполярное, то общий провод должен быть любого другого цвета.

Точно так же нужно выбрать определенные выводы разъема для подключения питания, например центральный вывод разъема — общий, левый крайний — минус, правый крайний — плюс (рис. 4.13).

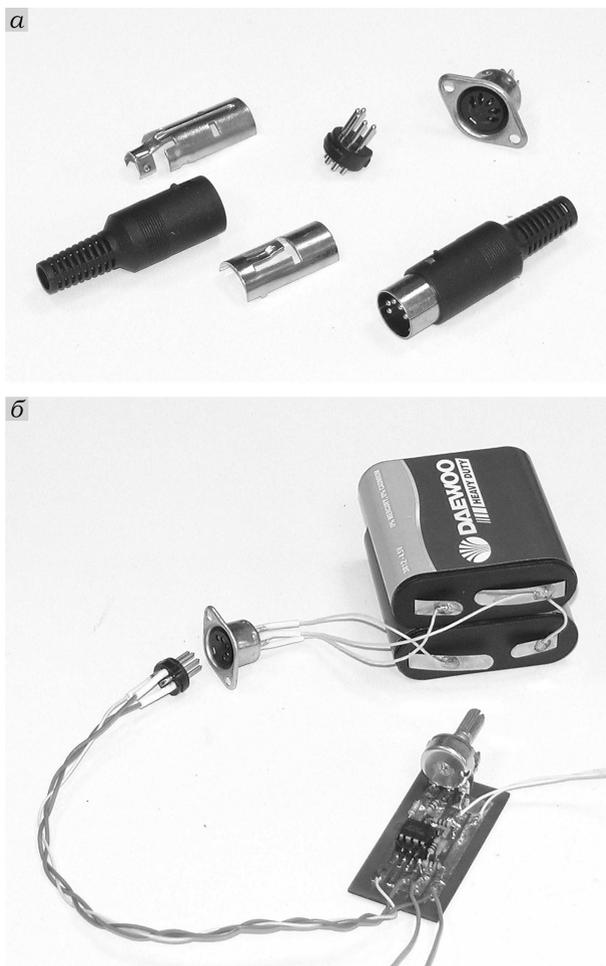


Рис. 4.13. Соединение электронного прибора с источником питания посредством разъема: *а* — внешний вид разъема в разобранном и собранном виде; *б* — штекер разъема соединен с прибором, гнездо — с батареей гальванических элементов

Проверяя электронный прибор, сначала убеждаются, что указанные выше правила выполнены. Затем сверяют собранный прибор с принципиальной схемой, держа перед глазами цоколевки используемых деталей. Микросхемы вставляют в панельки.

Включают питание прибора при минимальном напряжении, указанном на схеме. Сначала прибор подключают к отрицательному полюсу источника, затем — к положительному. Источник двуполярного питания подключают к прибору сразу с помощью соответ-

ствующего разъема. Если при первом включении питания прибор сразу заработал, то проверяют его параметры и регулировки, чтобы убедиться, что его реальные характеристики соответствуют ожидаемым.

Если прибор не заработал, его отключают от источника, еще раз проверяют правильность сборки по принципиальной схеме — нет ли ошибки в соединении деталей, не перепутана ли цоколевка транзисторов и микросхем, нужных ли номиналов использованы детали. Затем проверяют качество изготовления — не замыкаются ли дорожки за счет неаккуратной пайки там, где не должно быть контакта, надежно ли припаяны детали и провода.

Обычно начинающему руководителю проектов трудно самостоятельно наладить неработающий прибор. Совершенно естественно, что эти умения приходят только с опытом, поэтому дидактический ресурс должен содержать как можно более точное описание процесса изготовления и наладки прибора.

Рекомендации этого параграфа совсем не обязательны для воспроизведения, но авторы, изготовив сотни приборов вместе с школьниками и студентами, не советуют пренебрегать ими. По представленным технологиям успешно собирали довольно сложные электронные приборы люди, впервые взявшие в руки паяльник. Нужно показать учащимся, как выполнять то или иное действие, добиться максимальной сосредоточенности, безошибочности и аккуратности в работе — тогда успех обеспечен. Ничто так не вдохновляет школьника, как работающий электронный прибор, который собран собственными руками!

4.4. Методика организации проектной деятельности

В методологии под организацией понимают процесс, состоящий из действий, приводящих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого [74, с. 22]. Проектную деятельность школьников организует учитель. Основная функция учителя заключается в том, чтобы отдельные ученические проекты были оптимальным образом взаимосвязаны и вместе составляли единое целое.

4.4.1. Элементы технологии проектной деятельности. Определяющими факторами деятельности учителя являются общее число ученических проектов, которыми он руководит, количество исполнителей конкретного проекта и время, необходимое для его выполнения.

Проектная деятельность носит индивидуальный характер и осуществляется в школьном коллективе. Поэтому целесообразно для выполнения каждого проекта создавать минимально возможный

коллектив, то есть группу или звено из двух человек. В звене учащиеся вместе изготавливают приборы и выполняют экспериментальные исследования, но каждый строго индивидуально описывает полученные результаты, делает выводы, готовит выступление и несет полную ответственность за весь проект в целом.

Учитывая психологические особенности и возможности учащихся старших классов, на выполнение одного проекта следует выделять не более одного месяца. В таком случае, как уже говорилось, общее время, затраченное учащимися на непосредственную работу в школьном кабинете физики, составляет примерно 24 часа. Если по плану школы проектная деятельность должна осуществляться в течение учебного года, то для каждого учащегося эту деятельность следует разбить на несколько законченных проектов, которые могут быть связаны общей идеей или совершенно независимы.

Возможны по крайней мере два способа реализации исследовательских проектов по физике. Первый, который может быть назван *последовательным*, заключается в том, что все проекты выполняются школьниками один за другим в течение учебного года. *Параллельный* способ состоит в том, что все проекты выполняются одновременно и завершаются в течение одного-двух месяцев. Выбор способа проектной деятельности определяется возможностями учителя и конкретными условиями его работы.

Но в любом случае деятельность учащихся должна быть организована так, чтобы каждый из них получил достаточно полное представление о всех выполненных творческим коллективом проектах. При параллельном выполнении проектов всеми участниками в одной лаборатории обмен информацией осуществляется естественным образом. Последовательное выполнение проектов предполагает возможность ознакомления исполнителей с содержанием работы всего коллектива по выступлениям их товарищей и по дидактическим ресурсам проектной деятельности. Например, во всех исследовательских проектах используется одна и та же технология изготовления печатных плат, поэтому школьники должны ознакомиться с этой технологией по тому ресурсу, в котором она описана.

Принципиально важным является организация продуктивной деятельности учащихся на занятиях по выполнению проектов. Каждый школьник на каждом занятии должен ощущать, что он заметно продвигается вперед в выполнении проекта. В конце каждого занятия у него должен получаться практически значимый результат, который достигнут собственными усилиями, является воплощением вновь приобретенных знаний и умений и который с гордостью можно показать друзьям, родителям, учителям. Этого можно добиться только при условии использования в проектной деятельности заранее разработанных дидактических ресурсов.

В таком случае возможна опробованная на практике следующая серия двухчасовых занятий в школьном кабинете физики, приводящая к полному завершению ученического проекта: 1) техника безопасности, проблема и задачи проекта; 2) подбор радиодеталей, разработка монтажной схемы; 3) разводка монтажной платы прибора на компьютере; 4) изготовление печатной платы методом травления; 5) сборка электронного прибора методом пайки; 6) проверка, налаживание и тестирование прибора; 7) выполнение учебного физического эксперимента; 8) учебное исследование физических явлений; 9) анализ и оформление результатов проекта; 10) подготовка демонстрационных опытов; 11) подготовка и обсуждение компьютерной презентации; 12) репетиция выступления с демонстрацией опытов и презентацией.

Все остальное, а именно поиск информации, освоение учебной теории, изучение принципиальной схемы прибора, вычисления, описания и т. д., учащиеся делают самостоятельно у себя дома, в библиотеке, компьютерном классе.

Одним из сильнейших стимулов стремления к результативности работы является рекомендация школьникам фотографировать на мобильные телефоны или фотоаппараты все промежуточные результаты своей деятельности. Эти фотографии затем демонстрируются и обсуждаются дома с родителями и сверстниками. Они совершенно незаменимы при подготовке докладов, сопровождающихся презентациями.

4.4.2. Основные положения техники безопасности. Главным условием выполнения проектных исследований по физике является строгое соблюдение правил техники безопасности. Эти правила должны быть усвоены учащимися в такой степени, чтобы выполнение их было совершенно естественным и не требовало ежеминутного контроля за каждым шагом школьников со стороны учителя.

Цель техники безопасности — сохранение здоровья и жизни человека, а также обеспечение сохранности материальных ценностей, к которым относятся, в частности, физические приборы и иное оборудование.

Чтобы учащиеся осознанно соблюдали требования техники безопасности, они должны:

1) понимать сущность поражающих факторов, знать меры предосторожности и уметь оказывать первую помощь пострадавшим;

2) испытывать страх от возможного воздействия на собственный организм поражающих факторов;

3) соблюдать строгую дисциплину, находясь в кабинете физики или учебной лаборатории.

Классификацию поражающих факторов лучше провести и учащимся легче запомнить по разделам школьного курса физики: механические, тепловые, электрические, оптические и квантовые, и к ним добавить еще химические. Меры предосторожности при работе в лаборатории и способы оказания первой помощи хорошо известны учителю, поэтому обсуждение их здесь излишне.

Практика показывает, что как только школьник перестает бояться, скажем, удара электрическим током, он нарушает требования техники безопасности и немедленно бывает наказан за это. Поэтому чувство страха, соразмерное обстоятельствам работы в лаборатории, совершенно необходимо.

Дисциплинарные требования должны быть вполне определенными: при работе в кабинете физики или учебной лаборатории недопустимы элементы баловства, пустой болтовни, никчемных хождений от одного рабочего места к другому.

Перед выполнением проектных исследований учителю необходимо продумать содержание инструктажа школьников по технике безопасности. Работа руками, без которой немислим проект по физике, сопряжена с возможностью получения самых разнообразных травм. Поэтому в физическом кабинете должна находиться медицинская аптечка. На видном месте в лаборатории необходимо расположить краткую сводку основных правил работы [99]. Для проектной деятельности, связанной с изготовлением электронных приборов, эта сводка может включать следующие правила.

1. Приходя в лабораторию, учащийся громко здоровается, а уходя, громко прощается, не приносит пищу и не использует жевательную резинку.

2. Каждый школьник (звено) занимается только своим делом, не трогает ничего, что не относится к его работе, не отвлекает других школьников.

3. Категорически запрещается самостоятельное включение в электроосветительную сеть любых приборов! При работе с нагревательными приборами типа электроплитки соблюдаются стандартные меры предосторожности.

4. Учащийся аккуратно и осторожно обращается с паяльником, не включает без разрешения учителя, не повреждает изоляцию провода, кладет паяльник только на подставку, не стряхивает припой с жала, не разбирает паяльник, сразу сообщает об обнаруженных неисправностях, не оставляет паяльник включенным без присмотра.

5. Школьник использует инструменты по назначению, работая только на специальном покрытии стола.

6. Травление платы выполняется только в присутствии учителя. При травлении школьники соблюдают правила работы с химическими веществами: не берут их руками, не пробуют на вкус, не вдыхают пары, тщательно с мылом моют руки после работы.

4.4.3. Понимание требований техники безопасности. Добиться понимания учащимися требований техники безопасности можно, если систематически при каждом удобном случае обсуждать с ними физическую сущность поражающих факторов. Например, при выполнении ученического проекта по созданию безопасных источников высокого напряжения для учебных опытов целесообразно обсудить следующее.

Школьные опыты по электростатике обычно не обходятся без электрофорной машины (рис. 4.14), которая считается безопасной. Кондукторы машины соединены с батареей из двух включенных последовательно конденсаторов (лейденских банок) общей емкостью около 250 пФ, причем на них развивается напряжение до 50 кВ. В ученических проектах можно создавать высоковольтные источники, параметры которых не превышают параметров школьной электрофорной машины. Эти источники будут не опаснее электрофорной машины, если понимать причину их возможной опасности и соблюдать элементарные меры предосторожности.

Полюсы любого источника напряжения имеют определенные потенциалы относительно земли. Тело человека всегда более или менее хорошо заземлено. Прикоснувшись к одному из полюсов источника, экспериментатор оказывается под напряжением, равным потенциалу точки касания относительно земли. Если имеется контакт тела с двумя полюсами источника, то между точками контакта приложено напряжение, развиваемое источником.

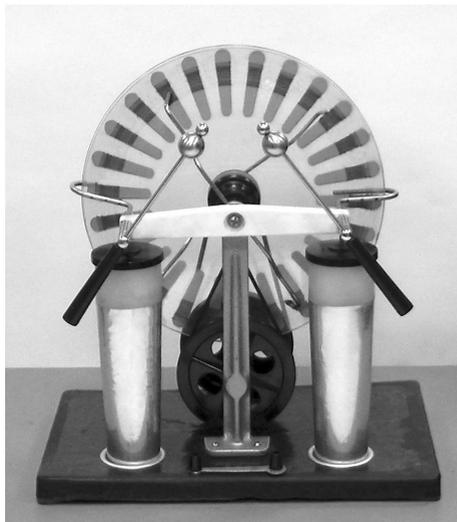


Рис. 4.14. Электрофорная машина, используемая в школьных опытах по электростатике

Опасно не напряжение, опасны вызываемый им электрический ток, время прохождения тока и путь, по которому он проходит через организм. По закону Ома для полной цепи сила тока определяется ЭДС источника \mathcal{E} , его внутренним сопротивлением r и сопротивлением нагрузки R :

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \quad (4.1)$$

При прочих равных условиях наименьшим внутренним сопротивлением обладают заряженные конденсаторы в момент их разрядки. Запасенная в конденсаторе

энергия пропорциональна емкости конденсатора C и квадрату напряжения U или заряду q и напряжению:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}. \quad (4.2)$$

Современные конденсаторы способны накапливать значительный заряд, сохранять его длительное время и давать большой разрядный ток. Именно поэтому заряженные конденсаторы наиболее опасны.

Из сказанного ясно, почему при работе с высокими напряжениями необходимо строго выполнять три важнейших требования.

1. Исключить возможное заземление тела — не стоять на влажном полу и не касаться заземленных предметов, например, водопроводных труб, батарей парового отопления и т.п.

2. Никогда не работать двумя руками, чтобы исключить возможное прохождение тока через такие важные органы, как сердце и легкие; положение нерабочей второй руки непрерывно контролировать.

3. Все переключения и изменения в установке производить только при выключенном источнике питания; при каждом выключении установки полностью разряжать все конденсаторы, например отверткой с изолирующей ручкой.

К этому нужно добавить то, что школьники должны хорошо знать: при постановке физических опытов нельзя баловаться и нельзя допускать к экспериментальным установкам посторонних людей.

4.4.4. Формирование чувства опасности при работе в физической лаборатории. Человек начинает бояться электричества после того, как испытает удар электрическим током. Случайное поражение током весьма опасно, так как может привести к тяжелым последствиям. Есть простой способ испытать на себе или пронаблюдать на более смелых сверстниках действие электрического тока от источника, который кажется совершенно безобидным [54].

Школьнику дают в руки два больших гвоздя и просят одним из них прикоснуться к выводу батареи на 4,5 В так, чтобы был постоянный контакт, а вторым кратковременно чиркнуть по второму выводу.

Он чиркает и с недоумением говорит, что вообще ничего не ощущает.

Тогда ему дают ферритовый стержень диаметром 8 мм и длиной около 100 мм и просят намотать на него 300–500 витков тонкой медной проволоки в лаковой изоляции. Через несколько минут небрежно намотанная катушка готова. Концы ее очищают от изоляции и прикручивают к тем же гвоздям.

Затем повторяют тот же опыт: один гвоздь неотрывно соединен с полюсом батарейки, а вторым испытуемый чиркает по другому полюсу (рис. 4.15). Внезапно его вытянутые руки непроизвольно сжимаются, и все видят, что он испытал удар электрическим током.

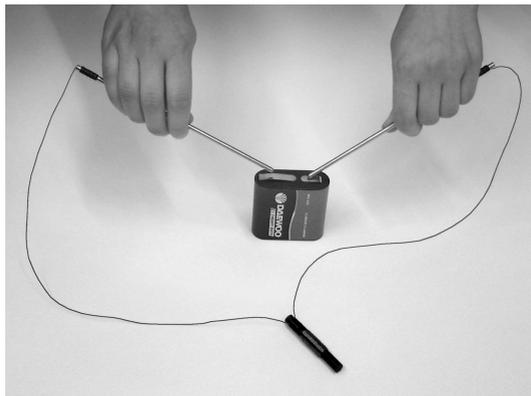


Рис. 4.15. Опыт, в котором экспериментатор получает легкий удар электрическим током

Опыт повторяют по желанию все учащиеся и делают из него вывод, что абсолютно безопасных источников тока нет — все зависит от условий эксперимента. В выполненном опыте напряжение 4,5 В, которое совершенно не ощущается, за счет явления самоиндукции превращается в сотни вольт. Такое напряжение вызывает ощущение удара электрическим током и безопасно лишь потому, что действует в течение небольшого промежутка времени.

В описанном эксперименте вместо феррита можно использовать толстый гвоздь или болт из мягкой стали, но предварительно нужно убедиться, что такой сердечник катушки обеспечивает нужный эффект. Желательно также для отобранного сердечника подобрать оптимальное число витков катушки. При этом следует иметь в виду, что с возрастом влажность кожи рук уменьшается, поэтому для оценки силы удара, который будут испытывать школьники, учитель должен проводить опыт слегка влажными руками.

Глава 5

ПРОЕКТЫ НАЧАЛЬНОГО ЭТАПА ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ

Результативность проектной деятельности школьников, связанной с учебными исследованиями физических явлений, определяется в первую очередь ее содержанием. Удовлетворяющее педагогическим требованиям ФГОС содержание ученических проектов призван обеспечить учитель физики. Однако сделать это без специальной подготовки практически невозможно.

Дело в том, что физические приборы, предлагаемые учащимся для самостоятельного изготовления, должны быть доступными по материалам и простыми по конструкциям. Для учебных исследований могут быть рекомендованы лишь такие явления, которые непосредственно связаны со школьным курсом физики. Вместе с тем содержание учебных проектов должно выходить за рамки обязательной программы, приводить к неожиданным и эффективным результатам, быть практически значимым — только при таких условиях оно сможет вызвать неподдельный интерес учащихся.

Удовлетворить этим противоречивым требованиям учитель физики сможет, если располагает необходимым временем и уровень его экспериментальной компетенции достаточно высок. Однако в современных условиях педагогическое образование далеко не в должной степени обеспечивает подготовку будущих учителей физики в области учебного физического эксперимента. Что касается свободного времени, то у учителя физики его просто нет.

Выходом из этого положения является разработка *специальных дидактических ресурсов проектной деятельности, предназначенных непосредственно для учащихся*, которые содержат необходимую информацию, творческие задания и варианты их выполнения. В этом случае роль учителя сводится к научному руководству самостоятельной исследовательской деятельностью школьников.

Располагая пакетом таких ресурсов, учитель сможет, не выполняя собственно рекомендуемых исследований, быстро и точно оценить возможность их практического использования, выбрать необходимые проблемы для исследовательских проектов школьников, оказать им помощь при выполнении учебных исследований, дать оценку полученным результатам, способствовать подготовке презентаций и во всей этой деятельности сосредоточиться на решении не

технических или методических, а главным образом педагогических задач.

В главе предлагаются образовательные ресурсы, предназначенные для обеспечения исследовательских проектов учащихся основной школы. В качестве объекта учебных исследований выбраны насосы и сифоны — устройства, отличающиеся максимальной простотой и доступностью. Принцип действия этих устройств основан на фундаментальных понятиях и законах гидро- и аэростатики, установленных Архимедом, Э. Торричелли и Б. Паскалем, которые школьники усваивают на начальном этапе изучения физики.

5.1. Учебные исследования гидравлических механизмов

Предложены содержание и технология организации проектной деятельности учащихся основной школы по учебному исследованию гидравлических механизмов. Показана возможность получения учащимися результатов в области учебного физического эксперимента, отличающихся не только субъективной, но и объективной новизной.

Основная идея предлагаемой технологии заключается в следующем. Чтобы школьники, начинающие изучать физику, приобщались к проектной экспериментальной деятельности, нужен положительный пример их старших товарищей. В свою очередь, цель проектной деятельности, заключающаяся в развитии экспериментальных умений начинающих, понятна и значима для учащихся, завершающих обучение в основной школе. Учитель в состоянии организовать деятельность старших и младших школьников, если располагает дидактическими ресурсами, которые могут быть непосредственно предъявлены учащимся.

5.1.1. Технология организации проектной деятельности учащихся основной школы. В 7 классе учащиеся знакомятся с устройством и принципом действия простых гидравлических механизмов. К ним относятся поршневые насосы, гидравлический домкрат и гидравлический пресс. Обычно перечисленные приборы изучаются лишь умозрительно. Однако они настолько просты, что подготовленный школьник быстро и без особого труда в состоянии сделать их действующие модели, которые с успехом могут быть использованы на уроках физики. Этого не происходит потому, что зачастую учитель не знает, как организовать деятельность по разработке и изготовлению доступных школьникам физических приборов. Но есть и другая, более существенная причина.

Наблюдения и прямой педагогический эксперимент показывают, что семиклассники в большинстве своем не владеют даже простей-

шими экспериментальными умениями. К тому же они не имеют элементарных навыков ручной работы, испытывая трудности при резании ножницами, проделывании отверстий шилом, обработке напильником, склеивании и т. д. Вместе с тем семиклассники с энтузиазмом учатся всему новому, стараясь овладеть всем сразу. Поэтому для формирования и развития экспериментальных умений важно предоставить школьникам, начинающим изучать физику, действующие образцы приборов, описания опытов и внятные инструкции по их воспроизведению. Сделать все это учитель, загруженный учебной и воспитательной работой, не в состоянии.

Однако он может, организуя проектную деятельность девятиклассников, предложить им для исследования *проблему* создания учебных экспериментов, доступных для выполнения учащимися 7 класса. Актуальность решения этой проблемы ни у учителя, ни у школьников, которые помнят, какими они начинали изучать физику, сомнений не вызывает.

Цель исследовательского проекта — развитие экспериментальных умений семиклассников при изучении, например, простых гидравлических механизмов — понятна и значима для выпускников основной школы.

Гипотезу исследования можно сформулировать вместе со школьниками: если использовать пластиковые шприцы и бутылки, трубки для переливания медицинских растворов, стальные шарики и другое доступное оборудование, то возможно создание учебных моделей и дидактических материалов, обеспечивающих экспериментальное изучение простых гидравлических механизмов.

Задачи исследовательского проекта:

1) на основе перечисленного оборудования разработать доступные конструкции поршневого насоса, гидравлического домкрата и гидравлического пресса;

2) выполнить компьютерные презентации, раскрывающие технологию изготовления разработанных приборов;

3) предложить серию учебных экспериментов, позволяющих семиклассникам усвоить физические принципы действия простых гидравлических механизмов.

Чтобы реализовать подобные исследовательские проекты, учитель должен располагать информацией, которая позволит ему надежно определить их выполнимость. Лучше, если эта информация будет представлена в форме, допускающей непосредственное использование учащимися.

5.1.2. Содержание проектов по учебному исследованию гидравлических механизмов. Для выпускников основной школы содержание проектных исследований гидравлических механизмов определяется следующей системой заданий.

Задание 1. Насос с клапаном внутри поршня. На рис. 5.1 представлено схематическое изображение простейшего поршневого насоса, взятое из школьного учебника физики 7 класса [80, с. 110–114]. Насос состоит из цилиндра, поршня и двух клапанов. Нижний клапан перекрывает входное отверстие насоса, верхний клапан установлен в самом поршне.

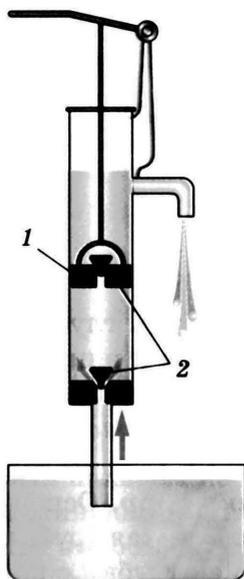


Рис. 5.1. Иллюстрация из учебника физики для 7 класса: схематическое изображение насоса с клапаном внутри поршня

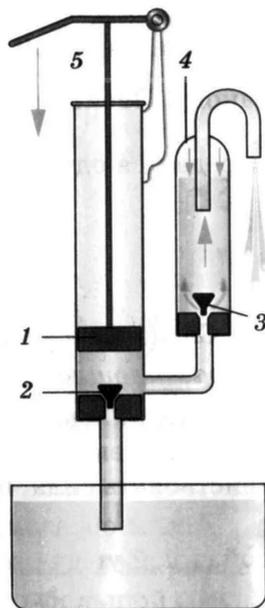


Рис. 5.2. Иллюстрация из учебника физики для 7 класса: схематическое изображение насоса с воздушной камерой

Подберите оборудование: 1) пластиковые медицинские шприцы объемом 10 и 5 мл с центральным отверстием для иглы и снимающимся со штока резиновым поршнем; 2) стальные шарики разных диаметров; 3) резиновые или силиконовые трубки.

Используя перечисленное или другое доступное оборудование, разработайте и изготовьте действующую модель насоса с клапаном внутри поршня [37]. Пользуясь цифровым фотоаппаратом, получите серию фотографий, поясняющих отдельные стадии изготовления насоса. Составьте компьютерную инструкцию, показывающую, каким образом может быть изготовлен разработанный прибор.

Задание 2. Насос с воздушной камерой. На рис. 5.2 представлено взятое из школьного учебника физики 7 класса схематическое изображение поршневого насоса с воздушной камерой. Основные

части насоса: цилиндр, поршень, воздушная камера и клапаны, расположенные во входных отверстиях цилиндра и камеры.

Подберите оборудование: 1) два пластиковых медицинских шприца объемом 10–20 мл и 5 мл; 2) стальные шарики и металлические диски или монеты разного диаметра; 3) резиновые трубки; 4) пластиковую бутылку.

Используя перечисленное или другое доступное оборудование, разработайте и изготовьте действующую модель насоса с воздушной камерой. Пользуясь цифровым фотоаппаратом, получите серию фотографий, поясняющих отдельные стадии изготовления насоса. Составьте компьютерную презентацию выполненного проекта, обучающую способу изготовления разработанного прибора.

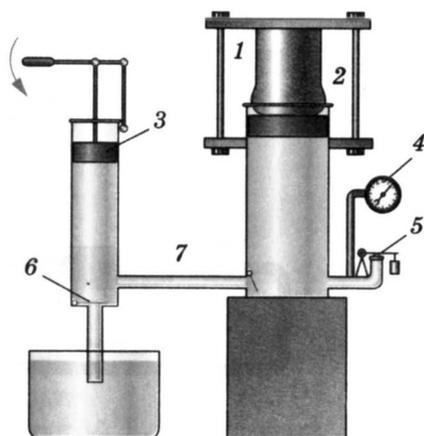


Рис. 5.3. Иллюстрация из учебника физики для 7 класса: схема гидравлического пресса

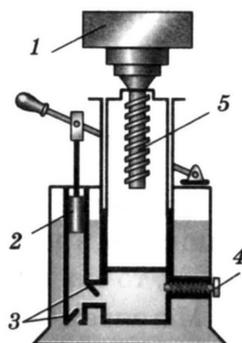


Рис. 5.4. Рисунок из учебника 7 класса, показывающий схему гидравлического домкрата

Задание 3. Гидравлический пресс. На рис. 5.3 представлено взятое из школьного учебника физики 7 класса схематическое изображение гидравлического пресса. Он состоит из цилиндрического насоса с поршнем и клапаном, рабочего цилиндра с манометром и предохранительным клапаном, пуансона и матрицы, между которыми находится прессуемое тело.

В качестве материалов для модели гидравлического пресса используйте пластиковые шприцы, силиконовые трубки, стальные шарики и другое доступное оборудование. Прессуемым телом может служить кусок пластилина.

Разработайте и изготовьте такую действующую модель гидравлического пресса, которую смогут воспроизвести учащиеся 7 класса. Пользуясь цифровым фотоаппаратом, сфотографируйте отдель-

ные стадии изготовления пресса. Составьте компьютерную презентацию выполненного проекта, обучающую способу изготовления разработанного прибора.

Задание 4. Гидравлический домкрат. На рис. 5.4 представлено взятое из школьного учебника физики 7 класса схематическое изображение гидравлического домкрата: 1 — поднимаемое тело большой массы, 2 — малый поршень, 3 — клапаны, 4 — клапан для опускания груза, 5 — большой поршень.

В качестве материалов для модели гидравлического домкрата используйте пластиковые шприцы, силиконовые трубки, стальные шарики и другое доступное оборудование. Поднимаемым телом может служить гиря массой 1 кг.

Разработайте и изготовьте такую действующую модель гидравлического домкрата, которую смогут воспроизвести учащиеся 7 класса. Пользуясь цифровым фотоаппаратом, сфотографируйте отдельные стадии изготовления модели домкрата. Составьте компьютерную презентацию выполненного проекта, обучающую способу изготовления разработанного прибора.

5.1.3. Содержание проектной деятельности школьников, начинающих изучение физики. В качестве заданий для выполнения проектов учащиеся 7 класса получают презентации, созданные их старшими товарищами и, пользуясь ими, собирают действующие модели приборов. Здесь приведены возможные серии фотографий, показывающие необходимое оборудование и последовательность изготовления приборов.

Задание 1. Насос с клапаном внутри поршня. Приступая к работе, учащиеся будут иметь дело с различными материалами и приборами. На рис. 5.5 показаны имеющиеся в продаже plasti-



Рис. 5.5. Пластиковые шприцы, пригодные для изготовления моделей гидравлических механизмов

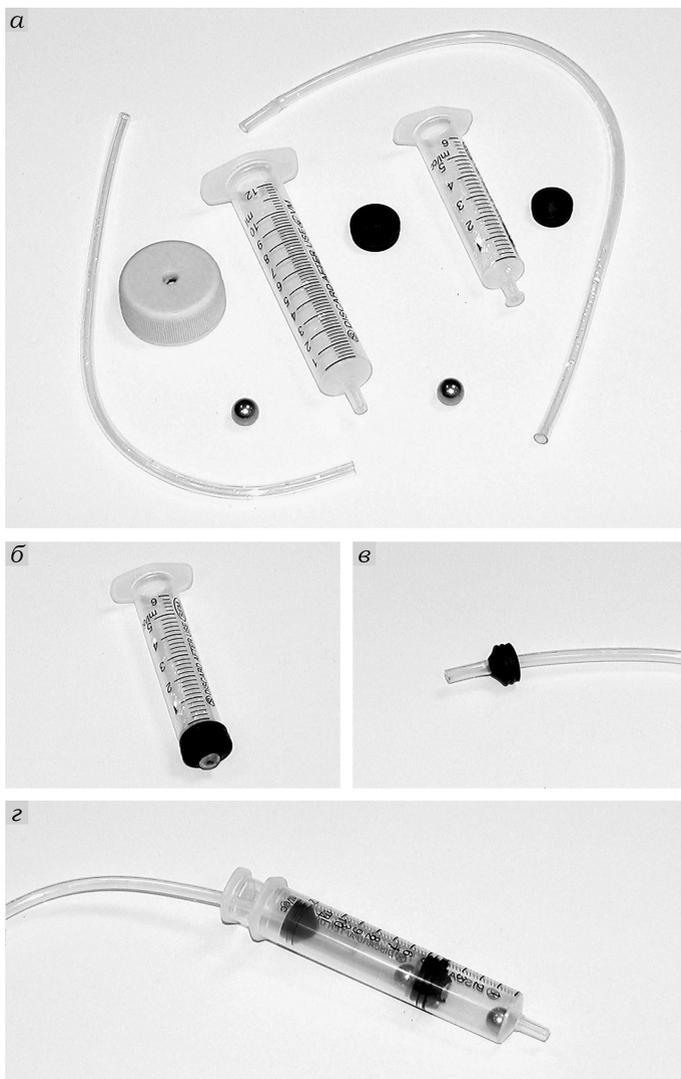


Рис. 5.6. Этапы изготовления модели насоса с клапаном внутри поршня: *а* — элементы установки; *б* — поршень насоса; *в* — заглушка для поршня насоса; *г* — собранный насос

ковые одноразовые шприцы. Придумать конструкцию клапана для каждого из них не составит особого труда.

В качестве клапана для шприцов с ассиметрично расположенным соплом школьники могут использовать монетку подходящего диаметра и прокладку, вырезанную из герметизирующего элемента

крышки пластиковой бутылки. Если сопло находится посередине, подойдет шарик от подшипника.

На рис. 5.6 приведена серия фотографий, раскрывающая технологию изготовления насоса с клапаном внутри поршня: *а* — исходный набор элементов; *б* — поршень насоса, полученный из корпуса малого шприца; сопло этого шприца сплющено над пламенем свечи и продето в резиновую накладку от поршня большого шприца; *в* — сделанная из резиновой накладки от поршня малого шприца заглушка для поршня модели насоса; в отверстие заглушки продет отрезок силиконовой трубки, через который будет вытекать жидкость, перекачиваемая насосом; *г* — собранный насос.

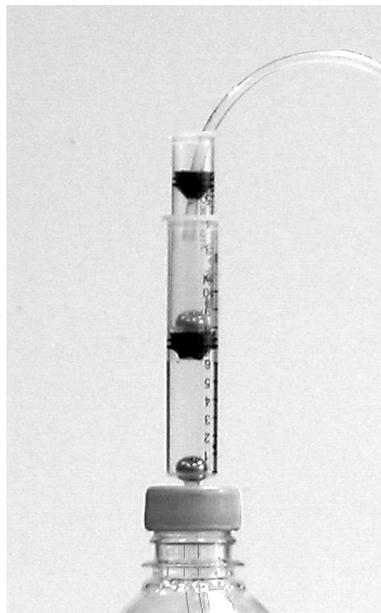


Рис. 5.7. Подготовленная к демонстрации модель насоса с клапаном внутри поршня

На рис. 5.7 изображен насос с клапаном внутри поршня, закрепленный на сосуде с водой. На сопло шприца изнутри крышки надета силиконовая трубка, конец которой опущен в воду, налитую в сосуд.

Задание 2. Насос с воздушной камерой. Первая технология изготовления прибора, основанная на использовании шприцев с ассиметрично расположенным соплом, показана на рис. 5.8: *а* — необходимое оборудование; в корпусах шприцев сделаны отверстия диаметром несколько миллиметров для герметичного соединения их с силиконовыми трубками; *б* — всасывающий клапан, выполненный из подходящей монеты и тонкой прокладки, вырезанной по внутреннему диаметру шприца из герметизирующего элемента крышки пластиковой бутылки; *в* — основная камера насоса; *г* — собранный насос с воздушной камерой.

Вторая возможная технология представлена на рис. 5.9. В ней используются пластиковые шприцы с соплом, расположенным на оси корпуса, и поршень имеет резиновую накладку, которая легко может отсоединиться от штока. На рис. 5.9*а* приведен исходный набор элементов. На рис. 5.9*б* показана заглушка для воздушной камеры насоса, сделанная из резиновой накладки от поршня и

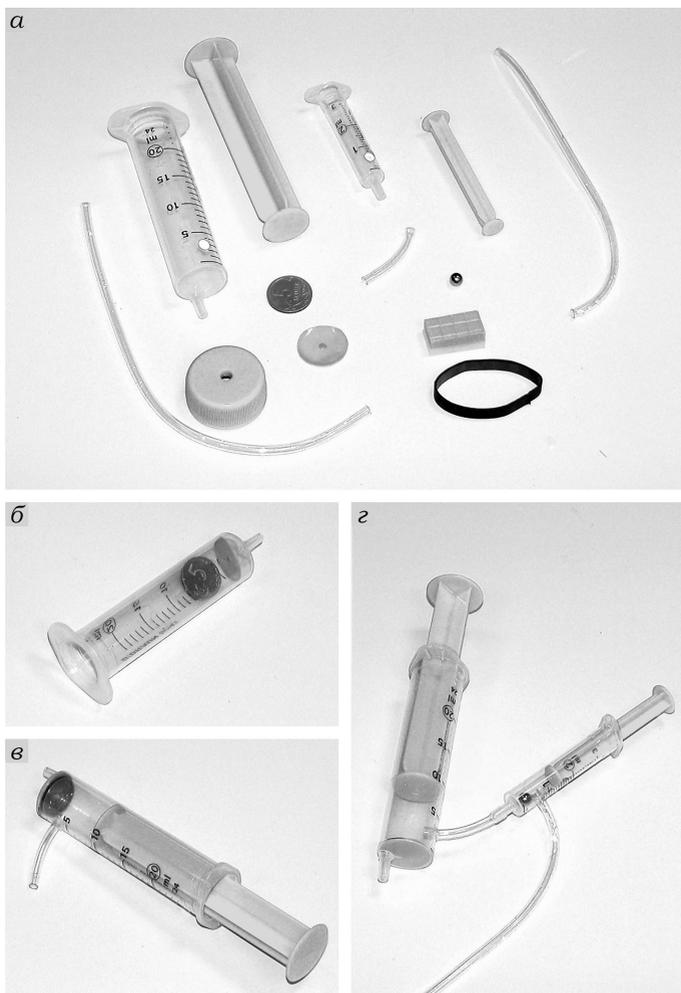


Рис. 5.8. Этапы изготовления модели насоса с воздушной камерой: *а* — элементы прибора; *б* — всасывающий клапан; *в* — основная камера насоса; *г* — собранный насос

отрезка силиконового шланга. На рис. 5.9*в* изображен собранный насос, в качестве всасывающего и нагнетательного клапанов которого использованы стальные шарики от подшипников.

Показанные на рис. 5.8*а* и рис. 5.9*а* резиновые колечки из велосипедной камеры и прямоугольные кусочки изолон служат для крепления основной и воздушной камер насоса друг с другом (рис. 5.10).

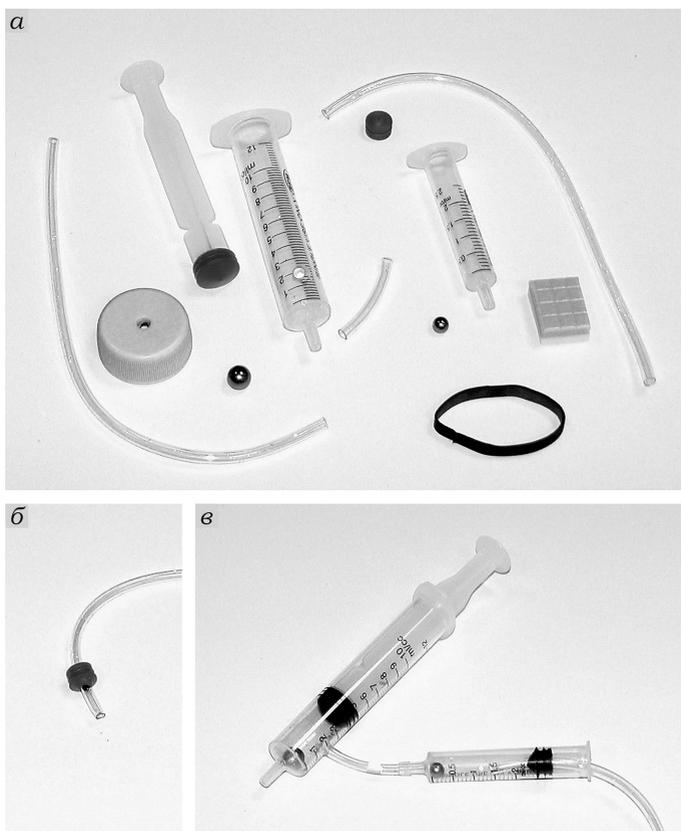


Рис. 5.9. Этапы изготовления насоса с воздушной камерой из пластиковых шприцев с осесимметричным соплом: *а* — элементы прибора; *б* — заглушка для воздушной камеры; *в* — собранный насос

Готовую к демонстрации модель насоса с воздушной камерой соплом корпуса большого шприца плотно вставляют в отверстие, сделанное в крышке пластиковой бутылки. С внутренней стороны крышки сопло соединяют с силиконовой трубкой и неплотно, чтобы проходил воздух, навинчивают крышку на сосуд с водой, в которую опускают второй конец силиконового шланга. На рис. 5.10 *а* изображен прибор, собранный по первой из рассмотренных технологии, на рис. 5.10 *б* — прибор, собранный вторым способом.

Задание 3. Гидравлический пресс. Технология изготовления прибора понятна из рис. 5.11. На рис. 5.11 *а* представлены элементы для сборки рабочего цилиндра. Это два металлических стержня длиной 45 мм с осевыми отверстиями с резьбами под винты М3, винты с шайбами, вырезанная из тонкой дюралевой пластинки матрица. В

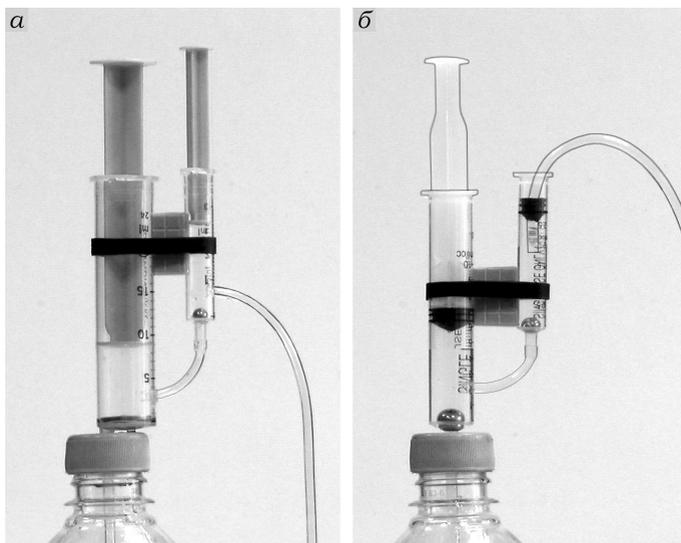


Рис. 5.10. Подготовленные к демонстрации модели насосов с воздушной камерой, отличающиеся конструкцией клапанов: *а* — модель изготовлена из шприцев с расположенными не по оси соплами; *б* — модель изготовлена из шприцев с осесимметричными соплами

щечках корпуса шприца сделаны отверстия для крепления винтов. В корпус большого шприца помещают клапан (стальной шарик или подходящая монетка с прокладкой), вставляют поршень и только после этого закрепляют матрицу. На рис. 5.11*б* справа показан готовый рабочий цилиндр и все остальные необходимые для изготовления прибора элементы. Производя уже хорошо знакомые операции, из этих элементов собирают поршневой насос и соединяют его с рабочим цилиндром. На рис. 5.11*в* приведена фотография готовой модели гидравлического пресса.

Задание 4. Гидравлический домкрат. Умения, сформированные при изготовлении и исследовании моделей гидравлического насоса и пресса, используются при разработке модели гидравлического домкрата. На рис. 5.12 изображена готовая модель такого устройства. Из фотографии видно, что за основу взята технология изготовления гидравлического пресса. Эта модель дополнена приспособлением для возвращения использованной жидкости из рабочего цилиндра в сосуд, являющийся источником жидкости для насоса. Для подъема массивного груза домкрат должен быть устойчиво закреплен в вертикальной позиции.

На рис. 5.13 показан внешний вид экспериментальных установок, готовых для демонстрации: *а* — модель гидравлического насоса с клапаном внутри поршня; *б, в* — модели насосов с воздушной

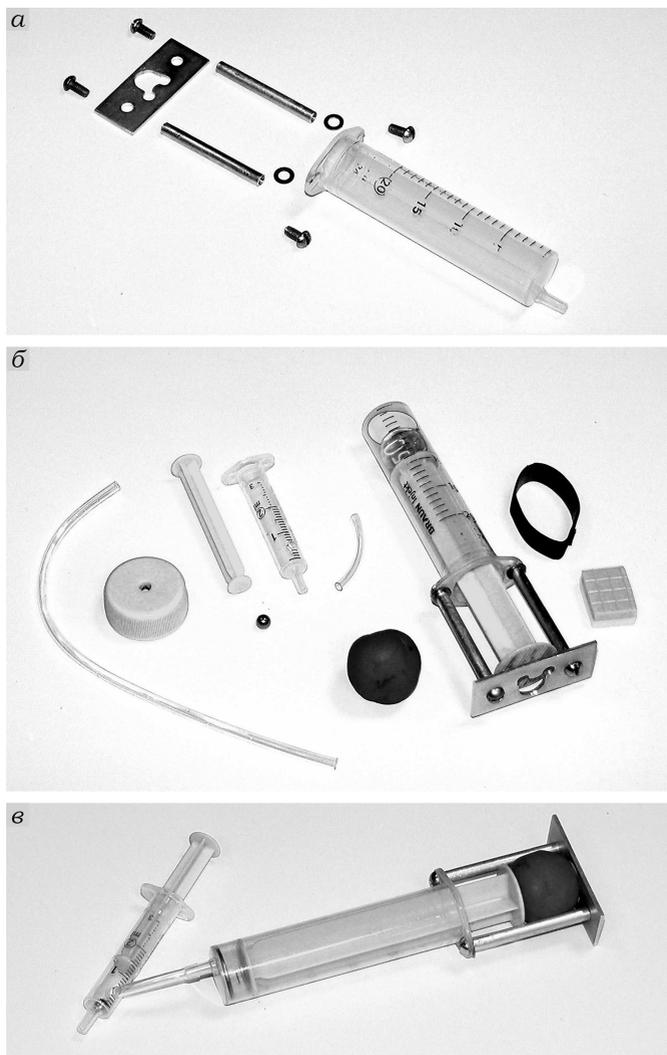


Рис. 5.11. Этапы изготовления модели гидравлического пресса: *а* — элементы для изготовления рабочего цилиндра; *б* — собранный рабочий цилиндр и другие детали; *в* — готовый прибор камерой; *г* — модель гидравлического пресса с прессуемым телом; *д* — модель гидравлического домкрата, для крепления которого в вертикальном положении использована верхняя часть пластиковой бутылки.

5.1.4. Изготовление гидравлических механизмов школьниками. Опытно-конструкторская работа по созданию доступных для



Рис. 5.12. Модель гидравлического домкрата



Рис. 5.13. Подготовленные к демонстрации модели гидравлических механизмов: *а* — гидравлический насос с клапаном внутри поршня; *б*, *в* — насосы с воздушными камерами; *г* — гидравлический пресс; *д* — гидравлический домкрат

изготовления семиклассниками действующих моделей поршневых насосов, гидравлического пресса и гидравлического домкрата выполнена совместно с аспирантом М. Л. Исаковой [61].

Все описанные в этом параграфе модели гидравлических механизмов были изготовлены учащимися 9 класса в процессе выполнения ими исследовательского проекта. Целью их проектной деятельности явилась разработка доступных для семиклассников конструкций и технологий изготовления учебных приборов. Помимо несомненной субъективной новизны школьниками были получены объективно новые результаты. К ним относится, например, идея переливания использованной домкратом жидкости из рабочего цилиндра обратно в резервуар для насоса.



Рис. 5.14. Школьники в процессе исследования собранных моделей гидравлических механизмов и презентации выполненного проекта

На рис. 5.14 учащиеся 9 класса физико-математического лицея города Глазова: слева И. А. Гусев проводит испытание модели поршневого насоса; справа — Н. А. Ельцов и А. И. Кавелашвили демонстрируют модель гидравлического домкрата во время презентации выполненного проекта.

5.2. Экспериментальное исследование сифона

Предлагается дидактический ресурс для выполнения экспериментального исследования обычного сифона. Ресурс оформлен в виде статьи, предназначенной непосредственно учащимся основной школы. Такой ресурс позволяет учителю организовать эффективную проектную деятельность школьников в домашних

условиях с последующей презентацией ее результатов всему классу.

Действие обычного сифона связано с фундаментальными свойствами жидкости, находящейся в поле тяжести: гидростатическим давлением, текучестью, прочностью на разрыв. Выполняя предложенное исследование, вы познакомитесь с интересными физическими явлениями [59], углубите свои знания школьного материала и разовьете экспериментальные умения.

5.2.1. Изготовление сифона. На подъемный столик поставьте широкий сосуд с водой и рядом со столиком расположите стакан. Возьмите резиновый или силиконовый шланг внутренним диаметром не менее 5 мм и целиком погрузите его в сосуд так, чтобы



Рис. 5.15. Демонстрация сифона: *а* — заполнение трубки погружением в воду; *б* — работа сифона; *в* — заполнение трубки резиновой грушей

он полностью заполнился водой. Один конец шланга придерживайте рукой, чтобы он остался под поверхностью воды в сосуде. Второй конец под водой перекройте пальцем, достаньте из сосуда (рис. 5.15 а), расположите над стаканом ниже уровня воды в сосуде и отпустите. При этом из открытого конца шланга начинает течь вода (рис. 5.15 б). Вода перетекает из верхнего сосуда в нижний до тех пор, пока не обнажится верхний конец шланга. Изготовленное вами устройство называется *сифоном* и используется для переливания жидкости из сосудов, которые нельзя наклонять.

В условиях предыдущего опыта один конец резинового шланга погрузите в верхний сосуд с водой, а второй — поместите над стаканом ниже уровня воды в сосуде. Сжав резиновую грушу, наденьте на нее шланг и, снижая давление на грушу, вытяните воздух из шланга. При этом вода из сосуда перетекает в грушу (рис. 5.15 в). Отсоединив грушу от шланга, убедитесь, что сифон начал действовать.

5.2.2. Принцип действия сифона. Представьте сифон, состоящий из трубки, полностью заполненной жидкостью, нижний конец которой перекрыт заслонкой (рис. 5.16).

Давление на поверхность жидкости равно атмосферному. Такое же давление будет внутри сифона на уровне воды в сосуде. Но на уровне заслонки давление в сифоне больше атмосферного на величину гидростатического давления $p = \rho gh$, где ρ — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения, h — высота столба жидкости между заслонкой и уровнем жидкости в сосуде. Значит, на заслонку действует направленная вниз сила давления $f = pS = \rho ghS$, где S — площадь поперечного сечения сифона. Если заслонку убрать, то эта сила давления окажется приложенной к нижним слоям жидкости. Так как жидкость текуча и плохо растяжима, то она начинает вытекать из открытого конца сифона. Таким образом, действие сифона объясняется гидростатическим давлением, текучестью жидкости и сохранением ее целостности при растяжении [82, 113].

Из приведенного объяснения следует, что выше уровня воды в сосуде давление в сифоне должно быть меньше атмосферного. Чтобы подтвердить это следствие теоретического объяснения экспериментом, нужно уметь оценивать давление жидкости в сифоне.

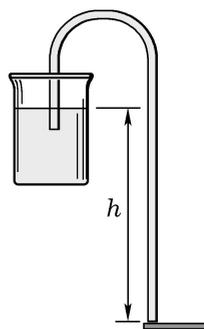


Рис. 5.16. К объяснению принципа действия сифона

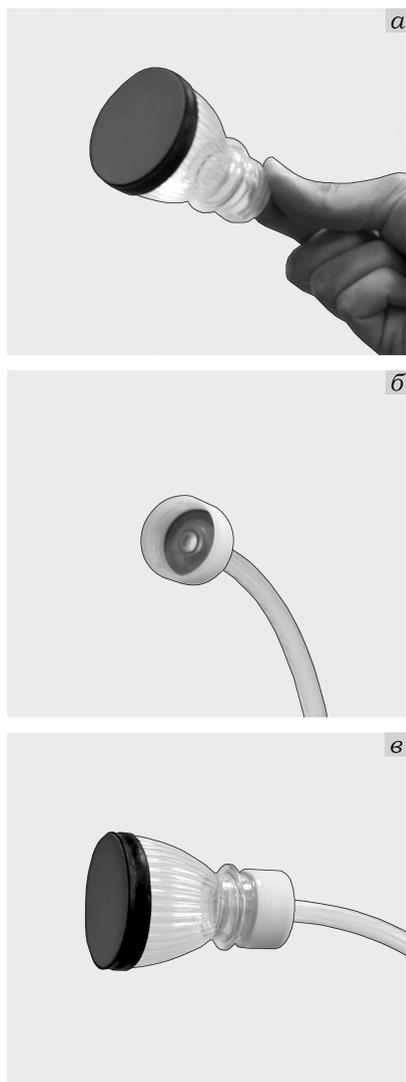


Рис. 5.17. Датчик давления: *а* — мембрана, натянутая на воронку; *б* — крышка пластиковой бутылки со шлангом; *в* — готовый датчик



Рис. 5.18. Демонстрация гидростатического давления: *а* — возле дна сосуда; *б* — на поверхности жидкости; *в* — выше уровня жидкости

5.2.3. Датчик давления. Из пластиковой бутылки емкостью 0,25 л изготовьте небольшую воронку. Край воронки обработайте мелким напильником или шкуркой так, чтобы он не был острым. Приготовьте резиновое колечко, вырезав его из старой велосипедной камеры. Хорошенько раздуйте воздушный шарик так, чтобы резина, из которой он сделан, стала как можно более мягкой. На широкое отверстие воронки натяните кусок мягкой резины и закрепите его резиновым колечком (рис. 5.17 а).

В оставшейся от бутылки крышке шилом и напильниками проделайте круглое отверстие и вставьте в него конец силиконового или резинового шланга внешним диаметром 6–8 мм (рис. 5.17 б). Соединение шланга с крышкой должно быть герметичным. Наверните крышку со шлангом на воронку — у вас получится датчик давления (рис. 5.17 в). Убедитесь в этом, соединив конец шланга со слегка сжатой резиновой грушей: при отпускании ее пленка втягивается внутрь воронки, при нажатии на грушу — выпячивается наружу.

5.2.4. Экспериментальное обоснование принципа действия сифона. Отверните от датчика давления крышку со шлангом и, поставив его резиновой пленкой на ровную поверхность, доверху заполните водой. Наверните на датчик крышку со шлангом, в шприц наберите воду и, пользуясь им, до конца заполните водой шланг. Отверстие шланга перекройте пальцем, отпустите шланг в широкой сосуд с водой и уберите палец.

Опустите датчик давления ниже уровня воды в сосуде, и вы увидите, что его резиновая пленка выпукла наружу (рис. 5.18 а). Расположите датчик на уровне воды в сосуде — пленка становится совершенно плоской (рис. 5.18 б). Подняв датчик давления выше уровня воды в сосуде, вы обнаружите, что пленка прогнулась внутрь воронки (рис. 5.18 в).

Таким образом, проделанные опыты показывают, что давление в жидкости внутри сифона на уровне воды в сосуде равно атмосферному, выше этого уровня — меньше атмосферного и ниже — больше атмосферного.

5.2.5. Автоматический сифон. С датчика давления снимите резиновую пленку так, чтобы получилась воронка, герметически соединенная со шлангом. Пальцем одной руки перекройте отверстие шланга. Второй рукой возьмите шланг возле воронки и опускайте воронку вертикально вниз в сосуд с водой так, чтобы она оставалась заполненной воздухом (рис. 5.19 а). Теперь быстро откройте отверстие шланга.

Вы увидите, что вода стремительно входит в воронку и выплескивается внутрь шланга на высоту, заметно превышающую уровень воды в сосуде. Это объясняется тем, что входящая внутрь воронки

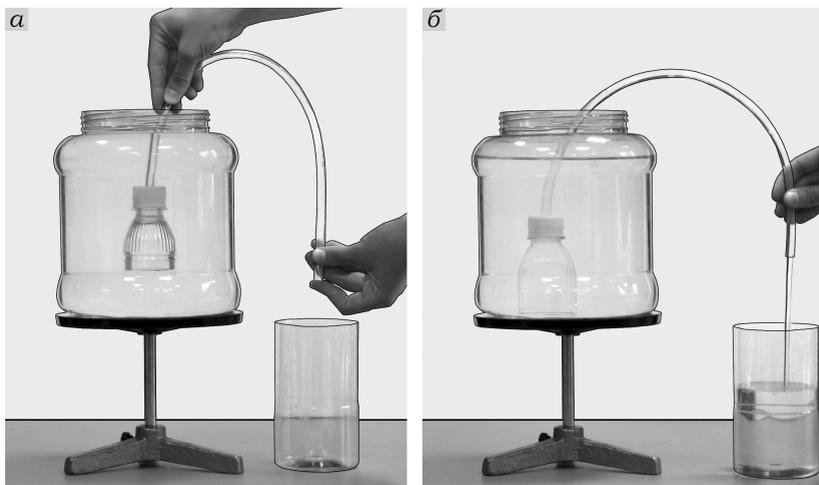


Рис. 5.19. Автоматический сифон, работающий благодаря гидравлическому удару: *а* — воронку опускают до дна сосуда, закрыв отверстие шланга и не позволяя воронке заполниться водой; *б* — открывают отверстие шланга, воронка быстро заполняется водой, происходит гидравлический удар, загоняющий воду внутрь шланга

вода, дойдя до крышки, внезапно останавливается, и давление в ней резко повышается. Происходит так называемый *гидравлический удар* — в результате вода возросшим давлением загоняется в шланг. Если фронт потока воды в шланге окажется ниже уровня воды в сосуде, то заработает сифон (рис. 5.19 б).

Такое устройство естественно назвать *автоматическим сифоном*, так как оно не требует предварительного заполнения шланга жидкостью. Но чтобы автоматический сифон устойчиво запускался, нужно правильно подобрать глубину погружения воронки в сосуд с жидкостью и наибольшую высоту шланга над уровнем воды в сосуде. Пробуйте, и у вас все получится!

Возможно, вы сумеете достичь большего, если предварительно исследуете явление гидравлического удара. Подберите стеклянные воронки разного размера и в широкий сосуд налейте воду. Закройте отверстие воронки пальцем, погрузите воронку в воду на определенную глубину и откройте отверстие. Вода быстро войдет в воронку и выплеснется из трубки в виде струи. Выясните, как зависит высота струи от размера воронки, внутреннего диаметра ее трубки и глубины погружения воронки.

Теперь возьмите воронку за трубку, расположите в сосуде вертикально так, чтобы поверхность воды оказалась немного ниже вершины конуса воронки и резко опустите воронку вниз. Пронаблюдайте и объясните происходящее явление.

5.3. Исследование автоматических сифонов

Предлагаются дидактические ресурсы для выполнения проектов, в которых исследуются автоматический сифон, автоколебательный сифон и автоколебания стеклянной трубки на конце образующего сифон шланга с отверстием в стенке. Каждый из ресурсов разбит на несколько частей, в которых описаны устройство приборов, их принцип действия, технология изготовления, порядок выполнения экспериментов, наблюдаемые явления и т. д. Работа с такими ресурсами формирует критическое отношение школьников к опубликованным материалам и развивает их умения экспериментальной проверки достоверности найденной информации. Кроме того, эти ресурсы в принципе допускают получение объективно новых результатов в сфере учебной физики.

Автоматические сифоны применяются для решения различных практических задач. Интересно познакомиться с принципом действия этих устройств, изготовить и исследовать их в серии учебных проектов.

5.3.1. Автоматический сифон. Целью проекта является исследование сифона, который начинает действовать автоматически при погружении одного из колен в сосуд с жидкостью [59, 60].

1.1. Устройство сифона. С работой сифона — простейшего устройства для перекачки жидкостей — вы, конечно, хорошо знакомы. Рассказывают, что знаменитый американский физик Роберт Вуд еще мальчишкой начинал свои увлекательные эксперименты именно с сифона.

«Вокруг лужи было возвышение больше чем на фут, и все хорошо знали, что вода не течет в гору. Роб положил шланг на землю, велел одному из мальчиков заткнуть конец пальцем, а сам начал наливать воду в другой, пока весь шланг не наполнился. Уже тогда, по природе своей — демонстратор, Роб взял этот конец и вместо того, чтобы просто положить его на землю, перекинул шланг через высокий забор, который отделял дорогу от канавы. Вода потекла через сифон. Это, вероятно, была первая публичная научная победа Вуда» [93, с. 18].

1.2. Конструкция автоматического сифона. Обычный сифон настолько прост, что, казалось бы, не нуждается в усовершенствовании. Однако его недостатком является необходимость заполнять сифон водой перед тем, как он начнет работать.

На рис. 5.20 схематически изображен автоматический сифон. Он, как и любой другой сифон, имеет два колена разной длины. Вблизи конца короткого колена сделано небольшое отверстие 1 и на него надет пустотелый шарик с отверстием 2. Сифон шариком

погружают в сосуд с жидкостью, и спустя небольшое время, она выливается из второго колена.

Попробуйте объяснить, почему работает описанный здесь автоматический сифон.

1.3. Изготовление автоматического сифона. Разобраться в принципе действия автоматического сифона будет проще, если вы изготовите действующую модель этого прибора и экспериментально исследуете ее работу.

Стеклянную трубку длиной около 60 см и внутренним диаметром 3–4 мм над пламенем спиртовки или газовой горелки изогните так, чтобы образовались два колена, одно из которых имеет длину примерно 25 см (рис. 5.20). В этом колене на расстоянии 33–35 мм от его конца ребром смоченного водой надфиля аккуратно пропилите небольшое отверстие 1. Площадь его должна быть не более 0,5–1 мм². В стенке шарика для пинг-понга шилом проколите отверстие и круглым надфилем расширьте его до тех пор, пока стеклянная трубка не будет с трением входить в него. Проденьте трубку в сделанное отверстие так, чтобы ее конец уперся в диаметрально противоположную точку стенки шарика. При этом отверстие в стеклянной трубке должно оказаться внутри шарика вблизи его поверхности (см. рис. 5.20). Соединение стеклянной трубки с шариком должно быть герметичным. Если вы немного ошиблись и сделали отверстие в шарике слишком большого диаметра, место соединения обмажьте пластилином. В шарике вблизи конца трубки, упирающегося в его стенку, проколите еще одно отверстие 2. Его первоначальный диаметр должен быть равен примерно 1 мм.

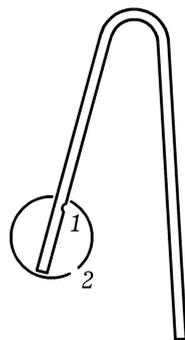


Рис. 5.20. Схематическое изображение автоматического сифона

Быстро опустите колено сифона с шариком на его конце в стакан с водой. Почти сразу в этом колене появляется поднимающийся вверх столб воды, разделенный пузырьками воздуха. Он доходит до места перегиба сифона, опускается по второму колену вниз (рис. 5.21), и спустя небольшое время из отверстия второго колена начинает вытекать сплошная струя!

Если опыт не получается, нужно просто тщательно отладить прибор. Работа автоматического сифона зависит от правильного подбора площадей отверстий в стеклянной трубке и шарике. Неудачное расположение стеклянной трубки относительно шарика или недостаточная герметичность соединения шарика с трубкой также могут привести к плохой работе сифона. Диаметр отверстия

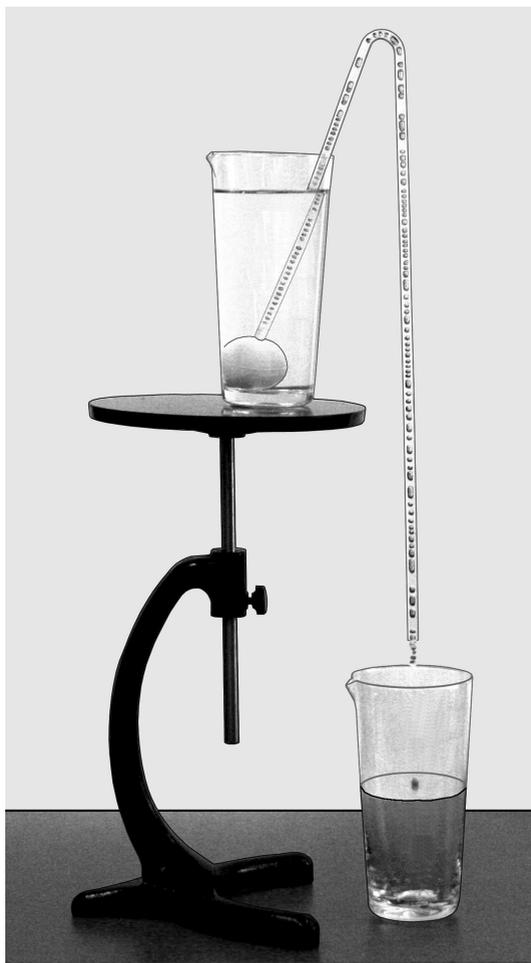


Рис. 5.21. Демонстрация работы автоматического сифона

в шарике можно постепенно увеличивать надфилом, добиваясь наилучших результатов. После наладки прибора шарик можно приклеить к стеклянной трубке подходящим клеем или герметиком.

Теперь, когда вы изготовили автоматический сифон и провели первые опыты с ним, настало время объяснить принцип его действия.

1.4. Принцип действия автоматического сифона. Чтобы ответить на вопрос, как работает автоматический сифон, обратимся снова к рис. 5.20. Когда шарик опускают в стакан с водой, вода начинает заходить внутрь него через отверстие 2. Одновременно вода поднимается и по стеклянной трубке, попадая в нее через открытый конец

трубки. Скорость подъема воды в трубке больше, чем в шарике. Столб воды, поднявшийся по трубке до отверстия I в ее стенке, как бы перекрывает его. По мере заполнения шарика водой давление воздуха в шарике увеличивается. В какой-то момент в отверстие I трубки проталкивается маленький воздушный пузырек. Он отсекает небольшой столбик воды и поднимает его вверх. Поднимающаяся по трубке вода вновь перекрывает отверстие I , и снова сжатый воздух проталкивается в виде пузырька в это отверстие и отсекает новую порцию воды. Таким образом, в колене трубки с шариком образуется воздушно-водяной столб (так называемый *аэролифт*), средняя плотность которого меньше плотности воды. Под действием гидростатического давления этот столб поднимается до перегиба трубки, спускается по второму колену и, когда шарик полностью заполнится водой, «вытягивает» за собой сплошной поток воды. Сифон начинает работать.

1.5. Исследование автоматического сифона. В заключение — несколько простых заданий, которые вы вполне сможете выполнить самостоятельно.

Экспериментально покажите, что в шарик вода затекает медленнее, чем в стеклянную трубку и объясните, почему так происходит.

Выясните, зависит ли высота подъема воздушно-водяного столба от глубины погружения в воду колена сифона с шариком.

Чтобы убедиться в правильности объяснения принципа действия автоматического сифона, замените непрозрачный шарик небольшим стеклянным пузырьком с резиновой или полиэтиленовой пробкой. В целом все устройство с пузырьком должно быть точно таким же, как и при использовании шарика. Стеклянную трубку введите в пузырек через отверстие в резиновой пробке. Прозрачные стенки пузырька позволят вам наблюдать процесс образования воздушно-водяного столба в стеклянной трубке.

Изготовьте автоматический сифон, заменив стеклянную трубку резиновой или, лучше, прозрачной силиконовой трубкой, например от медицинской системы переливания растворов.

5.3.2. Автоколебательный сифон. Цель проекта заключается в изготовлении и исследовании сифона, который автоматически выдает одинаковые порции жидкости.

2.1. Сифон, отмеряющий равные порции жидкости. Автоматический сифон обеспечивает непрерывную перекачку жидкости из одного сосуда в другой. Встречаются ситуации, когда непрерывно текущую жидкость нужно поделить на равные порции. Если это маленькие порции, то можно использовать капельницу со слегка открытым краном. Вытекающая жидкость на конце трубки капельницы постепенно формирует каплю, и когда сила тяжести превзой-

дет силы поверхностного натяжения жидкости, капля отрывается от трубки. Далее процесс периодически повторяется.

Однако если нужны равные и сравнительно большие порции жидкости, то капельница не подойдет. Попробуйте с этой целью использовать сифон. Нужно сделать такой прибор, чтобы благодаря сифону сосуд, равномерно наполняемый жидкостью, периодически отдавал равные ее порции.

2.2. Сосуд Тантала. Такой сосуд принято называть сосудом Тантала по имени греческого бога, наказанного Зевсом за непослушание тем, что в его сосуд непрерывно лилась вода, которая выливалась наружу, как только Тантал хотел пить.

Схематически сосуд Тантала изображен на рис. 5.22: в стенке сосуда закреплен сифон, над сосудом расположен водопроводный кран, из которого с постоянной скоростью жидкость поступает в сосуд. Существенно, что скорость втекающей в сосуд жидкости меньше, чем скорость жидкости, вытекающей из сосуда через сифон.

Используя пластиковые бутылки, резиновые или силиконовые шланги, штативы или подставки, разработайте и изготовьте действующую модель сосуда Тантала.

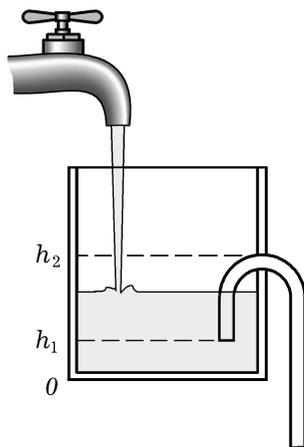


Рис. 5.22. К объяснению принципа действия сосуда Тантала

2.3. Действующая модель сосуда Тантала. На рис. 5.23 приведена фотография самодельного сосуда Тантала. Он представляет собой пластиковую бутылку емкостью 0,5 л, через отверстие в стенке которой пропущен силиконовый шланг внутренним диаметром 8 мм. Конец шланга упирается в противоположную стенку бутылки так, что находящийся в бутылке отрезок шланга изогнут вниз. Возле этого конца в шланге прорезано отверстие, положение которого определяет объем порции воды, за период вытекающей из сосуда Тантала. Подчеркнем еще раз, что скорость заполнения сосуда водой должна быть существенно меньше скорости ее вытекания через шланг.

Приведенных сведений вполне достаточно, чтобы каждый из вас смог в течение нескольких минут соорудить действующую модель сосуда Тантала и затем подробно исследовать ее работу.

2.4. Принцип действия сосуда Тантала. Экспериментируя, вы, конечно, разобрались, как работает сосуд Тантала. Вода из крана непрерывно наполняет сосуд до тех пор, пока ее поверхность не окажется на уровне h_2 , несколько выше изгиба сифона. Как только это произойдет, сифон включается, и вода с большой скоростью начинает вытекать из него. Это продолжается до тех пор, пока поверхность воды в сосуде не достигнет уровня h_1 , расположенного ниже входного отверстия сифона. Тогда сифон выключается, и вода вновь начинает наполнять сосуд. Далее процесс периодически повторяется так, что можно говорить о колебаниях уровня воды в сосуде.

Такие колебания называются *релаксационными*. Так как они не затухают до тех пор, пока непрерывно течет вода, наполняющая сосуд, то являются *автоколебаниями*. Осциллограмма релаксационных автоколебаний уровня воды в сосуде Тантала имеет вид, показанный на рис. 5.24.

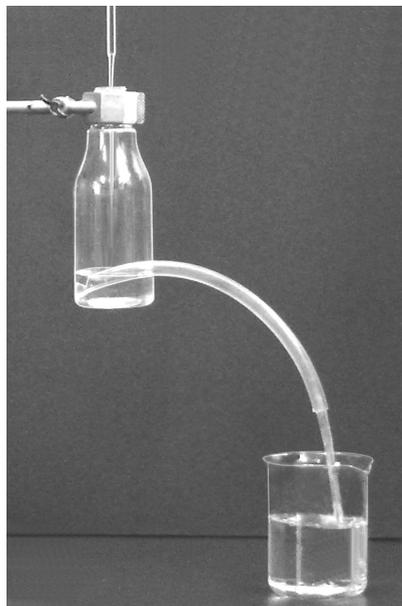


Рис. 5.23. Самодельный сосуд Тантала

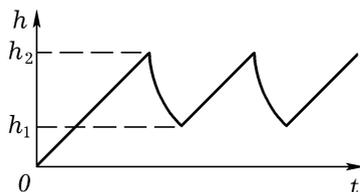


Рис. 5.24. График зависимости высоты уровня жидкости внутри сосуда Тантала от времени

Аналогичные автоколебания вырабатывает релаксационный генератор, состоящий из резистора, конденсатора и неоновой лампы или динистора.

5.3.3. Автоколебания струи и трубки, из которой она вытекает. Целью проекта является исследование вызванных струей автоколебаний трубки, закрепленной на конце резинового шланга с отверстием в его стенке.

3.1. Автоколебания стеклянной трубки. На конец стеклянной трубки внешним диаметром около 6 мм и длиной 20–30 см натяните резиновый шланг. Возле места соединения шланга с трубкой в резине проделайте отверстие диаметром 1–2 мм. Второй конец шланга соедините с водопроводным краном и пустите через стеклянную трубку воду.

Теперь возьмите шланг в руку так, чтобы отверстие оказалось сверху, и разверните шланг таким образом, чтобы стеклянная трубка расположилась почти горизонтально. Подобрал условия опыта, вы увидите, что трубка начинает совершать колебания, происходящие в вертикальном направлении и продолжающиеся все время, пока из нее течет вода!

Исследуйте и объясните обнаруженное в опыте явление незатухающих колебаний трубки, из которой вытекает струя жидкости.

3.2. Экспериментальная установка. Понятно, что исследование можно осуществить, если создать определенные условия, обеспечивающие воспроизводимость результатов эксперимента. Для этого трубку нужно не держать в руке, а закрепить, например, в лапке штатива. Конечно, воду удобно подавать из водопроводного крана. Но вместо него вполне можно использовать сосуд с водой (скажем, пластиковую бутылку), поднятый на высоту порядка метра от поверхности стола. Регулировать скорость вытекания воды удобно специальным зажимом или штативной лапкой с резиновыми прокладками.

Стеклянную трубку длиной 300 мм можно взять внутренним диаметром примерно от 4 мм до 10 мм. Мягкий резиновый шланг должен иметь такой же диаметр, что и трубка. В шланге на расстоянии 5–10 мм от места соединения со стеклянной трубкой нужно прорезать отверстие диаметром 1–3 мм. Оптимальный диаметр этого отверстия без труда подбирается экспериментально. Лучше, если отверстие сделано сверху шланга, но оно может находиться и сбоку и даже снизу. Длину отрезка шланга от конца стеклянной трубки до лапки штатива следует подобрать опытным путем.

Собрав экспериментальную установку, добейтесь незатухающих автоколебаний стеклянной трубки. Хорошо, если размах колебаний конца трубки достигнет 20–25 см. Для получения такого результата вам, возможно, потребуется подобрать место крепления шланга, радиус его изгиба, диаметр отверстия в стенке шланга и другие условия. Многое зависит от гибкости и жесткости резинового шлан-

га. Что касается скорости вытекания воды из трубки, то она легко регулируется так, что обеспечивается ее оптимальное значение.

3.3. Объяснение результатов эксперимента.

Для объяснения результата эксперимента внимательно наблюдайте за потоком воды в стеклянной трубке. Когда трубка находится в крайнем верхнем положении, она заполняется сплошным потоком воды (рис. 5.25 а). Так как заполненная водой трубка тяжелее, чем пустая, она опускается вниз. Но в крайнем нижнем положении вместо сплошного потока воды в трубке перемещается вода с воздушными пузырьками (рис. 5.25 б).

Они возникают по той причине, что давление в воде возле отверстия в резиновом шланге меньше атмосферного на величину, равную гидростатическому давлению столба жидкости в стеклянной трубке $p = \rho gh$, где h — это расстояние, на которое опускается конец трубки, когда она переходит из горизонтального положения в нижнее. Поэтому через отверстие в шланге втягивается воздух, который увлекается потоком воды и идет по стеклянной трубке в виде пузырьков. Трубка становится легче и поднимается вверх (рис. 5.25 в).

Давление внутри воды возле отверстия в шланге становится равным атмосферному, если трубка находится в горизонтальном

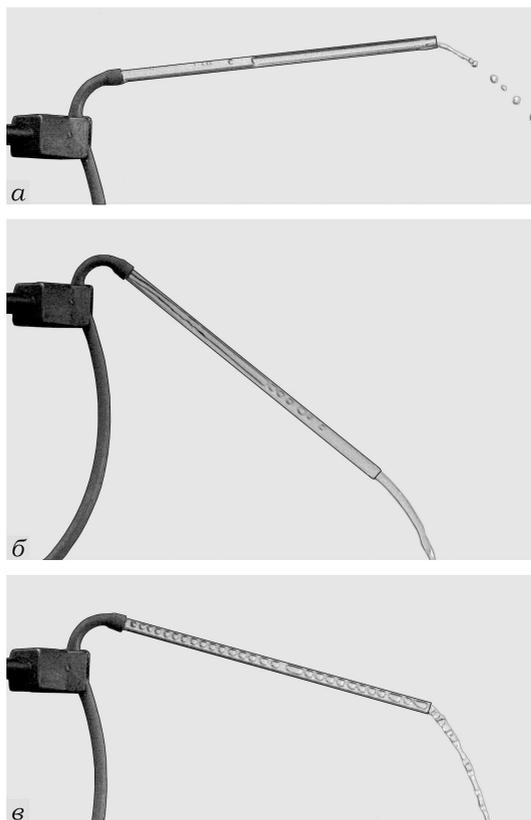


Рис. 5.25. Автоколебания стеклянной трубки, через которую течет вода: а — в верхнем положении трубка заполняется сплошным потоком; б — заполненная водой трубка опускается вниз, через отверстие в резиновом шланге втягивается воздух, образующий пузырьки в потоке жидкости; в — трубка с пузырьками воздуха становится легче и поднимается вверх

положении, и оказывается больше атмосферного, когда трубка по инерции поднимается еще выше. Теперь через отверстие в шланге воздух уже не всасывается, вода по трубке идет сплошным потоком, трубка становится тяжелее и опускается вниз. Дальше все повторяется вновь и вновь.

В сказанном вы легко убедитесь, если рукой принудительно заставите занимать стеклянную трубку верхнее, нижнее и промежуточные положения.

Само образование в трубке воздушных пузырьков — это релаксационные автоколебания. Пузырьки в наклоненной вниз неподвижной трубке имеют одинаковые размеры и находятся на равных расстояниях друг от друга. Значит, появляются они периодически. А именно так: при отклонении трубки вниз давление возле отверстия в шланге меньше атмосферного, поэтому внутрь воды растет пузырек воздуха. Размер пузырька становится все больше и, следовательно, увеличивается сопротивление пузырька потоку воды. Наконец, достигнув определенной величины, пузырек отрывается от отверстия в шланге, и немедленно начинает расти новый.

Из построенной модели явления следует, что чем больше скорость воды, тем меньше должен быть размер воздушных пузырьков в стеклянной трубке. Подтвердите справедливость этого следствия экспериментом.

3.4. Практическое применение автоматических сифонов. Результаты исследовательских проектов имеют особую ценность, если они находят практическое применение. На основе выполненных исследований разработайте конструкции реальных устройств, приносящих пользу. Приведем примеры, чтобы было понятно, в каком направлении нужно размышлять.

Если в автоматическом сифоне заменить стеклянную трубку металлической, а вместо пластмассового шарика использовать прочный металлический сосуд, легко соединяющийся с трубкой, то надежность автоматического сифона возрастет настолько, что его можно будет использовать в самых различных ситуациях.

Вставив сифон из резинового шланга в отверстие, проделанное в стенке металлической бочки, стоящей под водостоком, можно получить агрегат, обеспечивающий автоматический полив грядки равными порциями дождевой воды.

Попробуйте сами сообразить, какую пользу может принести трубка, совершающая автоколебания благодаря вытекающей из нее струи с пузырьками воздуха.

Глава 6

ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ

Каждое мгновение вокруг учащихся происходят самые разнообразные явления естественной и искусственной природы, которые исследует физическая наука. Движения и взаимодействия тел изучает механика; работа нагревательных и холодильных устройств относится к термодинамике; электродинамика исследует электризацию тел и электромагнитные излучения; радуга и голубой цвет неба являются предметом изучения оптики; узкий луч света из лазерной указки появляется благодаря законам квантовой физики.

Подавляющее большинство этих явлений воспринимается школьниками как данность и не вызывает потребности в понимании их сущности. Однако такое понимание является основой научной грамотности и в конечном итоге научного мировоззрения. Поэтому учебные исследования физических явлений, встречающихся учащимся на каждом шагу, должны занимать заметное место в тематике ученических проектов по физике.

Чтобы показать возможность проведения таких исследований, из всего многообразия явлений повседневности мы выбрали кумулятивный эффект. С этим явлением знакомы все школьники — они многократно наблюдали, как крупная капля дождя, упавшая на поверхность воды в луже, вызывает появление всплеска в виде небольшой струйки. Это не что иное как кумулятивная струя, возникающая при схлопывании полусферического углубления воды, созданного упавшей каплей. Школьники даже не догадываются, что образование всплеска и действие бронебойного кумулятивного заряда объясняет одна и та же физическая теория, относящаяся к гидродинамике.

6.1. Презентация элективного курса «Основы механики жидкости»

Чтобы учащиеся основной школы могли осознанно выбрать элективный курс для обучения на профильном уровне, необходима презентация этого курса. Очевидно, ознакомление с программой конкретного курса малоэффективно, поскольку школьники еще не владеют фактическим материалом и поэтому не

могут оценить значимость для себя содержания предлагаемого курса. Поэтому целесообразно в разработанном элективном курсе выбрать ключевые идеи, эффективные физические явления, практически значимые процессы и именно их использовать для презентации.

Рассмотрим возможный вариант презентации элективного курса, посвященного физическим основам механики жидкости.

6.1.1. Содержание элективного курса. Элективный курс «Основы механики жидкости» предназначен для учащихся 10 или 11 класса и рассчитан на 36 часов учебных занятий. Курс состоит из семи глав, каждая из которых содержит ряд параграфов, объединенных общей идеей. Отдельный параграф представляет собой полный элемент учебной физики, включающий учебную физическую теорию, учебный физический эксперимент и методику изучения определенного физического явления или группы явлений. Самостоятельная познавательная деятельность школьников обеспечивается сериями оригинальных задач и опытов.

Ниже представлено примерное содержание элективного курса «Основы механики жидкости».

1. **Основные понятия и законы гидростатики.** Сжимаемость жидкости. Закон Паскаля. Гидростатический парадокс. Закон Архимеда. Потенциальная энергия единицы объема жидкости. Манометр и микроманометр. Сифоны. Поршневые насосы. Гидравлический домкрат. Гидравлический пресс.

2. **Основные понятия и законы гидродинамики.** Задачи и методы гидродинамики. Вязкость (внутреннее трение) жидкости. Идеальная жидкость. Линии тока. Трубка тока. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли.

3. **Физические явления гидростатики.** Плавание тел. Устойчивость плавающих тел. Поплавок Декарта. Закон Архимеда в неинерциальной системе отсчета. Поплавковый акселерометр. Гидростатическое взвешивание.

4. **Течение жидкости.** Зависимость скорости течения от сечения трубы. Падение давления вдоль трубы постоянного сечения. Ламинарное и турбулентное течения. Истечение жидкости из отверстий. Фонтаны. Давление струи на препятствие. Вихревое движение. Обтекание тел. Реакция струи. Модели ракет.

5. **Гидродинамический удар.** Явление гидродинамического удара. Гидростатическое и гидродинамическое давление. Гидравлический таран. Удар капли о твердое препятствие. Гидродинамический удар в стеклянной бутылке. Электрогидравлический эффект.

6. **Гидродинамическая теория кумулятивного эффекта.** Кумулятивный заряд. Явление кумуляции механической энергии. Задача о соударении жидких струй. Пробивание струей препятствий. Формирование кумулятивной струи.

7. **Кумулятивные струи жидкости.** Фотографирование быстротекающих процессов. Кумулятивная струя, порожденная упавшей каплей. Опыт Покровского. Кумулятивная струя в пробирке с эластичным дном. Электрическая модель кумулятивного заряда.

Приведенное содержание позволяет сделать вывод, что предлагаемый элективный курс обеспечивает выполнимость требований современных стандартов физического образования относительно интеллектуального развития учащихся и формирования устойчивого интереса их к познавательной деятельности.

6.1.2. Содержание презентации элективного курса. Анализ содержания элективного курса показывает, что в качестве интересного школьникам и практически значимого объекта презентации можно выбрать *явление кумулятивного эффекта*. В таком случае в презентации должны быть представлены основные сведения о кумулятивном заряде, сообщено о гидродинамической теории кумулятивного эффекта и продемонстрировано явление кумуляции механической энергии.

Кумулятивный заряд. Школьники, интересующиеся физикой и техникой, обычно располагают некоторой информацией о кумулятивных зарядах и снарядах. Однако имеет смысл уточнить, что термин *кумуляция* происходит от латинского *cumulatio* — «скопление» или *cutulo* — «накапливаю» и дословно означает увеличение или усиление какого-либо эффекта за счет сложения или накопления нескольких однородных с ним эффектов. Физики и военные под кумуляцией обычно понимают усиление в определенном месте или направлении действия кратковременных процессов взрывного характера.

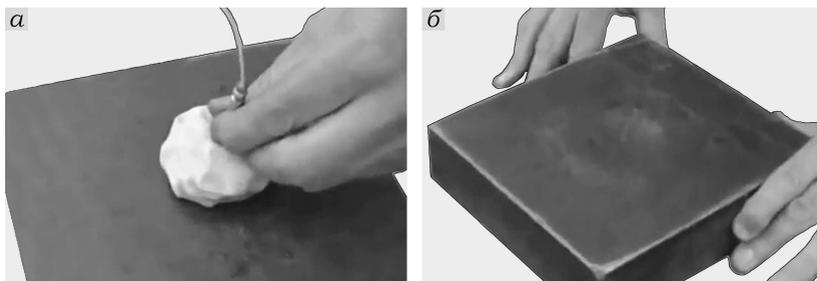


Рис. 6.1. Кадры из найденного в Интернете видеоролика, показывающего действие пластического взрывчатого заряда: *a* — заряд пластида расположен на стальной плите; *б* — при подрыве в плите образуется небольшая вмятина

Чтобы добиться быстрого понимания устройства и действия кумулятивного заряда, лучше всего в презентации продемонстрировать подходящий видеофильм. Мы рекомендуем видеoinформацию по адресу: <http://www.youtube.com/watch?v=l3iuE15IVcw>, посвященную изготовлению и подрыву кумулятивного заряда. После демонстрации видеоролика нужно обратить внимание школьников на отдельные стадии показанных в нем опытов.

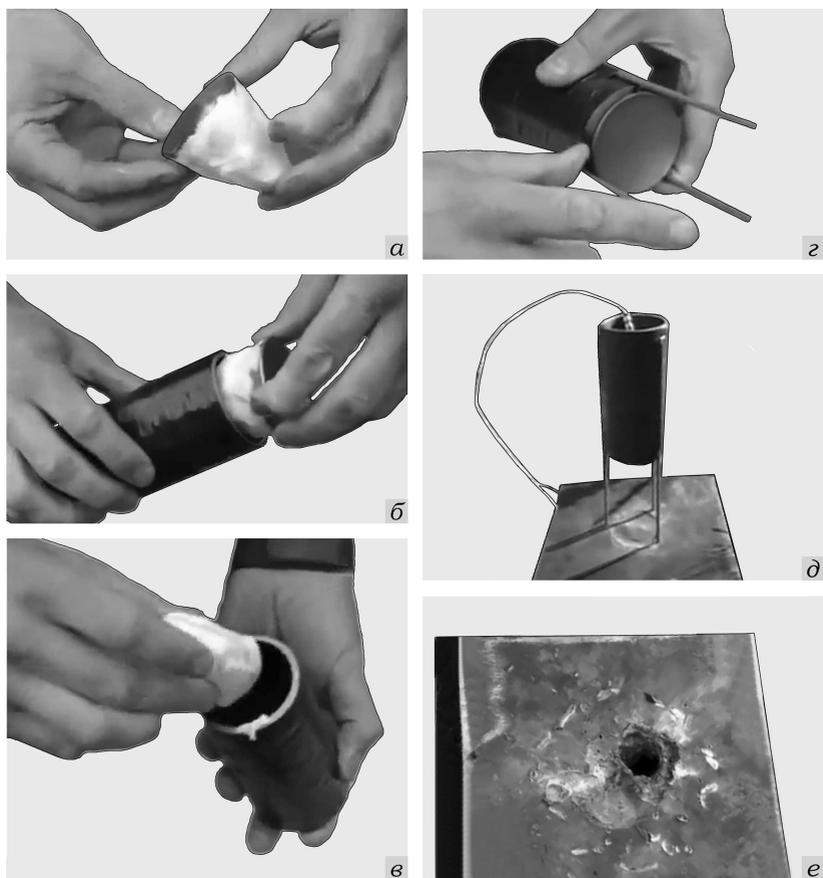


Рис. 6.2. Кадры из найденного в Интернете видеоролика, показывающего действие взрыва пластического взрывчатого заряда при использовании кумулятивного эффекта: *а–д* — подготовка кумулятивного снаряда; *е* — при подрыве получается сквозная пробоина в стальной плите

В первом опыте экспериментатор пластическое взрывчатое вещество (пластид) формирует в виде небольшого комка, помещает его на толстую стальную плиту и вставляет в заряд детонатор (рис. 6.1 *а*). После подрыва заряда на стальной плите остается небольшая вмятина (рис. 6.1 *б*).

Во втором опыте экспериментатор покрывает пластидом снаружи тонкий медный конус (рис. 6.2 *а*), вставляет его внутрь металлического цилиндра (рис. 6.2 *б*), вводит в цилиндр столько же пластида, как в первом опыте (рис. 6.2 *в*), прикрепляет к цилиндру ножки (рис. 6.2 *г*), устанавливает получившийся заряд на определенном расстоянии над плитой и вводит внутрь детонатор (рис. 6.2 *д*). По-

сле подрыва этого кумулятивного заряда в стальной плите образуется сквозная пробоина (рис. 6.2 *e*), а в почве под плитой возникает провал глубиной около полуметра!

Проанализировав опыт, делаем вывод, что при подрыве кумулятивного заряда происходит концентрация энергии взрыва в определенном месте и в определенном направлении.

Гидродинамическая модель кумулятивного эффекта. Кумулятивный эффект потрясает воображение любого человека. Но еще более сильное впечатление производит то обстоятельство, что теория кумулятивного эффекта построена на основе гидродинамической модели столкновения струй жидкости.

Оказывается, гигантские давления, возникающие при взрыве, приводят к тому, что металлическая облицовка конической выемки заряда и прочная металлическая плита проявляют себя как две практически несжимаемые жидкости. Физическая сущность кумулятивного эффекта раскрывается в явлении столкновения струй жидкости (рис. 6.3).

В презентации особое внимание обращают на то, что изучение основ механики жидкости позволяет разобраться во многих интересных и практически важных явлениях, подобных кумулятивному эффекту.

Демонстрация кумуляции механической энергии. После показа презентации демонстрируют школьникам простой опыт по кумуляции механической энергии.

Для опыта готовят трехлитровую банку, полиэтиленовую крышку, стеклянную пробирку диаметром 16 мм, длиной 150 мм и массой 15 г, молоток, отстоявшуюся или прокипяченную воду, стиральный порошок.

Пробирку тщательно моют изнутри и снаружи в теплой воде со стиральным порошком и затем промывают проточной водой так, чтобы не осталось следов порошка. Пробирка промыта достаточно, если она хорошо смачивается водой.

Явление демонстрируют в такой последовательности.

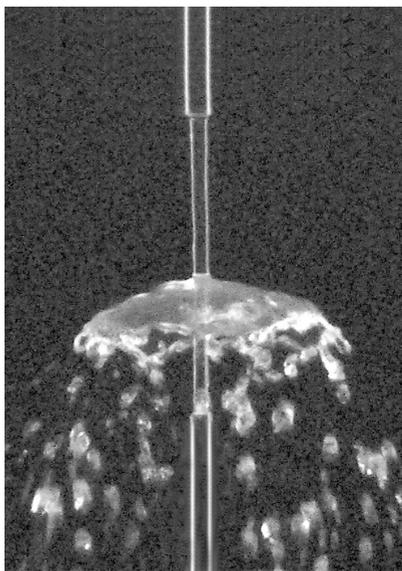


Рис. 6.3. Пелена, получающаяся при столкновении двух вертикальных струй, направленных навстречу друг другу

В банку наливают воду так, чтобы сверху остался слой воздуха толщиной 3–4 см. Отверстие банки закрывают полиэтиленовой крышкой. Молоток берут в руку и производят им кратковременный удар по центру полиэтиленовой крышки. Спрашивают: какие явления происходят при ударе?

Учащиеся должны пояснить, что в банке находятся две среды: легко сжимаемый газ и слабо сжимаемая жидкость. Поэтому удар молотка по крышке приводит к резкому сжатию воздуха в банке. Возросшее давление воздуха передается воде, в которой от поверхности вниз распространяется упругая волна сжатия. Дойдя до дна банки, упругая волна отражается назад. Упрощенно можно считать, что удар молотка приводит к появлению высокочастотных поршнеобразных колебаний воздуха и воды в банке.

Задают следующий вопрос: как происходит преобразование энергии в проделанном опыте?

Учащиеся говорят, что до удара вода обладала потенциальной энергией, которая непрерывно распределена по всему объему. При необходимости учитель поясняет, что удар вызвал рост потенциальной энергии элементов жидкости, которые приобрели также определенную кинетическую энергию. Но механическая энергия по-прежнему распределена по всему объему жидкости.

Ставят проблему: как сконцентрировать распределенную по всей жидкости механическую энергию в небольшом объеме?

Школьники могут догадаться, что для этого нужно внутри жидкости создать полость, заполненную газом. В этом случае



Рис. 6.4. Наблюдение кумуляции энергии в простом опыте

рост давления в жидкости приведет к сжатию полости и именно в этом месте потенциальная энергия будет заметно переходить в кинетическую.

Чтобы проверить сделанное предположение, в пробирку примерно на треть наливают воду, отверстие пробирки закрывают пальцем, переворачивают пробирку и быстро погружают ее в воду. Пробирка плавает в воде вертикально так, что ее доньшко лишь слегка выставляется из воды. Закрывают банку полиэтиленовой крышкой и производят по ней удар молотком.

При этом учащиеся наблюдают, что внутри пробирки возникает струя воды, бьющая вертикально вверх (рис. 6.4). Нередко эта струя достигает дна пробирки.

Из опыта со всей очевидностью следует вывод, что внутри пробирки произошла кумуляция механической энергии жидкости.

Повторяют опыт несколько раз и в деталях объясняют явление. При ударе молотка по крышке давление в воде растет, воздух в пробирке сжимается, и вода частично входит внутрь пробирки. Вслед за сжатием наступает фаза разрежения: уровень воды в пробирке снижается и, поскольку вода хорошо смачивает стекло, внутри пробирки в воде образуется углубление. Следующая стадия сжатия приводит к схлопыванию этого углубления и образованию кумулятивной струи.

Аналогичным образом образуется кумулятивная струя металла при подрыве взрывчатого вещества и схлопывании конической оболочки заряда.

В заключение подчеркнем, что предлагаемая презентация создаст достаточно полное представление о содержании курса, посвященного механике жидкости, и способствует осознанному выбору учащимися элективного курса для обучения на профильном уровне.

6.2. Исследование гидродинамического удара

Явления механики жидкости обеспечивают разнообразную и интересную для школьников проектную деятельность. В этом параграфе представлен образовательный ресурс, предназначенный для выполнения ученического проекта по учебному исследованию гидродинамического удара. Предлагаемый дидактический ресурс исследуемого физического явления, 13 творческих заданий и рассчитан на полное выполнение звеном из двух учащихся 9 или 10 класса в течение месяца. В заключительной части параграфа кратко рассмотрен педагогический эксперимент по

проверке возможности и целесообразности выполнения предлагаемого проекта в массовой школе.

Гидростатическое давление вам хорошо знакомо из школьного курса физики. Ударное гидродинамическое давление в школе не изучается, но уже сотни лет используется на практике в устройствах, получивших название гидравлического тарана. Гидродинамический удар, кроме пользы, может принести и немалый вред. Поэтому экспериментальное исследование этого явления в учебном проекте представляет значительный интерес.

6.2.1. Информация о гидродинамическом ударе. Явление гидродинамического удара было подробно исследовано выдающимся русским ученым Н. Е. Жуковским еще в 1898 году [34]. Побудительной причиной этого исследования явились разрывы стальных и чугунных водопроводных труб, время от времени происходившие при быстром закрывании их заслонок. Очень схематично рассуждения Н. Е. Жуковского можно изложить следующим образом.

Пусть по трубе 1, площадь поперечного сечения которой S , со скоростью v течет жидкость плотностью ρ (рис. 6.5 а). Мгновенно перекроем трубу заслонкой 2 (рис. 6.5 б). Жидкость возле заслонки сразу остановится. Кинетическая энергия текущей жидкости при этом будет израсходована на сжатие жидкости рядом с заслонкой. Область сжатия распространяется навстречу текущей жидкости со скоростью c упругой (звуковой) волны. Те точки жидкости, до которых она дошла, останавливаются.

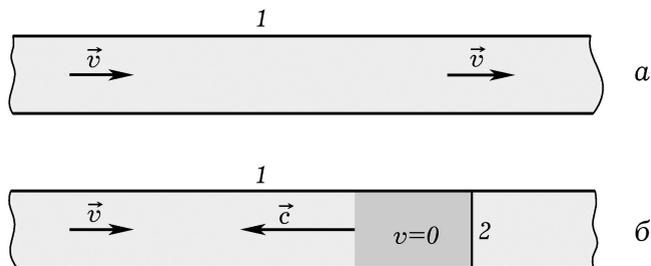


Рис. 6.5. К объяснению явления гидродинамического удара и выводу формулы для скачка давления

За небольшое время τ заслонкой будет остановлен объем жидкости $V = c\tau S$. Этот объем, двигавшийся до остановки со скоростью v , обладал импульсом $mv = \rho Vv = \rho c\tau Sv$, где m — масса объема V . Сила, действующая со стороны жидкости на заслонку, равна передаваемому заслонке импульсу, деленному на время τ : $F = mv/\tau$.

Чтобы узнать давление жидкости на заслонку, эту величину нужно еще разделить на площадь заслонки: $p = F/S = mv/\tau S$. Таким образом, получаем

$$p = \rho v c. \quad (6.1)$$

Именно на эту величину p повышается давление в текущей по трубе со скоростью v жидкости, если «мгновенно» возле заслонки скорость ее уменьшается до нуля.

Так как скорость звука в воде довольно велика ($c = 1500$ м/с), то даже при малых скоростях воды рост давления при гидродинамическом ударе будет весьма ощутимым. Понятно, почему до тех пор, пока не была вскрыта физическая сущность гидродинамического удара, разрывались водопроводные трубы и почему в наших квартирах водопроводные краны сделаны так, чтобы перекрывать воду можно было лишь постепенно.

6.2.2. Исследовательские задания. Явление гидродинамического удара можно экспериментально исследовать в лабораторных или даже в домашних условиях, используя оборудование, которое всегда есть под руками (рис. 6.6).

Задание 1. Основные физические понятия и законы. Прежде чем приступать к исследованию, полистайте учебник физики и вспомните необходимые для дальнейшего сведения. Что такое импульс тела? Что понимают под импульсом силы? Как формулируется закон сохранения импульса?

Задание 2. Упругая волна. Какая волна называется упругой? Что собой представляет звук? В каких средах может распространяться звук? Каковы примерные значения скорости звука в воздухе, воде и стали? Поперечна или продольна упругая волна в жидкости?

Задание 3. Теория гидродинамического удара. Изучите изложенные выше теоретические основы гидродинамического удара. По формуле (6.1) постройте график зависимости роста давления p



Рис. 6.6. Школьник исследует образование кумулятивных струй жидкости различными воронками. Выполнение проектного исследования организовала студентка Глазовского пединститута М. Л. Ушакова

от скорости воды v при внезапной ее остановке, если v изменяется в пределах от 0 до 10 м/с.

Задание 4. Способ наблюдения гидродинамического удара. В вашем распоряжении имеется широкий сосуд с водой и трубка, один из концов которой перекрыт заглушкой с небольшим отверстием. Каким образом, используя указанное оборудование, можно наблюдать гидродинамический удар? Предложите идею эксперимента.

Задание 5. Наблюдение гидродинамического удара. Опираясь на результат выполнения предыдущего задания, проведите наблюдения гидродинамического удара при использовании стеклянных воронок различных форм и размеров. Сделайте выводы из выполненных экспериментов.

Задание 6. Гидростатическое давление. Приготовьте пластиковую бутылку, гибкий резиновый или силиконовый шланг и сопло с небольшим отверстием. Используя перечисленное оборудование, предложите экспериментальную установку и выполните опыт, позволяющий определить гидростатическое давление в воде возле сопла, например методом фонтана.

Задание 7. Скорость воды в струе. Выполнив предыдущее задание, вычислите скорость воды, вытекающей из сопла, и полученный результат проверьте в эксперименте.

Задание 8. Зависимость скорости струи от давления в сосуде. Приготовьте пластиковый шприц, стакан с водой и широкий сосуд для сбора воды. Наберите в шприц воду, надавите на поршень и получите струю. Выведите формулу и измерьте скорость вытекающей из сопла воды по дальности полета струи. Экспериментально и теоретически исследуйте зависимость скорости струи от давления в сосуде.

Задание 9. Гидродинамический удар. Приготовьте пластиковую бутылку, гибкий резиновый или силиконовый шланг и стеклянную трубку внутренним диаметром примерно 8 мм и длиной 100 мм, один из концов которой перекрыт заглушкой с небольшим отверстием. Используя перечисленное оборудование, разработайте и поставьте опыт, показывающий, что при внезапной остановке текущей по трубе жидкости возникает гидродинамический удар.

Задание 10. Сила гидродинамического удара. Опираясь на результаты выполнения предыдущего задания, исследуйте зависимость силы гидродинамического удара от скорости воды в трубе.

Задание 11. Оценка гидродинамического давления. По высоте подъема фонтана воды вычислите давление, развиваемое в ваших опытах при гидродинамическом ударе. Полученный результат сопо-

ставьте с представленными выше теоретическими выводами. Сделайте заключение.

Задание 12. Исследование условий опыта. Изучите, как результат опыта по гидродинамическому удару зависит от формы сопла (прямоугольное, коническое и другие). Зарисуйте получаемые вами установки и сделайте выводы о выполнимости предсказаний учебной теории.

Задание 13. Датчик давления. Найдите в Интернете информацию о малоинерционных датчиках давления. Изучите возможность исследования гидродинамического удара посредством такого датчика и компьютерного осциллографа.

6.2.3. Результаты проектной деятельности учащихся. Как уже неоднократно подчеркивалось, организация в школе деятельности по осуществлению учащимися исследовательских проектов возможна лишь при условии достаточной экспериментальной подготовленности учителя физики. Такая подготовленность должна обеспечиваться в педагогическом вузе. Однако ни стандарт высшего профессионального образования, ни программы специальных дисциплин не предусматривают формирование соответствующей компетенции студентов при изучении физики.

В связи с этим возникает проблема: как обеспечить экспериментальную подготовленность студентов к руководству проектной исследовательской деятельностью школьников при минимальных затратах времени и труда преподавателей вуза?

Мы предположили, что решение этой проблемы возможно, если группе выпускников в период стажерской практики выделить строго ограниченное время для самостоятельного выполнения серии разных детально разработанных школьных проектов по определенной теме так, чтобы в про-



Рис. 6.7. Школьница выполняет учебное исследование гидродинамического удара. Непосредственное руководство проектом осуществляла студентка Глазовского пединститута А.А.Поздеева

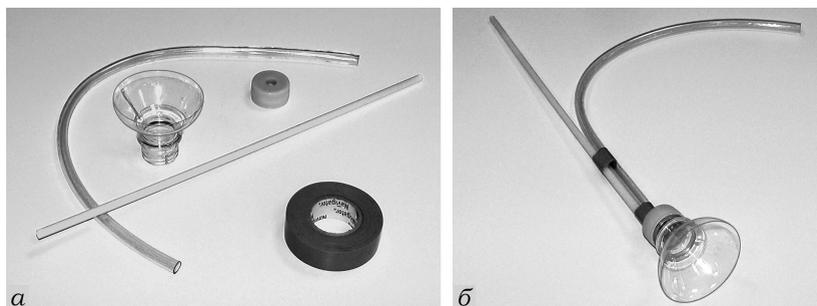


Рис. 6.8. Исследовательский проект, выполняемый с использованием готового дидактического ресурса, при ответственном подходе исполнителей приводит к объективно новым результатам: на photographs показаны элементы (а) и готовое устройство (б), являющееся надежным и бесперебойно работающим автоматическим сифоном. Совершенствование прибора, изображенного на рис. 5.19, стало возможным благодаря исследованию кумулятивных струй в воронках

цессе работы была обеспечена возможность свободного обмена информацией, а по завершении работы выпускниками были представлены и ими обсуждены компьютерные презентации по каждому проекту.

Педагогический эксперимент по проверке этого предположения дал положительные результаты. Однако они не позволяют утверждать, что приобретенные выпускниками умения будут востребованы, когда они приступят к работе в школе.

Поэтому мы продолжили пед-эксперимент, организовав в рамках спецкурса такую же работу, как с выпускниками, со студентами 4 курса, приступающими в начале следующего учебного года к педагогической практике в школе. Одно из заданий педпрактики заключается в проведении практикантами внеклассного мероприятия. Оказалось, что студенты, освоившие учебный экспери-



Рис. 6.9. Гидродинамический удар в автоматическом сифоне

мент по интересным физическим явлениям, обычно выбирают именно его в качестве основы планируемого внеклассного мероприятия. В нашем случае это мероприятие сводилось к организации проектной деятельности небольшой группы школьников с последующей презентацией результатов этой деятельности всему классу.

В этом педагогическом эксперименте, подготовленном и проведенном в тесном взаимодействии преподавателей и их студентов, приняли участие около 400 учащихся старшей школы. Непосредственно исследовательские проекты выполнили 32 школьника, остальные приобщились к проектной деятельности в процессе проведенных презентаций.

Все это оказалось возможным благодаря тому, что заранее было разработано содержание проектных исследований [10]. Одно из таких исследований и представлено в настоящем параграфе. Фотографии школьников, выполняющих проекты по исследованию гидродинамического удара (рис. 6.6, 6.7), сделаны самими студентами.

Следует подчеркнуть, что несмотря на простоту и доступность выполняемых школьниками опытов, при доскональном исследовании физического явления возможно получение новых интересных результатов. Например, весьма впечатляющими являются кумулятивные струи, бьющие из различных воронок, сделанных на основе подручных материалов. Экспериментальное исследование гидродинамического удара в таких воронках позволяет обеспечить надежную работу автоматического сифона [60, 160], фотографии которого показаны на рис. 6.8 и 6.9.

6.3. Исследование разрушений при гидродинамическом ударе

В предыдущем параграфе изложено содержание проекта по учебному исследованию явления гидродинамического удара. Здесь рассмотрен ученический проект, связанный с экспериментальным исследованием разрушений, которые может вызвать это явление. Цель экспериментального исследования заключается в получении фотографий стеклянного сосуда в момент его разрушения при гидродинамическом ударе. Для учащихся 10 класса это непростое исследование, поэтому параграф завершается описанием условий и результатов педагогического эксперимента, подтвердившего возможность выполнения его в массовой школе.

Чтобы разобраться в физической сущности быстропротекающих процессов, используют методы высокоскоростной кино- или видеосъемки. Это требует применения сложной и дорогостоящей аппаратуры. Однако во многих случаях достаточно получение моменталь-

ных фотографий быстропротекающего процесса в самый важный для исследования момент времени. Попробуйте освоить метод моментального фотографирования в экспериментальном исследовании гидродинамического удара.

6.3.1. Информация о цифровом фотоаппарате. Цифровой фотоаппарат очень похож на глаз человека: вместо роговицы и хрусталика у него стеклянный объектив, а вместо сетчатки — ПЗС-матрица. Сетчатка, на которой получается оптическое изображение, нервами соединена с мозгом человека, а ПЗС-матрица фотоаппарата кабелем соединена с компьютером.

При фотографировании срабатывает затвор фотоаппарата, открывающий на определенное время *экспозиции* или *выдержки* его объектив. Чем слабее освещен фотографируемый предмет, тем больше должна быть выдержка, чтобы получились качественные фотографии.

Подробнее познакомиться с устройством и принципом действия цифрового фотоаппарата вы сможете, найдя информацию о нем в Интернете. Сейчас нужно разобраться в том, как цифровым фотоаппаратом можно сфотографировать быстропротекающий механический процесс, например разрыв некоторого предмета на отдельные части.

Здесь несколько взаимосвязанных проблем. Так как фотографируемый объект или его части быстро перемещаются, то их изображение на ПЗС-матрице за время выдержки будет изменяться и в результате получится нерезким. Чтобы оно оставалось резким, нужно сократить время экспозиции, но тогда уменьшится яркость изображения.

Удовлетворить этим противоречивым требованиям можно, осветив фотографируемый объект кратковременной яркой вспышкой света. При этом, пока длится вспышка, затвор фотоаппарата должен оставаться открытым. Но как узнать, когда должна быть произведена вспышка?

Допустим, исследуется быстропротекающий процесс, при котором части разорвавшегося тела движутся с большой скоростью. Если при этом одна из них перекрывает узкий относительно слабый пучок света, то сигнал о его перекрытии может включить импульсную лампу, и произойдет яркая вспышка света. Если в этот момент на предмет направлен фотоаппарат с открытым затвором, то на его ПЗС-матрице будет записано резкое изображение предмета.

6.3.2. Исследовательские задания. Гидродинамический удар в замкнутой полости может приводить к разрушению прочных стенок этой полости. Интересно получить фотографии этого процесса,

чтобы воочию увидеть, как он происходит. Это позволит найти способы борьбы с гидродинамическим ударом.

Задание 1. Рост давления при гидродинамическом ударе. Как известно, гидродинамический удар происходит при резкой остановке потока текущей жидкости. При этом давление в остановившейся жидкости возрастает на величину, определяемую формулой

$$p = \rho v c,$$

где ρ — плотность, v — скорость текущей жидкости, c — скорость звука в неподвижной жидкости.

Попробуйте вывести самостоятельно наиболее простым способом приведенную формулу для роста давления при гидродинамическом ударе.

Задание 2. Водяной молоток. В прежние времена в любом приличном кабинете физики всегда можно было найти *водяной молоток* — вытянутый запаянный сосуд из стекла с резервуаром и узким горлышком, в котором находится немного воды и удален воздух. Поразительно, что при переворачивании сосуда вода свободно проходит через небольшое отверстие горлышка. Если такой сосуд взять в руку и сделать резкое движение сначала вверх, а затем вниз (рис. 6.10), то вода ударяется о дно сосуда, как твердое тело.

Объясняется это интересное явление тем, что кроме воды в сосуде имеется лишь насыщенный водяной пар. Как известно, давление насыщенного пара не зависит от его объема — при уменьшении объема насыщенный пар просто конденсируется в жидкость.

Не могли бы вы разработать доступный способ изготовления водяного молотка? Доступный — это значит такой, который можно воспроизвести в кабинете физики или даже в домашних условиях.

Задание 3. Водяной молоток и гидродинамический удар. Допустим, в вашем распоряжении имеется стеклянная бутылка. Как нужно действовать, чтобы в бутылке произошел гидродинамический удар? Подробно объясните физическую сущность ожидаемых явлений.

Задание 4. Гидродинамический удар в стеклянной бутылке. Приготовьте стеклянную бутылку объемом 0,5 л с плавно сужающейся-



Рис. 6.10. Для демонстрации свойств насыщенного пара используют водяной молоток

ся горловой частью, специальный молоток, матерчатую перчатку, сосуд с водой и широкий сосуд для сбора воды. В качестве молотка можно взять деревянную киянку и на одну из ее рабочих поверхностей наклеить, например, двухсторонним скотчем плотную резиновую накладку толщиной 2–4 мм. Надев на руку перчатку, возьмите бутылку за горловую часть и резко, но не слишком сильно, ударьте молотком по горлышку. Повторите опыт несколько раз. Теперь на $3/4$ заполните бутылку водой и повторите опыт. Опишите и объясните получающийся результат.

Задание 5. Давление при гидродинамическом ударе. Теоретически оцените, насколько возрастает давление в воде при гидродинамическом ударе, возникающем при ударе молотком по горлышку бутылки в условиях предыдущего опыта.

Задание 6. Демпфирование гидродинамического удара. Предложите и проверьте в эксперименте способ демпфирования гидродинамического удара, предотвращающий разрушение стеклянной бутылки.

Задание 7. Фотографирование разрушения. Представьте, что в результате гидродинамического удара произошло разрушение какого-то сосуда. Как сфотографировать этот процесс? Можно ли для фотографирования использовать обычные лампы? Как работает лампа-вспышка? Что такое синхроконттакт?

Задание 8. Синхронизация вспышки. Каким образом можно угадать момент, в который нужно произвести фотографирование разрушающегося от гидравлического удара сосуда? Изобразите функциональную схему экспериментальной установки для моментального фотографирования нужной стадии быстропротекающего процесса.

Задание 9. Оптоэлектронный ключ. На рис. 6.11 изображена принципиальная схема оптоэлектронного ключа. В исходном состоянии на фотодиод $VD1$ падает световой пучок, поэтому через резистор $R1$, фотодиод $VD1$ и переход база-эмиттер транзистора $VT1$ идет ток. При этом транзистор открыт, сопротивление перехода коллектор-эмиттер мало и напряжение между управляющим электродом и катодом тринистора $VD2$ близко к нулю. В результате тринистор заперт, и сопротивление между его анодом и катодом велико. Это соответствует разомкнутому ключу.

Если падающий на фотодиод $VD1$ световой пучок перекрыть, то сопротивление фотодиода резко возрастает, ток базы транзистора $VT1$ скачком уменьшается, транзистор закрывается, на его коллекторе появляется положительный потенциал относительно эмиттера, и это напряжение оказывается приложенным между управляющим электродом и катодом тринистора $VD2$. В результате тринистор

открывается, и сопротивление между его анодом и катодом уменьшается, что соответствует замкнутому ключу.

Разберитесь в принципе действия рассмотренной схемы. Разработайте монтажную плату и соберите оптоэлектронный ключ. При налаживании прибора, возможно, потребуется подобрать резистор $R2$. Устаревший тиристор типа КУ101Е можно заменить на MCR100, рассчитанный на рабочее напряжение 200–600 В.

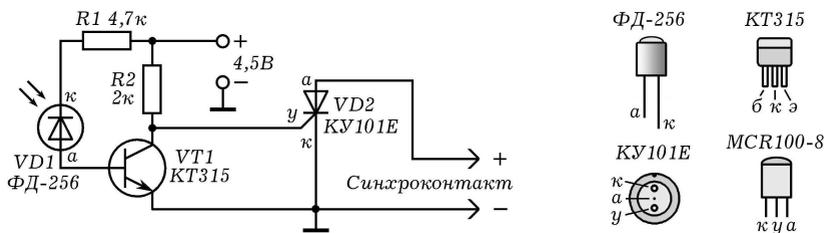


Рис. 6.11. Принципиальная схема оптоэлектронного ключа

Задание 10. Установка для моментального фотографирования заданной стадии явления. В вашем распоряжении имеются полупроводниковый лазер, лампа-вспышка с синхроконтрактом и оптоэлектронный ключ. Разработайте функциональную схему установки, позволяющей сфотографировать быстродвижущийся объект в заранее заданном положении или в определенный момент времени.

Задание 11. Фотографирование разрушающегося при гидродинамическом ударе сосуда. Если полулитровую стеклянную бутылку, заполненную водой на три четверти, сбоку держать за горлышко и резко ударить по нему сверху, то произойдет гидродинамический удар, в результате которого дно бутылки отвалится. Разработайте способ фотографирования разрушающейся бутылки. Проверьте предложенный способ в эксперименте.

Задание 12. Фотографии разрушений при гидродинамическом ударе. Получите и проанализируйте фотографии, соответствующие последовательным стадиям разрушения одинаковых стеклянных бутылок.

Задание 13. Сопоставление эксперимента и теории. Объясните, почему проведенные опыты свидетельствуют в пользу учебной теории гидродинамического удара, изложенной в исследовательском проекте, рассмотренном в п. 6.2.

6.3.3. Педагогический эксперимент. Педагогические эксперименты с целью проверки возможности и целесообразности выполнения обсуждаемого проекта в школьных условиях проведены студентами 5 курса Глазовского пединститута Е. Г. Барышниковой



Рис. 6.12. Школьники фотографируют разрушение стеклянной бутылки при гидродинамическом ударе. Вспышка происходит в момент перекрывания отпадающим дном бутылки светового пучка от полупроводникового лазера. Руководила проектной деятельностью школьников студентка Глазовского пединститута Е. Г. Барышникова

и М. Н. Владыкиным. Предварительно они сами выполнили все задания проекта и сдали зачет, в письменной форме ответив на следующие вопросы анкеты.

1. В чем физическая сущность гидродинамического удара?
2. Каково максимальное давление при гидродинамическом ударе, если скорость воды 10 м/с?
3. Что представляет собой и как работает водяной молоток?
4. Что такое насыщенный пар и каковы его свойства?
5. Как происходит гидродинамический удар в стеклянной бутылке?
6. Каково давление в бутылке при гидродинамическом ударе?
7. Как можно ослабить гидродинамический удар?
8. Как сфотографировать разрушающуюся бутылку?

9. Что такое синхронизация световой вспышки?
10. Как устроен и как работает оптоэлектронный ключ?
11. Как можно сфотографировать разрушающуюся бутылку?
12. Что собой представляет и как работает фотодиод?
13. Что такое тринистор и что означают буквы *K*, *A*, *У* на его схематическом изображении?

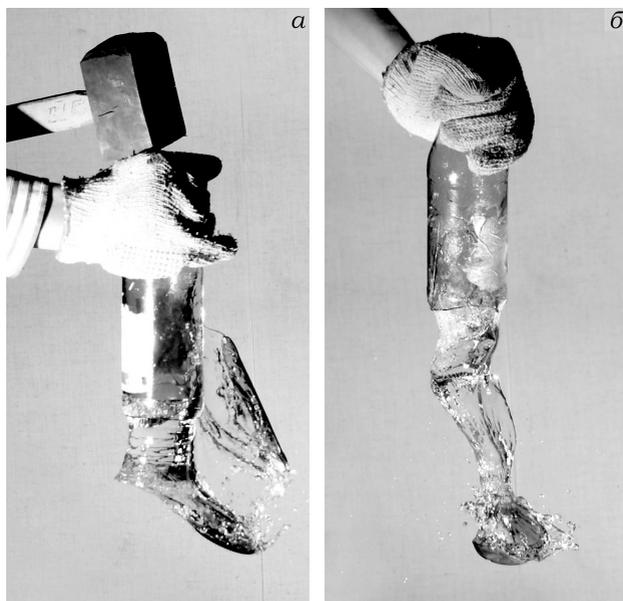


Рис. 6.13. Полученные школьниками фотографии разрушения стеклянной бутылки при гидродинамическом ударе

Кроме того, они ознакомились с методикой организации исследовательских проектов учащихся [10], изучили простые опыты с насыщенным паром [131] и освоили технологию изготовления компьютерных презентаций [57].

В группе Е. Г. Барышниковой проект выполняли трое учеников 10 класса (из них две девочки) обычной школы, в группе М. Н. Владыкина работали два учащихся 10 класса физико-математического лицея. Работа проводилась в середине педпрактики в течение двух последних недель сентября. Все учащиеся блестяще справились с экспериментами, и каждый из них индивидуально оформил подробный отчет по выполненному исследованию. На рис. 6.12 и 6.13 приведены фотографии, сделанные самими школьниками под руководством студентов. С результатами проектов они ознакомили своих товарищей. Выступления перед классами



Рис. 6.14. Защита результатов проекта перед классом

сопровождались компьютерными презентациями и натурными экспериментами (рис. 6.14).

Проведенный педагогический эксперимент [62, 63] позволяет сделать ряд выводов. Во-первых, для успешного осуществления проекта необходима предварительная экспериментальная подготовка его научных руководителей. Во-вторых, обсуждаемый проект доступен учащимся, начиная с выпускного класса основной школы, поскольку в педэксперименте его осуществили ученики 10 класса в самом начале учебного года. В-третьих, проект вызывает значительный интерес школьников и оставляет в их сознании заметный след, так как впоследствии они выступали с результатами работы на научных конференциях учащихся различного уровня.

Глава 7

ПРОЕКТЫ СОЗДАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В основе организации проектной деятельности учащихся лежит принцип продуктивности. Суть его состоит в том, что в результате выполнения проекта должен получиться продукт, приносящий пользу исполнителю и другим людям. Продуктом внеурочной деятельности учащихся, польза которого очевидна, являются учебные физические приборы, пригодные для непосредственного использования на уроках физики.

Наибольший интерес у школьников вызывают электронные приборы. Поэтому при формировании тематики исследовательских проектов нужно выбирать такие проблемы, которые связаны с разработкой, изготовлением и использованием в учебном эксперименте простых электронных приборов. Целями этих проектов могут быть совершенствование известных учебных приборов, создание новых приборов и проверка достоверности информации о физических приборах, содержащейся в методических публикациях и Интернете.

В главе представлены образовательные ресурсы проектной деятельности по совершенствованию модели анемометра и созданию приборов для получения ультразвука низкой частоты.

7.1. Учебная модель анемометра

Проект по разработке учебной модели анемометра предназначен для развития исследовательских, конструкторских и коммуникативных умений учащихся 8–10 классов. Дидактический ресурс проекта представляет собой серию исследовательских заданий, обеспечивающую организацию проектной деятельности группы из трех-четырех звеньев по два учащихся в каждом. После каждого задания приводится возможный вариант его выполнения.

Проектная деятельность школьника является подлинно исследовательской, если ее результат отличается объективной новизной. Для учебно-исследовательской деятельности достаточно получение субъективно нового результата. В работе [87] показано, что в совместной исследовательской деятельности учителя и ученика объективно новый результат может быть получен, как правило, только

в области учебной физики. Важнейшей функцией учителя при этом является определение содержания проекта и осуществление руководства его выполнением.

Наиболее просто содержание исследовательского проекта определяется проблемой совершенствования хорошо известного учителю, но к настоящему времени морально устаревшего учебного физического эксперимента. Само по себе физическое явление устареть не может — архаичными со временем становятся физические приборы, посредством которых это явление воспроизводится. Поэтому проблема совершенствования учебного эксперимента зачастую сводится к задаче разработки новых учебных приборов, обеспечивающих его выполнение.

Представляя в целом этапы решения этой задачи, учитель формулирует серию заданий, последовательное выполнение которых доступно ученику. Далее совместная проектная деятельность учителя и ученика заключается в выполнении заданий, обсуждении их результатов, оформлении презентации завершеного проекта. Поясним суть предложенной методики конкретным примером проекта «Исследование учебной модели анемометра» [64].

7.1.1. Серия исследовательских заданий. Как уже отмечалось выше, процесс выполнения проекта должен быть структурирован. Наиболее целесообразна разработка серии исследовательских заданий, обеспечивающих в зависимости от их объема и сложности индивидуальное, парное или групповое выполнение проекта. На примере исследования модели анемометра покажем, как может быть сконструирована серия заданий, предназначенная для организации проектной деятельности группы из трех-четырех звеньев по два учащих в каждом.

7.1.2. Известная модель анемометра. Новое исследование всегда начинается с изучения того, что исследовано раньше, что уже сделано и поэтому хорошо известно.

Задание. В книге В. Г. Разумовского «Творческие задачи по физике» предлагается, используя зависимость сопротивления проводника от температуры, сконструировать прибор для определения скорости ветра — анемометр [84, с. 142]. Решите поставленную задачу, сравните полученное решение с приведенным в указанной книге, соберите прибор, выявите его достоинства и недостатки.

Выполнение. Приведенное в книге В. Г. Разумовского решение поставленной задачи понятно из схематического изображения модели анемометра (рис. 7.1). Чтобы изготовить и в эксперименте исследовать такую модель, можно использовать лампу накаливания мощностью 75 Вт, рассчитанную на напряжение 220 В.

Для извлечения спирали из лампы ее стеклянный баллон оборачивают тканью и ребром смоченного в воде напильника возле цоколя делают надрез до тех пор, пока не образуется отверстие, через которое в баллон входит воздух. Затем напильником по стеклу возле цоколя делают канавку и отделяют стеклянный баллон от цоколя. Куски стекла, оставшиеся возле цоколя, стачивают плоскостью смоченного водой напильника. Цоколь со спиралью вворачивают в стандартный патрон для лампы.

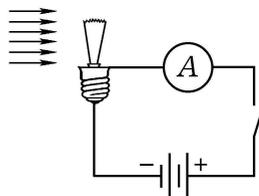


Рис. 7.1. Схема анемометра, предложенная в работе [84, с. 142]

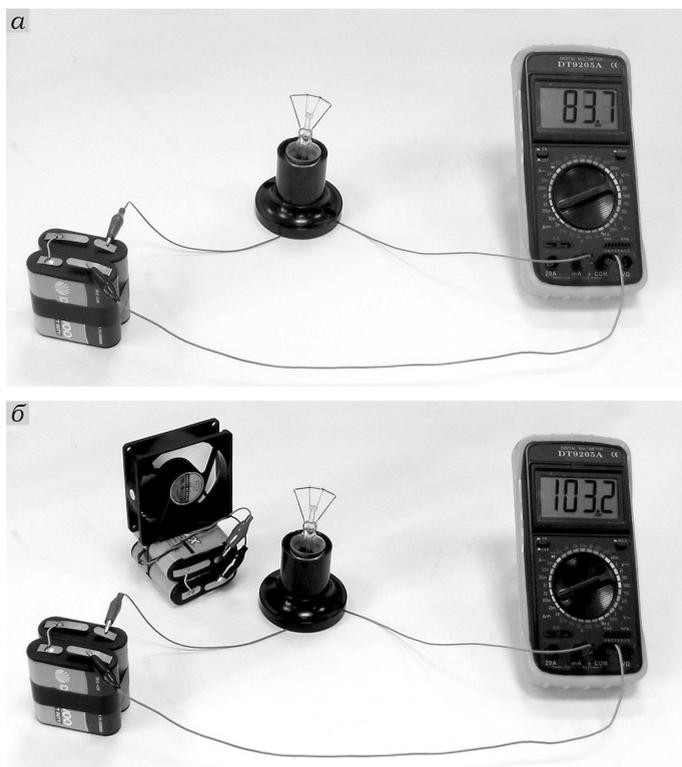


Рис. 7.2. Исследование известной модели анемометра из спирали лампы накаливания: *а* — экспериментальная установка, показания миллиамперметра соответствуют покоящемуся воздуху лаборатории; *б* — поток воздуха от кулера охлаждает спираль, и сила тока увеличивается

Мультиметром измеряют сопротивление холодной спирали лампы $R = 95$ Ом. Собирают экспериментальную установку, со-

стоящую из последовательно соединенных источника постоянного напряжения, спирали лампы накаливания и миллиамперметра (рис. 7.2 а). При использовании в качестве источника батареи гальванических элементов на 9 В через спираль течет ток силой около 85 мА. Если на спираль направить поток воздуха от компьютерного кулера, то сила тока увеличивается примерно до 105 мА (рис. 7.2 б).

Таким образом, экспериментальное исследование показывает, что модель анемометра действительно может быть изготовлена из спирали лампы накаливания. Однако эта модель обладает существенными недостатками. Чтобы ее изготовить, требуется удалить баллон лампы накаливания так, чтобы не повредить спираль. Со спиралью нужно обращаться очень аккуратно, чтобы случайно не порвать ее. Изменения температуры нагретой электрическим током спирали под действием слабого потока воздуха сравнительно невелики, поэтому электроизмерительный прибор показывает небольшие изменения силы тока. Иными словами, чувствительность такого анемометра мала.

7.1.3. Термоэлектрический датчик температуры. В известной модели анемометра об изменении температуры спирали судят по соответствующему изменению ее электрического сопротивления. Для непосредственного измерения температуры можно применить, например, термопару.

Задание. Разработайте функциональную схему анемометра, в котором для измерения температуры используется термопара. Из медного и константанового проводов диаметром около 0,12 мм изготовьте термопару и убедитесь в ее работоспособности.

Выполнение. Функциональная схема анемометра, в котором функции нагревателя и измерителя температуры разделены, изображена на рис. 7.3: 1 — спираль, нагреваемая электрическим током, 2 — термопара, 3 — усилитель постоянного тока, 4 — вольтметр в качестве измерительного прибора.

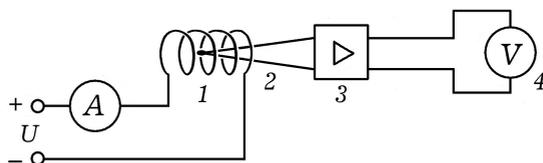


Рис. 7.3. Функциональная схема анемометра с непосредственным измерением температуры: 1 — спираль, нагреваемая электрическим током, 2 — термопара, 3 — усилитель постоянного тока, 4 — электроизмерительный прибор

Термопару нетрудно изготовить, спаяв между собой оловом очищенные от изоляции и окислов концы медного и константанового

проводов. Концы проводов на длине 2–3 мм аккуратно зачищают с помощью лезвия. Очищенные части облуживают и спаивают вместе. Убедиться, что термопара работоспособна, можно, подключив ее выводы к мультиметру и нагрев спай пальцами руки.

7.1.4. Термоэлектрический измеритель температуры. Чувствительность термопары невелика, поэтому для измерения сравнительно небольшой температуры напряжение, получающееся на ее выводах, нужно усилить. С этой целью лучше всего использовать операционный усилитель.

Задание. На рис. 7.4 изображена принципиальная схема электронного термометра. Разберитесь с принципом действия этого прибора, разработайте монтажную схему, изготовьте печатную плату и соберите прибор.

Выполнение. Основой прибора является операционный усилитель DA1. Напряжение U_1 на его вход подается от термопары медь-константан. Коэффициент усиления $k = R_2/R_1$, на выходе усилителя получается напряжение $U_2 = U_1 \cdot k$.

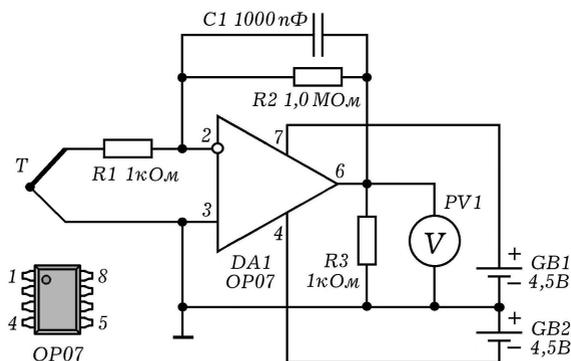


Рис. 7.4. Принципиальная схема термоэлектрического измерителя температуры

Монтажную схему лучше всего предварительно разработать на бумаге. Рисунок монтажной платы делают на компьютере, используя программу *Sprint-Layout 5.0*. Выбирают размеры платы: ширина 60 мм, длина 35 мм. Рекомендуемая ширина дорожек — не менее 1,5 мм. В окошке *Библиотека* находят *PCM — SMD — SMD-DIL — DIP-8.LMK* и устанавливают рисунок панельки для микросхемы на плату. Для удобства пайки удлиняют площадки под выводы панельки.

Рисунок платы распечатывают на глянцевой бумаге на лазерном принтере и переводят на обезжиренную поверхность фольгированного гетинакса, проглаживая через бумажную прокладку утюгом.

Далее осуществляют травление медной фольги в водном растворе хлорного железа. Затем смывают растворителем краску и облуживают проводящие дорожки платы.

После этого на плату последовательно припаивают панельку для микросхемы, резисторы, конденсатор, выводы для вольтметра и провода для питания. Блок питания изготавливают из двух последовательно соединенных батарей напряжением 4,5 В каждая и снабжают разъемом на три провода в разноцветной изоляции: плюс — красный, минус — белый, общая точка — синий провод.

7.1.5. Анемометр с термоэлектрическим измерителем температуры. Изготовленный вами прибор для измерения температуры обладает довольно высокой чувствительностью. Остается выяснить, позволяет ли он измерить небольшие изменения температуры нагретой спирали, вызванные потоками воздуха.

Задание. Соберите экспериментальную установку, моделирующую анемометр с термоэлектрическим измерителем. Выявите недостатки установки и наметьте пути их устранения.

Выполнение. Экспериментальную установку собирают в соответствии со схемой, показанной на рис. 7.3. Нихромовую спираль запитывают от регулируемого источника тока, например школьного блока В-24. В качестве вольтметра используют демонстрационный гальванометр с добавочным сопротивлением, расширяющим его предел измерения до 5 В. Спай термопары помещают внутрь спирали так, чтобы между ними не было электрического контакта.

В опытах обнаруживают, что при небольшом нагреве спирали демонстрационный вольтметр не реагирует на поток воздуха. Это означает, что чувствительность усилителя с термопарой недостаточна, чтобы обнаружить небольшие изменения температуры спирали. Но если увеличить температуру спирали, то стрелка вольтметра зашкаливает — в таком случае нет смысла увеличивать чувствительность усилителя. Отсюда следует вывод, что для решения поставленной задачи электронный измеритель должен реагировать не на температуру спирали непосредственно, а на небольшие изменения сравнительно большой температуры спирали.

7.1.6. Измеритель изменений температуры. Предыдущее исследование показало, что для создания термоэлектрического анемометра нужно научиться измерять небольшие изменения сравнительно большой температуры.

Задание. Предложите идею прибора, позволяющего измерять малые изменения относительно большой температуры. Попробуйте на один из входов операционного усилителя подавать измеряемое напряжение с термопары, а на другой — регулируемое опорное напряжение.

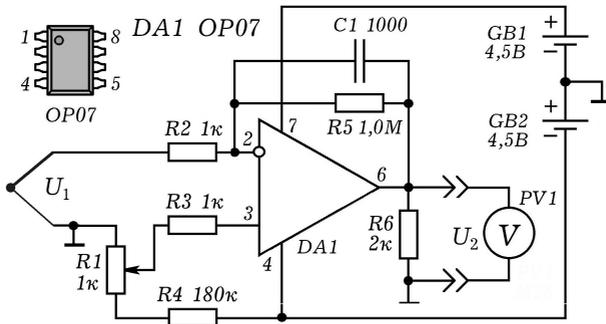


Рис. 7.5. Принципиальная схема измерителя температуры, в котором предусмотрена компенсация напряжения, вызванного постоянным нагревом, значительным по сравнению с исследуемыми изменениями температуры

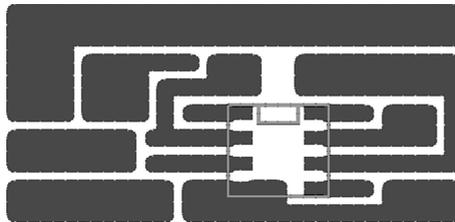


Рис. 7.6. Рисунок монтажной платы прибора

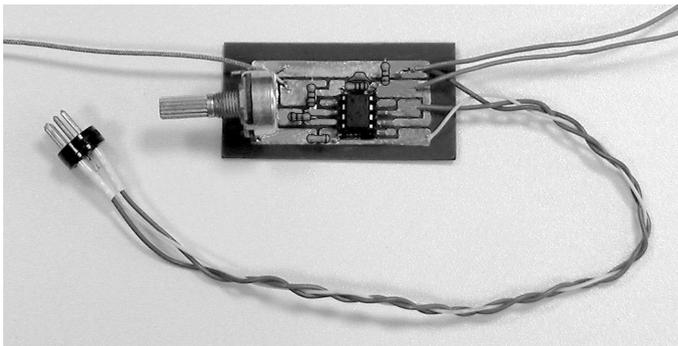


Рис. 7.7. Готовый прибор, собранный методом поверхностного монтажа, плата выполнена путем травления

Выполнение. Решение задачи заключается в компенсации напряжения с термопары, обусловленного большой температурой нагревателя. Для этого принципиальную схему электронного термометра дополняют регулируемым источником опорного напряжения, в качестве которого используют резисторы $R1$, $R4$ и батарею $GB2$ (рис. 7.5). Вновь применяя программу *Sprint-Layout 5.0*, на ком-

пьютере разрабатывают монтажную плату, переносят ее на фольгированный гетинакс и осуществляют травление (рис. 7.6). Затем собирают измеритель изменений температуры, как показано на рис. 7.7.

7.1.7. Исследование модели анемометра. Теперь нужно убедиться, что найденное решение проблемы измерения малых изменений температуры сильно нагретого тела действительно позволяет создать учебную модель анемометра.

Задание. Соберите модель анемометра, состоящую из нагреваемой электрическим током нихромовой спирали, внутри которой расположена термопара (рис. 7.8). Исследуйте разработанный вами учебный прибор.

Выполнение. Снова собирают экспериментальную установку для исследования учебной модели анемометра (рис. 7.9). Подают напряжения на спираль и измеритель изменений температуры. Регулируя величину опорного напряжения, устанавливают стрелку демонстрационного вольтметра на нуль. Включают кулер и наблюдают, что поток воздуха вызывает заметное изменение положения стрелки гальванометра.

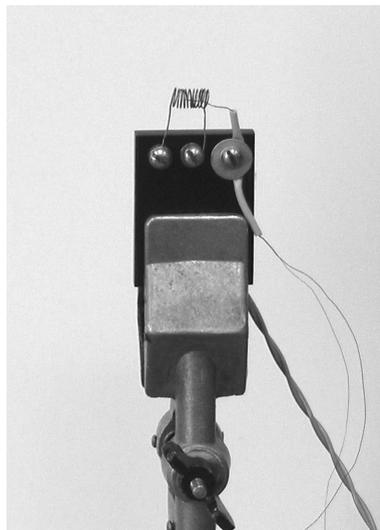


Рис. 7.8. Нихромовая спираль с термопарой внутри

7.1.8. Презентация выполненного проекта. Чтобы результаты проекта по разработке учебной модели анемометра использовались на практике, их нужно опубликовать. Для этого можно написать небольшую статью или подготовить выступление с демонстрацией прибора и опытов перед классом или другой аудиторией.

Задание. Подготовьте компьютерную презентацию по результатам выполненного вами проектного исследования.

Выполнение. Презентацию завершеного проекта готовят, например, в редакторе *PowerPoint*. В презентацию включают название и авторов исследовательского проекта, формулировку проблемы, перечень источников информации, анализ известных решений проблемы, экспериментальные результаты выполненного исследования, теоретическое объяснение полученных результатов, выводы. Особое внимание уделяют фотографиям физических явлений, приборов,

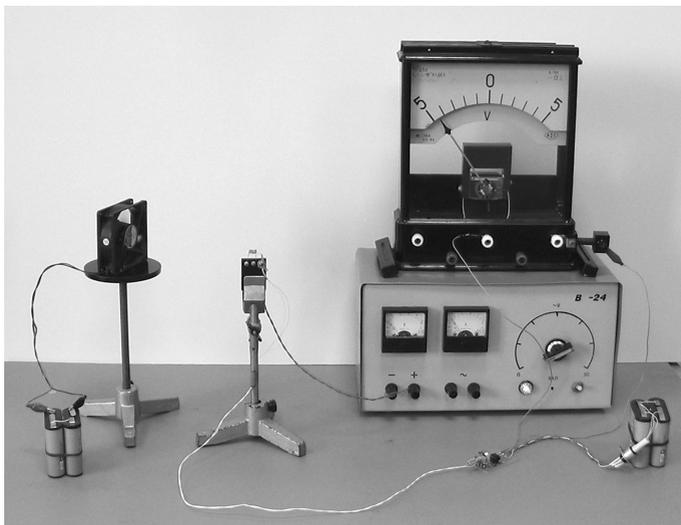


Рис. 7.9. Экспериментальная установка для демонстрации принципа действия анемометра

экспериментальных установок и отдельных этапов работы по изготовлению необходимых для выполнения проекта деталей.

7.2. Учебные приборы для опытов с ультразвуком

Предлагаемый дидактический ресурс предназначен для организации проектной деятельности учащихся по созданию приборов для учебных опытов с ультразвуком низкой и средней частоты. Оригинальный ультразвуковой генератор, выполненный на микросхеме и полевом транзисторе, существенно повышает доступность рекомендуемой экспериментальной техники. Подробное описание технологии изготовления приборов облегчает самостоятельную опытно-конструкторскую работу учащихся. Разработанные и изготовленные школьниками физические приборы обеспечивают постановку десятков интересных опытов, раскрывающих физическую сущность явлений акустики.

Ультразвук — это звук, частота которого превышает порог слышимости, равный примерно 20 кГц. Звук и ультразвук представляют собой упругие волны, которые могут распространяться в газах, жидкостях и твердых телах. Для получения ультразвука используются специальные ультразвуковые генераторы и излучатели.

Физические свойства ультразвука уникальны, поэтому он нашел самое широкое применение в науке, технике, обрабатывающей промышленности, медицине, фармацевтической промышленности, во-

енном деле и т.д. Некоторые возможности ультразвука вы сможете оценить в самостоятельных экспериментах [72]. Для этого нужно разобраться в принципе действия и технологии изготовления излучателя ультразвука, изучить принципиальную схему и разработать конструкцию ультразвукового генератора, убедиться в работоспособности собранных приборов и использовать их для постановки опытов. Перечисленные задачи и составляют основное содержание исследовательского проекта по разработке и изготовлению учебных приборов для опытов с ультразвуком.

7.2.1. Принцип действия магнитострикционного излучателя.

На рис. 7.10 схематически изображен магнитострикционный излучатель ультразвука. Он состоит из закрепленного посередине ферромагнитного стержня, который называется *вибратором*, катушки или *обмотки возбуждения*, подключенной к *ультразвуковому генератору*, и постоянного магнита, *подмагничивающего вибратор*.

В учебном излучателе в качестве ферромагнитного вибратора используется ферритовый стержень. Если к его торцу поднести магнит, то стержень несколько укорачивается по длине. Это явление получило название *магнитострикционного эффекта*.

Ультразвуковой генератор вырабатывает переменное напряжение, которое вызывает переменный ток в обмотке возбуждения. Вокруг обмотки возникает переменное магнитное поле. В нем находится ферритовый вибратор, который за счет магнитострикционного эффекта периодически изменяет свои размеры.

Деформация вибратора в магнитном поле невелика и не зависит от направления поля. Поэтому в вибраторе возбуждаются вынужденные колебания небольшой амплитуды, частота которых в два раза больше частоты переменного тока. При подмагничивании вибратора на переменное магнитное поле накладывается постоянное. При этом поле становится пульсирующим: оно не меняется по направлению, но изменяется по величине, причем с частотой, равной частоте переменного тока, вырабатываемого генератором.

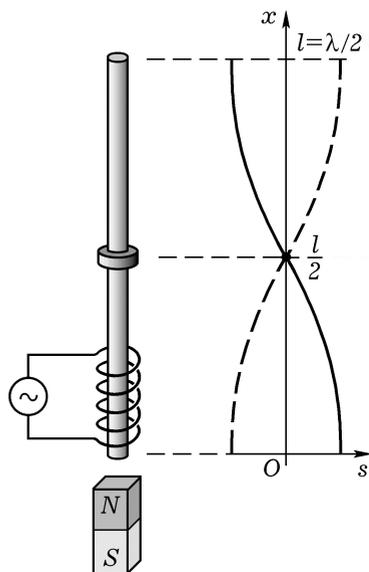


Рис. 7.10. Распределение амплитуды колебаний вдоль вибратора магнитострикционного излучателя

Частоту генератора можно подобрать так, чтобы распределение амплитуды колебаний вдоль вибратора имело вид, показанный на рис. 7.10 справа. В этом случае на длине вибратора l укладывается ровно половина длины волны λ ультразвука в феррите $l = \lambda/2$, и амплитуда колебаний вибратора резко возрастает. Это явление называется *резонансом*.

Магнитострикционный излучатель ультразвука работает только при резонансном возбуждении его вибратора. *Основная резонансная частота* ферритового вибратора определяется простым соотношением

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2l}, \quad (7.1)$$

где $c = 5,76 \cdot 10^3$ м/с — скорость звука в феррите. Вибратор может возбуждаться и на более высоких частотах, кратных основной частоте, которые называются *гармониками*. Но амплитуда колебаний на гармониках значительно меньше, чем на основной частоте.

7.2.2. Магнитострикционный излучатель ультразвука низкой частоты. Конструкция учебного магнитострикционного излучателя для получения ультразвука низкой частоты представлена на рис. 7.11. В качестве вибратора 1 излучателя использован круглый ферритовый стержень марки М400НН диаметром 8 мм и длиной 100–160 мм. По его середине расположено резиновое колечко 2, которое мягко крепит вибратор в каркасе 3 обмотки возбуждения 4. Подмагничивающие ферритовый вибратор кольцевые керамические магниты 5 надеты на выступающую часть каркаса обмотки возбуждения так, чтобы нерабочий торец вибратора находился в одной плоскости с поверхностью ближайшего к нему магнита.

Каркас обмотки возбуждения можно выточить на токарном станке из подходящего материала (оргстекла, эбонита, текстолита, дерева и т. п.) или склеить из нескольких слоев бумаги. Обмотка возбуждения может содержать два слоя медного в лаковой изоляции провода диаметром 1,0 мм, наматанных виток к витку на длину, равную примерно половине длины вибратора. Выводы обмотки возбуждения нужно выполнить из многожильных проводников в полихлорвиниловой изоляции длиной 30–50 см, снабженных накопечниками для зажима под клеммы или штекерами для включения

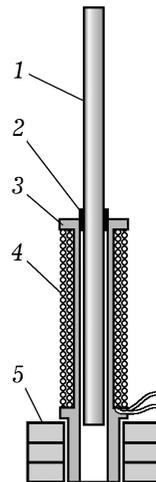


Рис. 7.11. Конструкция магнитострикционного излучателя

в гнезда. Обмотку возбуждения следует покрыть слоем лакоткани, изолянты или несколькими слоями бумаги.

Впрочем, практика показывает, что лучше два слоя обмотки возбуждения намотать многожильным проводом в полихлорвиниловой изоляции, которая в этом случае не должна быть слишком толстой (диаметром не более 1,5 мм).

Для подмагничивания вибратора можно использовать два-три кольцевых керамических магнита диаметром 35 мм и толщиной 7 мм из школьного набора или один-два больших керамических магнита диаметром 50 мм и толщиной 8 мм от старых динамиков.

7.2.3. Доступная технология изготовления излучателя низкой частоты. Как уже говорилось, каркас обмотки возбуждения излучателя можно выточить на токарном станке. Однако это требует умения, времени, наличия станка и инструментов. Здесь мы опишем значительно более доступный способ изготовления магнитострикционного излучателя, который вполне подходит даже для домашних условий.

Вам понадобятся два листа бумаги формата А4 (то есть размером 21×30 см) плотностью 80 г/м^2 , ножницы, оправка (стержень внешним диаметром примерно 10 мм), клей ПВА, многожильный гибкий провод длиной 7 м, сечением примерно $0,2 \text{ мм}^2$ в полихлорвиниловой изоляции диаметром примерно 1,3 мм, три кольцевых керамических магнита, ферритовый стержень диаметром 8 мм, резиновое колечко подходящего размера, карандаш, линейка, наждачная бумага или шкурка, шило, нитрокраска.

Изготовление излучателя начните с каркаса обмотки возбуждения. Длина каркаса должна быть равна сумме половины длины ферритового стержня и толщины набора кольцевых магнитов. Каркас склейте из бумаги в последовательности, показанной на рис. 7.12: 1 — цилиндрическая оправка; 2 — склеиваемая из бумаги трубка; 3 — верхняя щечка; 4 — посадочное место для кольцевых

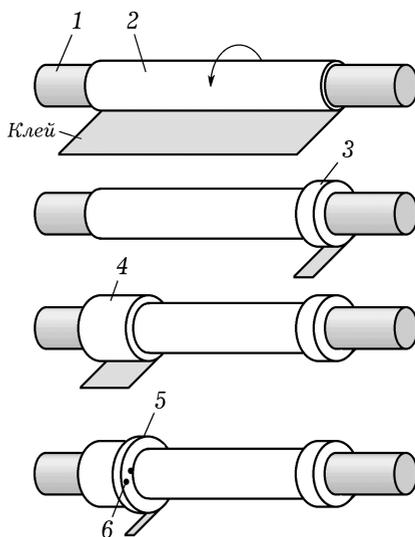


Рис. 7.12. Изготовление каркаса обмотки возбуждения магнитострикционного излучателя из бумаги

магнитов; 5 — нижняя щечка; 6 — отверстия для выводов обмотки возбуждения.

Вначале из подготовленного листа бумаги вырежьте прямоугольник, одна сторона которого равна вычисленной длине каркаса, другая — длинной стороне листа. Из бумажного прямоугольника изготовьте трубку, оборачивая оправку бумагой и тщательно проклеивая ее. Следите за тем, чтобы трубка не приклеилась к оправке и ее потом можно было легко снять (лучше предварительно обернуть оправку тонкой бумагой). По толщине подготовленного набора магнитов вырежьте из бумаги полоску и, оборачивая ее вокруг трубки, приклейте полоску возле одного из концов трубки. Эту операцию повторяйте до тех пор, пока на трубке не получится цилиндрическое утолщение, внешний диаметр которого равен наименьшему внутреннему диаметру подготовленных для излучателя кольцевых керамических магнитов. Таким же способом из бумажных полосок шириной 4–6 мм сделайте щечки каркаса высотой 4–5 мм.

Готовый каркас просушите в течение суток, снимите с оправки и в щечке, возле которой будут находиться магниты, шилом проделайте два отверстия диаметром 1,5 мм для проводников. Если вы хотите работать с излучателем долго, то высушенный каркас обработайте мелкой шкуркой и покройте двумя слоями нитроэмали — изделие приобретет приятный вид и станет устойчивым к влаге.

Конец многожильного провода проденьте через внутреннее отверстие нижней щечки так, чтобы снаружи оказалось примерно 30 см провода. Плот-

но виток к витку намотайте два слоя обмотки возбуждения. Оставшийся конец провода выведите через внешнее отверстие щечки.

Ферритовый стержень с помощью резинового колечка закрепите в каркасе обмотки возбуждения так, чтобы середина ферритового стержня, середина колечка и верхний торец каркаса совпали.

В соответствии с описанной технологией изготовлены десятки магнитострикционных излучателей (рис. 7.13), и все они безупречно работали. Время, необходимое для изготовления излучателя, не превышает двух часов. Поэтому мы абсолютно уверены, что у



Рис. 7.13. Внешний вид магнитострикционного излучателя

каждого из вас, кто взялся за эту работу, обязательно получится все, что нужно.

7.2.4. Таймер в качестве задающего генератора. В 1971 году была создана самая популярная в истории мировой электроники интегральная аналоговая микросхема, получившая обозначение *NE555*. В наши дни эту микросхему можно приобрести в любом радиомагазине по вполне доступной цене.

Микросхема типа *NE555* специально предназначена для получения сигналов определенной длительности и поэтому называется *таймером*. Она содержит порядка четырех десятков различных элементов — транзисторов, диодов, резисторов. Напряжение питания таймера *NE555* от 4,5 до 16 В, выходной ток до 200 мА, промежутки времени задаются с погрешностью, не превышающей 1% от расчетного значения и не зависят от напряжения питания.

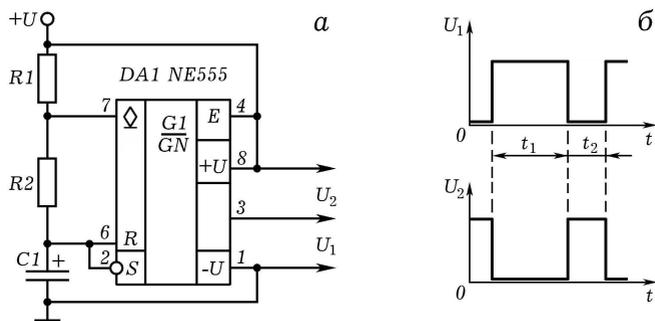


Рис. 7.14. Таймер *NE555*: *a* — схема включения таймера, *б* — осциллограммы напряжений на его выходах

Типовое включение таймера *NE555* в качестве генератора прямоугольных импульсов показано на рис. 7.14 *a*. Осциллограммы напряжений U_1 и U_2 между выводами 3, 1 и 8, 3 микросхемы изображены на рис. 7.14 *б*. Длительности импульса t_1 и паузы между импульсами t_2 даются формулами

$$t_1 = 0,693(R_1 + R_2)C_1 \quad \text{и} \quad t_2 = 0,693R_2C_1, \quad (7.2)$$

период следования T импульсов равен сумме

$$T = t_1 + t_2 = 0,693(R_1 + 2R_2)C_1. \quad (7.3)$$

Отсюда частота вырабатываемого генератором сигнала

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C_1}. \quad (7.4)$$

Из полученной формулы видно, что частоту сигнала лучше регулировать изменением сопротивления резистора R_1 , которое не влияет на длительность t_2 паузы между импульсами.

Отношение длительности импульсов t_1 к периоду их следования T называется скважностью S импульсов. Из приведенных формул следует, что скважность

$$S = \frac{t_1}{T} = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}. \quad (7.5)$$

Скважность будет близка к 0,5, если сопротивление резистора R_1 мало по сравнению с сопротивлением резистора R_2 . В этом случае длительности импульсов равны длительностям пауз между ними. Впрочем, это видно и из непосредственного сравнения формул (7.2).

7.2.5. Усилитель мощности на полевом транзисторе. В полевом транзисторе выходным током управляет электрическое поле, которое создается входным напряжением. Полевой транзистор является *униполярным*, поскольку электрический ток в нем обеспечен носителями заряда одного знака — электронами или дырками. Ток проходит по полупроводнику p - или n -типа, поперечное сечение которого регулируется электрическим полем. Напряжение, создающее это поле, приложено между полупроводником и металлическим управляющим электродом — *затвором*. Затвор отделен от полупроводника слоем диэлектрика, в качестве которого в кремниевых транзисторах обычно используется двуокись кремния. Поэтому для структуры полевых транзисторов приняты обозначения: МОП (*металл-окисел-полупроводник*) или МДП (*металл-диэлектрик-полупроводник*). В англоязычных источниках информации их обычно называют *MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor)*.

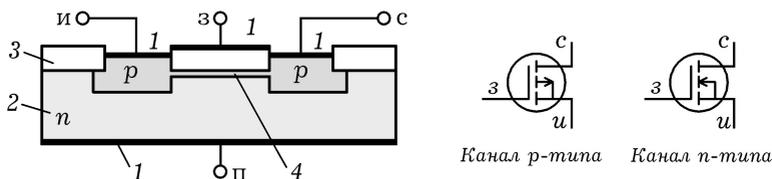


Рис. 7.15. Устройство полевого транзистора и условные изображения полевых транзисторов разных типов на принципиальных схемах

На рис. 7.15 дано схематическое изображение структуры полевого транзистора с каналом p -типа, а также условные графические обозначения полевых транзисторов с каналами p - и n -типа. Электрод канала, из которого выходят основные носители заряда, называется *истоком*, а электрод, в который они входят — *стоком*.

На рисунке обозначены: 1 — металл, 2 — полупроводник n -типа, 3 — диэлектрик, 4 — канал p -типа; и — исток, з — затвор, с — сток, п — подложка.

Типовая схема усилительного каскада на полевом транзисторе изображена на рис. 7.16. Резисторы $R1$ и $R2$ образуют делитель напряжения, который задает режим работы транзистора. Входное переменное напряжение подается через разделительный конденсатор $C1$ на затвор полевого транзистора, а усиленное выходное напряжение посредством конденсатора $C2$ снимается со стока транзистора или, что то же самое, с резистора нагрузки $R3$.

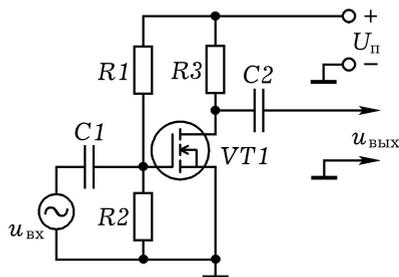


Рис. 7.16. Типовая схема усилителя на полевом транзисторе

7.2.6. Ультразвуковой генератор. Принципиальная схема простого ультразвукового генератора приведена на рис. 7.17. На таймере $DA1$ типа $NE555$ собран задающий генератор прямоугольных импульсов. Длительность положительных импульсов напряжения регулируется переменным резистором $R1$ в пределах примерно от 13 до 63 мкс. Длительность кратковременных промежутков между импульсами составляет около 1 мкс. Конденсатор $C1$ шунтирует источник питания по переменной составляющей. Конденсатор $C2$ определяет частоту задающего генератора, конденсатор $C3$ повышает помехоустойчивость микросхемы.

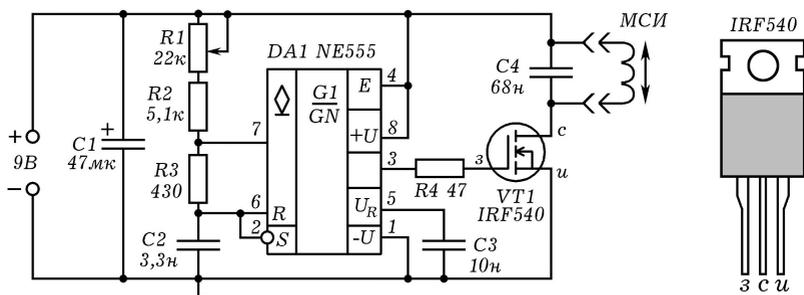


Рис. 7.17. Принципиальная схема ультразвукового генератора на таймере

Вырабатываемое задающим генератором пульсирующее напряжение через резистор $R4$ поступает на затвор полевого транзистора $VT1$ и усиливается им. Нагрузкой транзистора является зашунтированная конденсатором $C4$ обмотка возбуждения магнитоэлектрической головки.

ционного излучателя МСИ, по которой проходят периодически следующие друг за другом импульсы тока. Частота следования импульсов регулируется переменным резистором $R1$ в диапазоне от 16 до 74 кГц, что позволяет настроить генератор в резонанс с ферритовым вибратором излучателя.

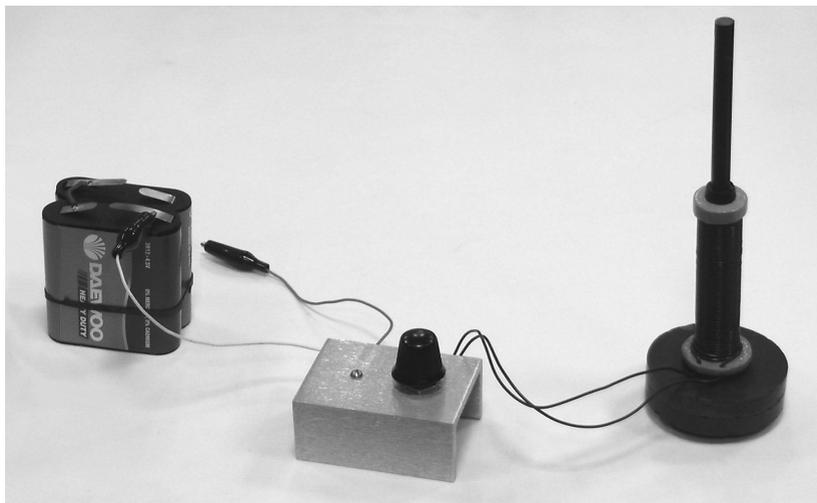


Рис. 7.18. Приборы для опытов с ультразвуком: батарея гальванических элементов на 9 В, ультразвуковой генератор и магнитострикционный излучатель

Возможная конструкция генератора понятна из фотографии, приведенной на рис. 7.18. Основой прибора является дюралевый швеллер, одновременно выполняющий функцию радиатора мощного полевого транзистора. Питание осуществляется от батарей карманного фонаря или подходящего сетевого источника.

7.2.7. Опыты с ультразвуком низкой частоты. Изготовив приборы для получения ультразвука, убедитесь, что они работают как надо. Для этого поставьте излучатель вертикально на стол и подключите его к генератору. На верхний торец вибратора положите лезвие безопасной бритвы (рис. 7.19). Подайте питание 9 В на генератор и медленно вращайте ручку переменного резистора $R1$ (рис. 7.17) до тех пор, пока лезвие не начнет интенсивно дребезжать на вибраторе.

Сразу же выключите генератор и, убрав лезвие, нанесите на торец вибратора каплю воды. Проследите, чтобы вибратор остался сухим, и вода не попала на его нижний торец. Включите питание и настройте генератор в резонанс с вибратором — капля должна

немедленно расплыться, образовав светлое облачко над вибратором. Сразу после достижения резонанса выключите ультразвук.

Дело в том, что при резонансе находящийся в воздухе ненагруженный вибратор колеблется настолько интенсивно, что ферритовый стержень, спустя небольшое время после начала работы, неизбежно разрывается на две или несколько частей.

В Интернете найдите источники информации, в которых рассмотрены учебные опыты с ультразвуком. Выберите интересующие вас явления ультразвуки и исследуйте их с помощью изготовленных вами приборов.

Перечислим некоторые из наиболее впечатляющих опытов: образование горючей смеси, получение эмульсии, образование суспензии, ультразвуковой фонтан, стоячая волна в воздухе, изгибные волны в пластинках, ультразвуковая сварка, ультразвуковой движитель, хладниевы фигуры.



Рис. 7.19. Использование лезвия для настройки генератора в резонанс с вибратором

7.2.8. Получение ультразвука средней частоты. Рассмотренный генератор в принципе позволяет получить ультразвук частотой порядка 100 кГц. Для этого нужно сделать магнестрикционный излучатель, ферритовый вибратор которого имеет длину примерно 30 мм.

Конструкция такого излучателя понятна из рис. 7.20: 1 — вибратор, 2 — резиновая пластинка, 3 — обмотка возбуждения, 4 — керамические магниты, 5 — изолента. Обмотка возбуждения бескаркасная, внутренним диаметром 10 мм и имеет 60 витков провода ПЭВ 0,42. Керамические магниты плоские размером 7×16×46 мм от магнитных защелок. Резиновая пластинка необходима для того, чтобы жидкость с верхнего торца вибратора не попала на нижний.

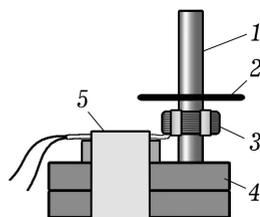


Рис. 7.20. Магнестрикционный излучатель ультразвука средней частоты

Чтобы обеспечить работу магнестрикционного излучателя средней частоты, в генератор придется внести некоторые изменения. Во-первых, полевой транзистор должен быть закреплен на хорошем радиаторе. Во-вторых, так как резонанс будет очень острым, нужно наряду с грубой предусмотреть плавную регулировку частоты. Для этого последовательно с резистором R_1 (рис. 7.17)

нужно включить еще один переменный резистор сопротивлением 1 кОм. При настройке генератора движок этого дополнительного резистора должен находиться в среднем положении; когда грубой настройкой резонанс найден, изменяют сопротивление дополнительного резистора, точно настраиваясь на резонансную частоту вибратора. Наконец, в третьих, емкость конденсаторов $C2$ и $C4$ нужно уменьшить до 2,2 нФ и 22–33 нФ соответственно. Заметим, что при указанной емкости конденсатора $C4$ в параллельном колебательном контуре, образованном этим конденсатором и обмоткой возбуждения излучателя, наблюдается электрический резонанс на частоте, близкой к резонансной частоте вибратора.

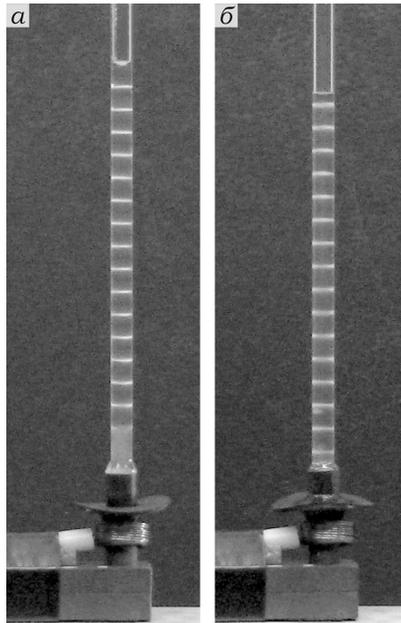


Рис. 7.21. Стоячая ультразвуковая волна частотой порядка 100 кГц в воде: *а* — крахмал коагулирует в пучностях смещений стоячей волны, так как его плотность больше плотности воды; *б* — керосин коагулирует в узлах смещений стоячей волны, поскольку его плотность меньше плотности воды

На рис. 7.21 приведены фотографии стоячих волн, полученных в суспензии крахмала в воде и эмульсии керосина в воде, набранных в стеклянные трубки. На свободных поверхностях жидкости в трубках образуются пучности смещений стоячих волн. Расстояние между соседними пучностями или узлами равно половине длины волны ультразвука в жидкости. Фотографии показывают, что частицы крахмала собираются в пучностях, а капельки керосина — в узлах смещений стоячей ультразвуковой волны.

Глава 8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Проекты, связанные с совершенствованием учебного физического эксперимента, обладают той особенностью, что их цели и проблемы могут быть осознаны учащимися непосредственно на уроке. В самом деле, учитель при демонстрации в классе физического явления может обратить внимание школьников на недостатки демонстрационной установки, нуждающиеся в устранении. Буквально несколькими словами учитель в состоянии заинтересовать школьников исследованием явления, сопутствующего изучаемому на данном уроке. В эвристической дискуссии учащиеся нередко сами высказывают идеи, которые побуждают их к выполнению исследовательских проектов.

В главе представлены ориентированные главным образом на учителя дидактические ресурсы проектной деятельности по исследованию основ физики гейзера, изучению высоковольтного пьезоэлектрического источника для опытов по электростатике и разработке демонстрационных опытов с электромагнитами.

8.1. Презентация проблемы исследовательского проекта на уроке по кипению жидкости

Одним из эффективных способов постановки проблемы учебного исследования является презентация ее на уроке физики. Это не нарушает учебный процесс, если:

- 1) проблема исследовательского проекта близка тематике урока с тем, чтобы явиться органической частью его содержания;
- 2) ознакомление с проблемой будущего исследования способно вызвать повышенный интерес учащихся;
- 3) презентация сопровождается яркой демонстрацией физического явления, которое относится к изучаемому на уроке материалу и будет исследоваться школьниками во внеурочной деятельности;
- 4) решение проблемы исследовательского проекта находится в зоне ближайшего развития учащихся.

В качестве примера кратко рассмотрим презентацию проблемы проекта «Основы физики гейзера» и последующую реализацию проекта во внеурочной деятельности.

8.1.1. Деятельность учителя на уроке. На уроке в 10 классе, посвященном кипению жидкости, после изучения физической сущности кипения и демонстрации кипения воды при пониженном давлении показывают действующую модель гейзера. Она представляет собой металлический котел в виде изогнутой дугообразно трубки диаметром 3–10 мм, один конец которой заглушен, а другой — снабжен соплом и закреплен в крышке воронки, вырезанной из пластиковой бутылки (рис. 8.1).

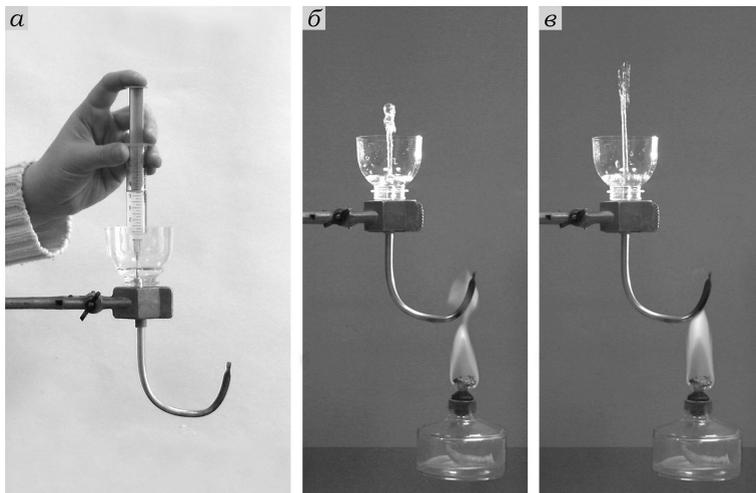


Рис. 8.1. Демонстрация модели гейзера: *а* — заполнение котла модели водой; *б, в* — фонтан, вырывающийся из сопла модели гейзера

Трубку через сопло посредством шприца заполняют горячей (для ускорения демонстрации) водой и в воронку доливают воду так, чтобы поверхность ее находилась на высоте порядка сантиметра от сопла. Отогнутый конец трубчатого котла нагревают спиртовкой.

Учащиеся высказывают предположения об ожидаемом явлении и, спустя одну-две минуты, наблюдают, что из сопла вырывается фонтан на высоту порядка метра. Через небольшой промежуток времени явление повторяется, потом происходит еще раз и т.д. Школьники сразу говорят, что подобным образом происходят извержения гейзеров: в котле вскипает вода и образующийся пар под давлением выбрасывает столб воды из трубки. Дальше раскаленный котел вновь заполняется водой и процесс повторяется.

Учитель обращает внимание класса на недостаточность этого объяснения: перед демонстрацией котел принудительно был заполнен водой с помощью шприца, а во время работы устройства он заполняется водой автоматически!

Далее учитель говорит, что на уроке нет возможности подробно разобраться в явлении, но было бы интересно выполнить исследовательский проект «Основы физики гейзера», проблемой которого является выяснение и обоснование физической причины повторяющихся извержений модели гейзера.

8.1.2. Подготовительная деятельность учителя вне урока. Начальный этап деятельности учителя носит главным образом педагогический характер. Он выявляет группу школьников, желающих осуществить проект; определяет склонности, способности, тип мышления, волевые, коммуникативные и другие личностные качества школьников; в группе учащихся определяет естественного лидера.

Далее учитель вместе со школьниками обсуждает возможные задачи проекта: 1) исследовать зависимость высоты фонтана от толщины слоя воды над соплом; 2) определить зависимость высоты фонтана от диаметра сопла; 3) установить зависимость температуры воды в котле от времени; 4) выяснить, насколько периодичны извержения гейзера; 5) исследовать возможности электрического нагревателя; 6) оценить давление пара в котле при извержении; 7) построить качественную физическую теорию гейзера; 8) выяснить роль насыщенного пара при работе гейзера; 9) разработать наиболее простую и эффективную демонстрационную модель гейзера и т. д.

Затем составляется общий план проекта и распределяются обязанности: 1) поиск, обработка и анализ информации, относящейся к проблеме исследования; 2) подбор материалов и другого оборудования, необходимого для создания экспериментальной установки; 3) постановка предварительных опытов и анализ их результатов; 4) изготовление и тестирование необходимых для исследования приборов; 5) экспериментальное исследование физической модели гейзера; 6) обработка, анализ и интерпретация полученных результатов исследования; 7) написание отчета и подготовка презентации проекта.

Число и глубина решаемых в проекте задач определяются заинтересованностью учителя, возможностями школьного кабинета физики, количеством и составом участников проекта. Помимо перечисленных в игру вступает немало других факторов, поэтому в конечном итоге только педагогический талант и опыт учителя позволяют реализовать исследовательский проект школьников.

8.1.3. Информационная обеспеченность исследовательского проекта. В работе [71] показано, что для эффективного выполнения учебного исследования учащиеся должны иметь полную информацию об аналогичном или прототипном исследовании.

Подробно это положение обосновано в главе 2 монографии. Понятно, что учитель как организатор и руководитель исследовательского проекта учащихся также должен располагать определенной информацией, качество и количество которой обеспечивает достижение цели проекта.

Что касается обсуждаемого проекта «Основы физики гейзера», то учителю достаточно знать ответы на следующие вопросы:

1) какие сведения необходимы учащимся, чтобы они смогли изготовить измеритель температуры?

2) каким образом осуществить исследование зависимости температуры воды в модели гейзера от времени;

3) как можно продемонстрировать свойства насыщенного пара в наиболее эффектно опыте?

Измерение температуры. Для определения температуры воды в модели гейзера целесообразно использовать специальный прибор, доступный для самостоятельного изготовления школьниками. Принципиальная схема электронного измерителя температуры показана на рис. 8.2. В качестве датчика наиболее пригодна термопара, спаянная оловом из медной и константановой (от старого реостата) проволоки диаметром около 0,2 мм. Никакого налаживания прибор не требует и при правильной сборке начинает работать сразу по включении питания. Подробно конструкция измерителя температуры рассмотрена выше в § 7.1 монографии.

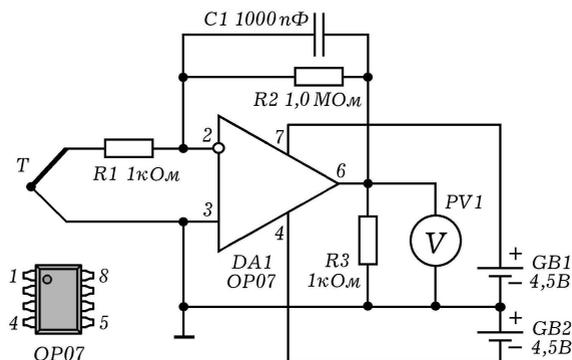


Рис. 8.2. Принципиальная схема электронного измерителя температуры

Вольтметр $PV1$ должен быть стрелочным с пределом измерения 3 или 5 В. Возможно использование гальванометра магнитоэлектрической системы от школьного демонстрационного вольтметра или амперметра. Особенностью этих приборов является более низкое внутреннее сопротивление гальванометра от вольтметра, чем от амперметра. Поэтому к используемому гальванометру нужно подо-

брать оптимальное добавочное сопротивление, расширяющее предел измерения прибора до 5 В.

Изготовленный измеритель градуируют обычным способом, погрузив термопару в сосуд с водой, которую доводят до кипения; градуировочный график получается линейным.

Экспериментальная установка с электронным измерителем температуры воды в модели гейзера выглядит так, как это показано на рис. 8.3. Спай термопары находится в котле возле сопла; провода термопары для защиты помещены между двумя полосками изолянта; усилитель измерителя закреплен на штативной стойке. В эксперименте учащиеся исследуют зависимость температуры воды от порядкового номера извержения гейзера.

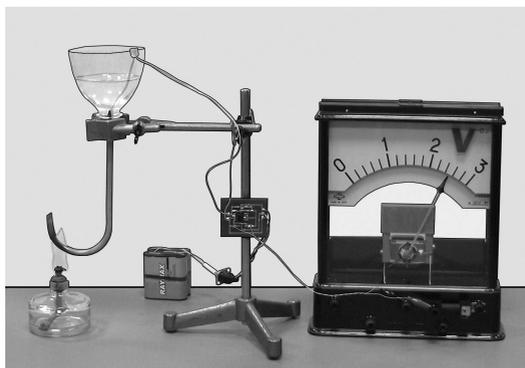


Рис. 8.3. Экспериментальная установка для наблюдения колебаний температуры внутри сопла модели гейзера

Зависимость температуры воды от времени. Для получения графика этой зависимости целесообразно использовать компьютерный осциллограф, на вход которого подают напряжение с выхода электронного измерителя температуры (рис. 8.4). Экспериментируя, учащиеся могут заметить, что извержения в модели гейзера в начале процесса происходят практически через одинаковые промежутки времени (рис. 8.5), а затем становятся все более хаотическими, как это видно по осциллограмме, показанной на рис. 8.4.

Роль насыщенного пара. После извержения котел наполнен насыщенным паром, с которым через сопло соприкасается относительно холодная вода воронки. Пар возле сопла конденсируется, давление его в котле снижается, поэтому в котел входит новая порция холодной воды, которая приводит к еще большей конденсации пара. В результате быстрого развития процесса вода из воронки энергично втягивается в раскаленный котел, вскипает и происходит очередное извержение.

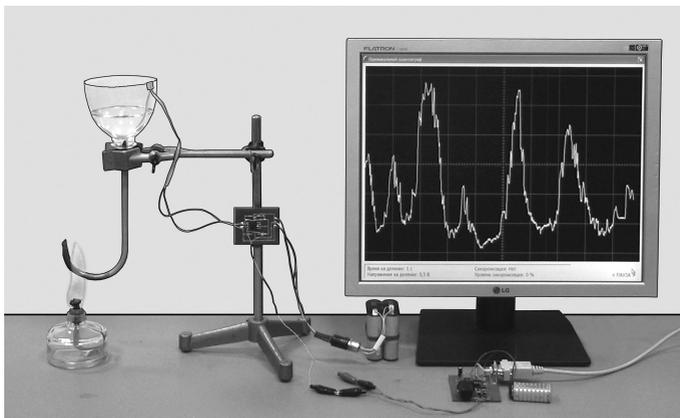


Рис. 8.4. Использование компьютерного осциллографа для исследования колебаний температуры внутри сопла модели гейзера

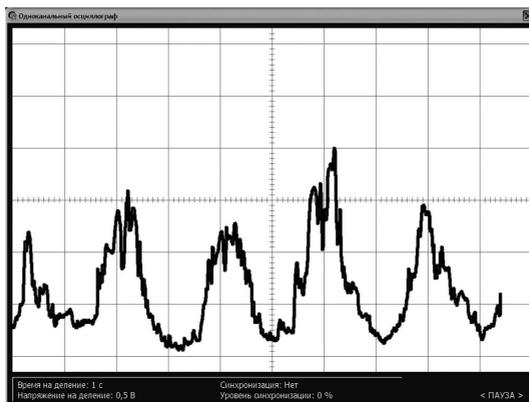


Рис. 8.5. Зависимость температуры внутри сопла модели гейзера от времени на экране компьютерного осциллографа

Подтвердить это объяснение можно известным демонстрационным опытом [131]. Стеклоную колбу объемом 0,5–1,0 л плотно закрывают резиновой пробкой, сквозь которую проходит стеклянная трубка внутренним диаметром около 3 мм. Находящийся внутри колбы конец трубки должен быть оттянут так, чтобы получилось сопло диаметром примерно 2 мм.

Вначале на пламени спиртовки нагревают сухую колбу и, перевернув ее, быстро опускают конец трубки в стакан с водой. При этом по трубке вверх поднимается вода, которая небольшим фонтанчиком вяло переливается через сопло в колбу.

Объяснение полученного результата не вызовет у учащихся затруднений: воздух в колбе нагрет спиртовкой, когда трубка опущена

в стакан с водой, воздух охлаждается, давление в колбе уменьшается, и атмосферное давление гонит воду из стакана в колбу.

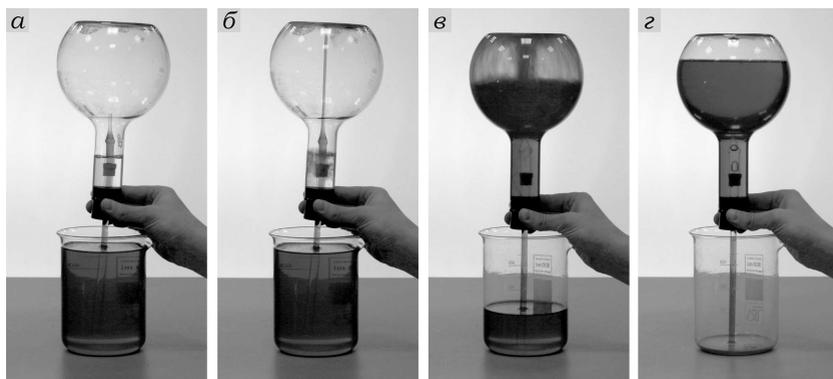


Рис. 8.6. Демонстрация опыта, подтверждающего роль насыщенного пара в работе модели гейзера: *а* — вода медленно поднимается по трубке; *б* — после попадания в колбу первых капель воды насыщенный пар конденсируется, и в колбе возникает мощный фонтан; *в*, *г* — вода быстро заполняет колбу

После охлаждения колбы в нее наливают немного воды, берут за горлышко, на спиртовке доводят воду до кипения и, продолжая нагревание, колбу закрывают резиновой пробкой со стеклянной трубкой, оканчивающейся соплом. Убедившись, что из трубки выходит струя горячего водяного пара, колбу быстро переворачивают и опускают конец трубки в сосуд с холодной водой.

Как и в предыдущем опыте, вода поднимается по трубке, причем подъем этот вначале идет довольно медленно. На рис. 8.6*а* видно, что вскипевшая в колбе чистая вода находится над пробкой, а подкрашенная вода из стакана поднимается к соплу. Как только в колбе окажутся первые капли холодной воды, ситуация резко меняется: из сопла начинает бить мощный фонтан (рис. 8.6*б*)! Учащиеся с изумлением и восторгом наблюдают, как атмосферное давление загоняет в колбу почти всю воду из стакана (рис. 8.6*в*, *г*).

Результат опыта объясняется тем, что во втором опыте при кипении воды водяной пар вытесняет воздух. Поэтому в колбе находится не нагретый воздух, а нагретый почти до температуры кипения воды насыщенный водяной пар. Первые порции холодной воды, вошедшие в колбу, охлаждают этот пар, он конденсируется в капли воды, давление в колбе резко снижается, и из трубки начинает бить фонтан. Новые порции холодной воды приводят к дальнейшей конденсации насыщенного пара и снижению давления в колбе. Вода заполняет колбу до тех пор, пока в ней не останутся воздух и насыщенный при температуре холодной воды водяной пар.

Воздух в колбе остается по двум причинам: во-первых, при кипячении воды никогда не удается удалить из сосуда весь воздух, поскольку колба через отверстие в трубке соединяется с атмосферой, и во-вторых, в воде всегда имеется небольшое количество растворенного воздуха.

В заключение отметим, что располагая представленной здесь информацией, учитель имеет возможность, предварительно не изготавливая приборов и не выполняя экспериментов, спланировать работу, организовать, обучить, направить, проверить, поправить и вдохновить школьников так, чтобы в конечном итоге была обеспечена успешность самостоятельной исследовательской деятельности учащихся по выполнению проекта, проблема которого сформулирована и обсуждена на уроке физики.

8.2. Внеурочное экспериментирование при изучении электростатики

Изложены требования ФГОС к учебной экспериментальной деятельности, рассмотрены виды учебного физического эксперимента и кратко представлена технология совместного экспериментирования учителя и ученика. Предложены учебные проекты по исследованию пьезоэлектрического источника высокого напряжения, моделированию электростатических полей и конструированию модели ракеты на парах спирта с искровым поджигом.

Согласно недавно принятому Федеральному государственному образовательному стандарту школьники должны овладеть основными экспериментальными умениями: наблюдать, описывать, измерять, обрабатывать результаты измерений, обнаруживать зависимость между физическими величинами, объяснять полученные результаты, делать выводы и т.д. Требования стандарта не могут быть выполнены, если экспериментальное обучение школьников ограничивается демонстрационными опытами, фронтальными лабораторными работами и физическим практикумом. Дело в том, что на эти виды деятельности отводится явно недостаточное учебное время. Но даже оно на практике, в силу низкого качества или даже отсутствия необходимого учебного оборудования, нередко используется неэффективно или вообще не используется.

Один из способов исправления создавшегося положения заключается в организации внеурочной самостоятельной экспериментальной деятельности учащихся в школьной лаборатории и в домашних условиях. Дома школьники могут ставить любые опыты, лишь бы они удовлетворяли требованиям техники безопасности. Потенци-

ально опасные эксперименты нужно выполнять в школе под наблюдением учителя физики.

8.2.1. Учебный физический эксперимент и его виды. Как известно, учебный эксперимент включает три основных структурных компонента: *условия, результат, анализ*. Если условия эксперимента обеспечиваются реально существующими предметами, а его результат представляет собой действительно происходящие явления, то эксперимент называется *реальным* или *натурным*. Каждому натурному эксперименту предшествует и сопутствует *умозрительный*, который осуществляется в сознании экспериментатора с образами реальных предметов и явлений. Умозрительный эксперимент, который принципиально невозможно поставить в реальности, называется *мысленным*. Например, невозможно выполнить мысленные эксперименты Галилея по прямолинейному равномерному движению, Максвелла — с сортирующим молекулы демоном, Эйнштейна — по синхронизации часов в инерциальных системах отсчета, Бора — по дифракции электронов на щелях и т.д.

Мы придерживаемся следующего определения: *мысленный физический эксперимент — это познавательный процесс, осуществляемый в рамках определенной теории с идеальными моделями объектов и явлений, который имеет структуру реального эксперимента, но не может быть выполнен в действительности*.



Рис. 8.7. Виды учебного физического эксперимента

Виды учебного физического эксперимента схематически представлены на рис. 8.7. Методисты и учителя нередко любой опыт, который на самом деле не проводится, называют мысленным, а

обычные учебные задачи — исследованиями. Вряд ли такое размывание границы между высшими озарениями человеческого интеллекта и примитивными школьными рассуждениями способствует формированию личности и научного стиля мышления. При обучении важно другое, а именно направляемая учителем познавательная деятельность ученика, в процессе которой он многократно самостоятельно реализует все этапы известного цикла научного познания в доступной ему области знания.

8.2.2. Совместное экспериментирование учителя и ученика.

Одной из причин, препятствующих применению внеурочного эксперимента учащихся, является недостаточный уровень экспериментальной подготовленности современного учителя физики. Повысить его можно только одним способом: систематическим выполнением субъективно новых учебных опытов. Но где взять время и силы



Рис. 8.8. Исследование пьезоэлектрического датчика давления с помощью электронного осциллографа

для такой деятельности, которая не только весьма трудоемка, но и в наши дни, как правило, не признается необходимой руководителями образовательных учреждений?

Решение проблемы заключается в совместном экспериментировании учителя и его учеников. При этом роли субъектов совместной познавательной деятельности могут быть распределены так: учитель выполняет умозрительный эксперимент, школьник ставит натурный опыт, вместе они наблюдают и анализируют результаты реального эксперимента (рис. 8.8).

Для того чтобы совместная учебно-исследовательская деятельность учителя и ученика стала возможной, учитель должен располагать исчерпывающей информацией об условиях и ожидаемых результатах планируемого эксперимента. Иными словами, он должен иметь четкое и однозначное описание учебного опыта. В таком случае, ознакомившись с этим описанием, учитель в состоянии умозрительно представить себе все этапы эксперимента и эффективно осуществить руководство деятельностью учащегося, который, получив творческое задание, выполняет его самостоятельно.

Поэтому описание экспериментального исследования должно состоять из трех обязательных частей: в первых двух сообщается необходимая для выполнения исследования информация и формулируется задание, в последней дается вариант выполнения задания. Из методических соображений первые две части целесообразно объединить, чтобы школьники учились извлекать нужную им информацию из неадаптированного до их уровня текста. Покажем это на конкретных примерах, относящихся к применению высоковольтного пьезоэлектрического источника [55, 56] в учебных опытах по электростатике.

8.2.3. Пьезоэлектрический источник высокого напряжения.

Для многих опытов по электростатике нужен безопасный источник высокого напряжения. В качестве такого источника можно использовать доработанную пьезоэлектрическую зажигалку.

Задание. Приготовьте бытовую пьезоэлектрическую зажигалку. Нажимая на рычаг пьезозажигалки, получите искру между ее электродами. При этом развивается напряжение до нескольких тысяч вольт. Но это напряжение совершенно безопасно, поскольку мощность пьезогенератора невелика и сила обеспечиваемого им тока мала.

Пьезозажигалку можно будет использовать в качестве высоковольтного источника, если вы научитесь подавать развиваемое ею напряжение на электроды экспериментальной установки. Присоедините к электродам пьезозажигалки гибкие многожильные провода так, чтобы между их свободными концами могла проскакивать искра.

Известно, что при нормальных условиях между двумя металлическими шарами происходит искровой разряд, если поданное на них напряжение в киловольтах примерно в три раза больше длины искры в миллиметрах. Оцените максимальное напряжение, даваемое изготовленным вами пьезоэлектрическим источником.

Выполнение. Чтобы решить проблему, нужно тем или иным способом сделать выводы от электродов пьезозажигалки так, чтобы при нажатии на ее рычаг искра не проскакивала между этими

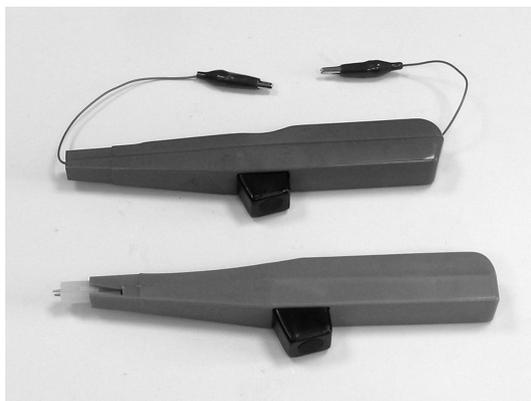


Рис. 8.9. Пьезоэлектрический источник высокого напряжения: доработка бытовой пьезозажигалки зависит от ее конструкции

электродами. Дело в том, что электроды пьезозажигалки заострены и расстояние между ними мало (не превышает 3–4 мм), поэтому пробой разрядного промежутка происходит уже при сравнительно небольшом напряжении.

Если пьезозажигалку после проведения экспериментов предполагается использовать по прямому назначению, то места соединения ее электродов с проводами должны быть тщательно заизолированы. Проще всего натянуть изоляцию многожильных проводов на электроды и места соединений закапать парафином от горящей свечи.

Более удобны в опытах пьезоэлектрические источники, у которых удалены штатные разрядники и сделаны выводы непосредственно от положительного и отрицательного полюсов пьезогенератора (рис. 8.9). Следует иметь в виду, что конструкций пьезозажигалок много, и некоторые из них нуждаются лишь в минимальной доработке. Например, у пьезозажигалки, показанной на рис. 8.10 и 8.11, снят защитный кожух, являющийся одним из электродов, и к обнажившемуся контакту изолейтой просто примотан оголенный конец провода.

Выводы от электродов пьезозажигалки лучше сделать многожильными гибкими проводами и снабдить их крокодилами.

Для оценки развиваемого пьезозажигалкой напряжения можно взять два одинаковых стальных шарика диаметром 1–2 см, изолейтой соединить их с выводами источника, положить шарики на хороший изолятор и измерить максимальное расстояние между ними, при котором еще проскакивает искра. При проведении таких измерений после каждого нажатия на рычаг пьезогенератор нужно разряжать. Опыт покажет, что максимальная длина искры составляет 4–5 мм, то есть развиваемое источником напряжение достигает примерно 12–15 кВ.

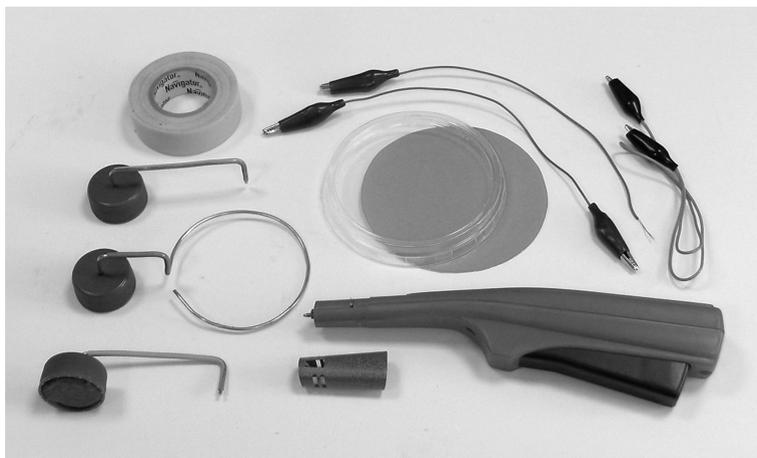


Рис. 8.10. Элементы экспериментальной установки для моделирования различных электростатических полей

8.2.4. Моделирование электростатического поля разноименных зарядов. Закон Кулона формулируется для точечных зарядов. Но таких зарядов в природе нет, мы всегда имеем дело с заряженными телами конечных, а не бесконечно малых размеров. Поэтому реальное электростатическое поле системы из двух одинаковых тел небольшого размера, несущих на себе равные противоположных знаков, является материальной моделью идеального поля разноименных зарядов.

Задание. Подготовьте пьезоэлектрический источник высокого напряжения, сосуд с плоским дном, машинное или подсолнечное масло, манную крупу, гибкий многожильный провод, алюминиевый провод в изоляции, изоленту.

Используя перечисленное оборудование, получите, исследуйте и объясните картину распределения силовых линий электростатического поля между двумя точечными разноименными зарядами. Исследуйте электрические поля между двумя разноименно заряженными плоскостями, между точечным зарядом и плоскостью, между точечным зарядом и шаром, несущим противоположный заряд.

Выполнение. Внешний вид экспериментальной установки для визуализации поля двух разноименных точечных зарядов показан на рис. 8.11 а. Электрическое поле создается в слое жидкого диэлектрика, налитого в пластиковую баночку с плоским дном. Точечные заряды моделируются оголенными концами алюминиевых проводов, которые укреплены на подставках из крышек пластиковых бутылок и соединены с пьезоэлектрическим источником.

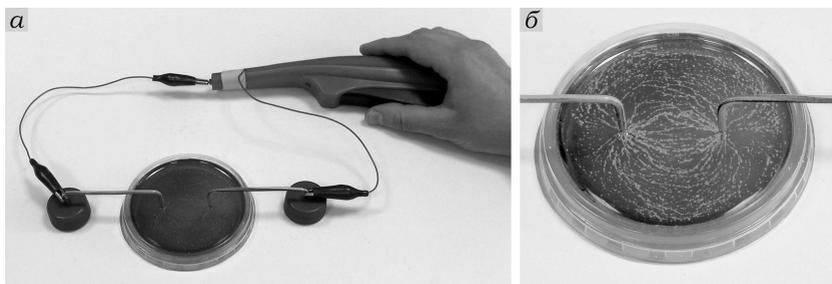


Рис. 8.11. Моделирование электростатического поля двух точечных зарядов: а — экспериментальная установка; б — увеличенная картина силовых линий

Опыт проводят следующим образом. В баночку наливают масло слоем, толщина которого составляет 1–2 мм, и равномерно посыпают поверхность масла манной крупой. Несколько раз нажимают на рычаг пьезозажигалки и наблюдают, что постепенно крупинки выстраиваются в нити, обозначая силовые линии электростатического поля между электродами (рис. 8.11 б).

Объясняют обнаруженное в опыте явление тем, что частицы манной крупы в электростатическом поле поляризуются так, что их противоположные стороны приобретают разноименные заряды. Это приводит к тому, что на каждую крупинку действуют силы со стороны исследуемого электростатического поля и со стороны соседних крупинок. В результате действия этих сил крупинки объединяются в нити, которые выстраиваются вдоль силовых линий.

8.2.5. Моделирование электростатического поля одноименных зарядов. Электростатическое поле, созданное заряженными телами в плоском слое диэлектрика, является физической моделью соответствующего поля в трехмерном пространстве. Такая модель соответствует оригиналу только качественно.

Задание. Разработайте способ моделирования электрических полей между телами, заряженными одноименно. Используя пьезоэлектрический источник высокого напряжения, сосуд с машинным маслом, алюминиевый провод в изоляции, гибкий многожильный провод и подходящее вспомогательное оборудование, получите картины поля для одиночного точечного заряда и двух точечных одноименных зарядов.

Выполнение. Нетрудно сообразить, что напряженность электрического поля, создаваемого одним полюсом пьезоисточника мала. Чтобы ее увеличить, нужно создать кольцевой электрод и подключить его ко второму полюсу источника. Оборудование для опытов изображено на рис. 8.10. На нем показаны кольцевой и точечные

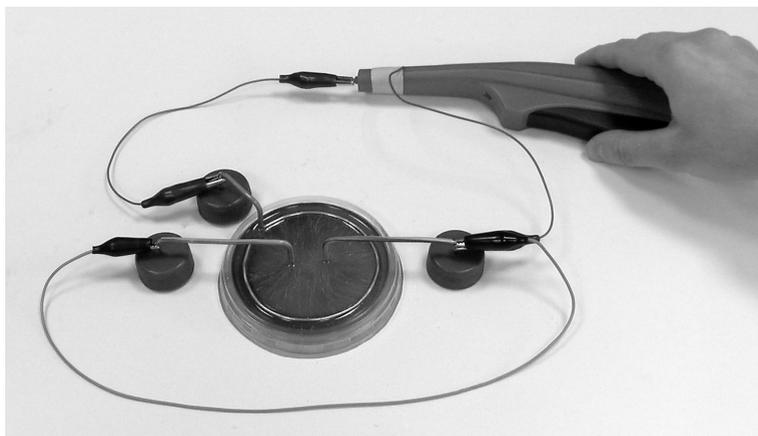


Рис. 8.12. Экспериментальная установка для моделирования электростатического поля двух одноименно заряженных точечных зарядов

электроды из алюминиевой проволоки; держатели электродов из крышек пластиковой бутылки, заполненных пластилином; пьезоэлектрическая зажигалка со снятым защитным кожухом, выполняющим роль второго электрода разрядника; пластиковый сосуд с картонной подставкой, на темном фоне которой удобно наблюдать распределение манной крупы; гибкие многожильные провода с крокодилами; рулон изоленты.

Установка для визуализации поля одноименных точечных зарядов показана на рис. 8.12. При постановке опытов вначале на поверхность масла равномерно насыпают немного манной крупы и несколько раз нажимают на рычаг пьезогенератора. В течение минуты после этого наблюдают за тем, как крупинки выстраиваются по силовым линиям. Затем вновь посыпают масло манной крупой и снова несколько раз нажимают на рычаг пьезогенератора. Спустя небольшое время процесс визуализации электростатического поля заканчивается.

На рис. 8.13 *а* показана модель поля цилиндрического конденсатора, которая качественно показывает распределение силовых линий в поле точечного заряда. Если точечный электрод смещен из центра кольцевого, то центральная симметрия картины нарушается (рис. 8.13 *б*). Модель поля одноименных точечных зарядов приведена на рис. 8.13 *в*.

8.2.6. Поджиг горючей смеси электрическим разрядом. Электрический разряд, создаваемый пьезогенератором, может быть использован для поджига горючей смеси. Собственно, в этом и состоит прямое назначение пьезозажигалки.

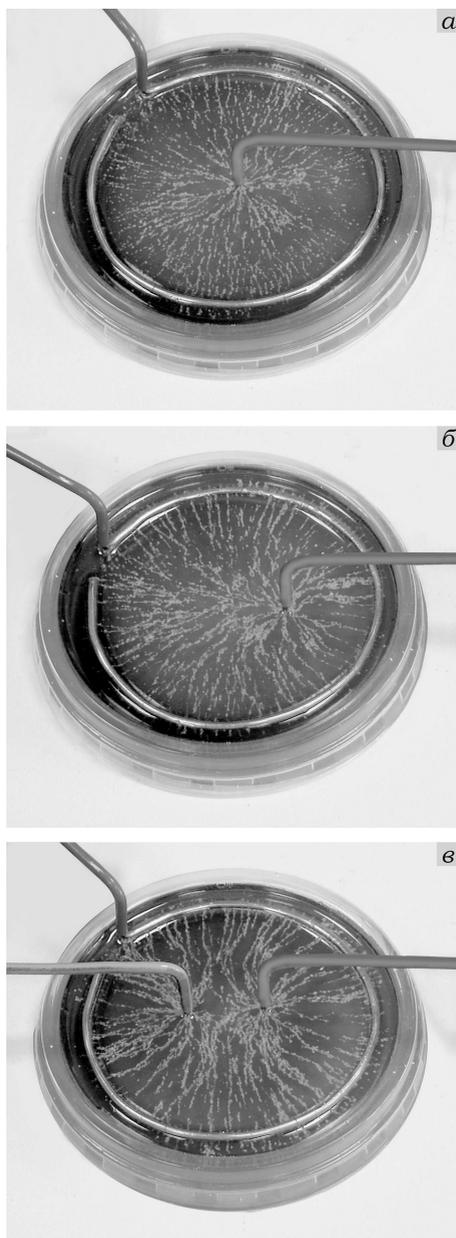


Рис. 8.13. Моделирование электростатических полей: *а* — поле одиночного точечного заряда; *б* — модель поля линейного заряда внутри экранирующего цилиндра; *в* — поле двух одноименных зарядов

Задание. Учитывая, что пьезоэлектрическая зажигалка предназначена для поджига газа в бытовых газовых плитах, разработайте учебный опыт, демонстрирующий принцип действия одноразового теплового двигателя. В качестве рабочего тела такого двигателя можно использовать пары спирта в воздухе, а поджиг горючей смеси осуществлять искровым разрядом. Демонстрационная установка должна быть совершенно безопасной и наглядно показывать, что тепловой двигатель совершает механическую работу.

Для выполнения проекта помимо пьезоэлектрического источника высокого напряжения, возможно, вам потребуются пластмассовая баночка высотой примерно 40 мм и диаметром 25 мм, пробка или крышка к баночке, соединительные провода и другое доступное оборудование.

Испытания придуманного вами устройства следует проводить только под руководством и при участии учителя.

Выполнение. Проще всего изготовить модель теплового двигателя типа пушки или ракеты. В первом случае баночка выполняет функцию ствола, а пробка моделирует вылетающий из пушки снаряд. Во втором — баночка используется в качестве корпуса ракеты, а пробка входит в состав пускового устройства.

Для изготовления модели ракеты пробку двумя одножильными проводами закрепляют на подходящей подставке (рис. 8.14 а). Провода скручивают и концы их оголяют так, чтобы получился разрядник. К баночке приклеивают силиконовый шарик подходящего размера.

Опыт проводят следующим образом. В баночку из сосуда наливают немного этилового спирта и выливают его обратно в сосуд. Баночку устанавливают на пробку, электроды разрядника подключают к пьезогенератору (рис. 8.14 а) и нажимают на его рычаг. При этом происходит электрический разряд, горючая смесь в баночке воспламеняется, раздается громкий хлопок, баночка срывается с пробки и летит вверх.

Если баночку не утяжелять силиконовым шариком, то она способна подняться значительно выше потолка. Однако для учебных опытов подъема баночки на высоту 1–2 м вполне достаточно. Закрепив пусковое устройство в лапке штатива, можно запускать модель ракеты в полет под углом к горизонту и использовать ее в тех опытах по механике, в которых изучаются законы сохранения энергии и импульса. Понятно, что опыт найдет применение также при изучении тепловых двигателей.

Правила безопасности при выполнении описанного опыта заключаются в следующем. Во-первых, нельзя направлять пусковое устройство на людей; во-вторых, баночка должна быть изготовлена из мягкого полиэтилена или другого пластика и не слишком туго

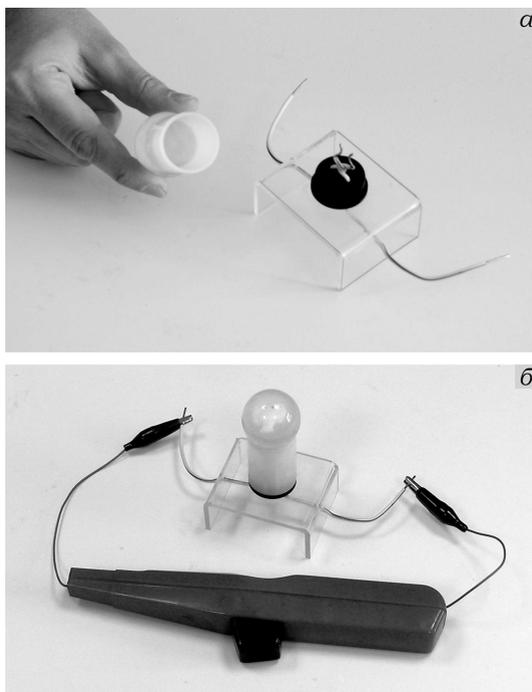


Рис. 8.14. Модель ракеты с электрическим поджигом: *а* — устройство модели ракеты; *б* — экспериментальная установка, подготовленная к запуску ракеты

сидеть на пробке; в-третьих, после заправки ракеты горючим сосуд со спиртом нужно плотно закрыть и убрать от места, где производятся испытания.

В заключение отметим, что в параграфе приведено лишь несколько примеров простых и доступных экспериментальных проектов школьников, относящихся к электростатике [65]. Более подробно с учебными экспериментами по этой теме можно познакомиться в статьях, опубликованных журналом «Физика-ПС» в 2007 году.

8.3. Демонстрация постоянного магнита и электромагнита на уроке физики

Рассмотрены демонстрационные опыты по изготовлению и сравнению постоянного магнита и электромагнита. Описано необходимое оборудование, приведены минимальные теоретические сведения, даны рекомендации по подготовке к уроку и

организации проектной деятельности школьников, связанной с учебными исследованиями магнитов.

Магниты вызывают неизменный интерес учащихся как основной, так и старшей школы. Чтобы в определенной степени удовлетворить этот интерес, а для некоторых школьников и значительно усилить его, нужно на уроке найти время для простых и эффектных демонстрационных опытов с магнитами. Рассмотрим деятельность учителя по подготовке и выполнению серии подобных опытов.

8.3.1. Необходимое оборудование. Для опытов в первую очередь потребуется регулируемый источник постоянного и переменного тока силой примерно до 5 А. Идеальным в этом смысле является выпускаемый промышленностью блок питания В-24, обеспечивающий получение переменного и постоянного напряжения, регулируемого в пределах от 0 до 30 В, и тока силой до 10 А.

Измерение силы постоянного и переменного тока лучше всего осуществлять мультиметром, например типа DT9205A, не забывая устанавливать на этом приборе необходимый режим работы и нужный предел измерения.

В опытах используют старый стальной подковообразный магнит. Обычно в школьном кабинете физики таких магнитов бывает несколько и все они, как правило, сильно размагничены. Подойдет любой из них, так как размеры постоянного магнита незначительны. Для определенности укажем, что в одной из серий опытов мы использовали магнит сечением 8×20 мм, изогнутый в виде подковы размером 65×95 мм.

Стальной якорь, замыкающий полюсы магнита, изготавливают из мягкой стали толщиной 4–5 мм — стальные полоски и уголки всегда есть под руками.

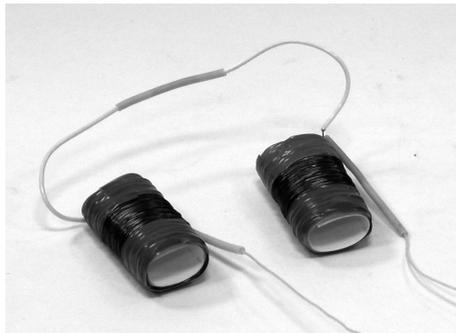


Рис. 8.15. Катушки для электромагнита, изготовленные по доступной для учителя и школьников технологии

Наконец, необходимо намотать две катушки, которые будут надеваться на полюсы магнита. Сделать это можно так. Один из полюсов оборачивают несколькими слоями тонкой бумаги и на них клеят ПВА склеивают каркас примерно из пяти слоев плотной бумаги. Этот каркас снимают и точно так же делают второй каркас. После полной их просушки на каркасы виток к витку наматывают одинаковые обмотки из 200–300 витков медного провода диаметром 0,47–0,67 мм в лаковой изоляции. Заметим, что рекомендованное число витков минимально: такие катушки легко сделать, но нельзя долго держать под током — они имеют небольшое сопротивление и быстро нагреваются. Лучше, если каждая катушка будет содержать по 500–600 витков.

Время от времени учитель должен показывать школьникам, что он не только много знает, но и кое-что умеет делать. В таком случае для изготовления катушек используют упрощенную технологию: каркасы делают на подходящей оправке из двух-трех слоев плотной бумаги, скрепляют их скотчем, на каркасы внавал укладывают провод и выводы катушек закрепляют изолентой (рис. 8.15).

Готовые катушки надевают на ножки подковообразного магнита, соединяют их последовательно и подключают к источнику постоянного напряжения, например, батарее на 4,5 В (рис. 8.16). Если стальной якорь притягивается слабее, то обмотки включены встречно и необходимо поменять местами концы одной из них. Если якорь притягивается значительно сильнее, то обмотки включены

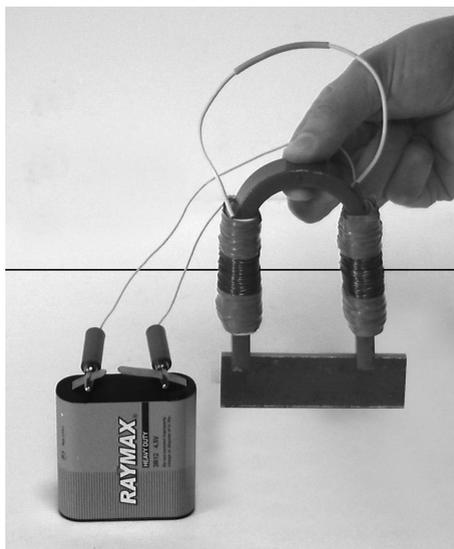


Рис. 8.16. Проверка правильности намотки катушек электромагнита

согласно, то есть так, что их витки намотаны в одну сторону. Именно такое соединение обмоток необходимо в демонстрациях.

Полностью подобранное для демонстрационных опытов оборудование изображено на рис. 8.17: мультиметр типа DT9205A, подковообразный стальной магнит, блок питания В-24, изготовленные по упрощенной технологии катушки, стальной якорь с проволочной петлей для подвешивания груза, гиря массой 5 кг. Чтобы были понятны характерные размеры отдельных элементов, рядом с ними сфотографирована линейка с миллиметровыми делениями.

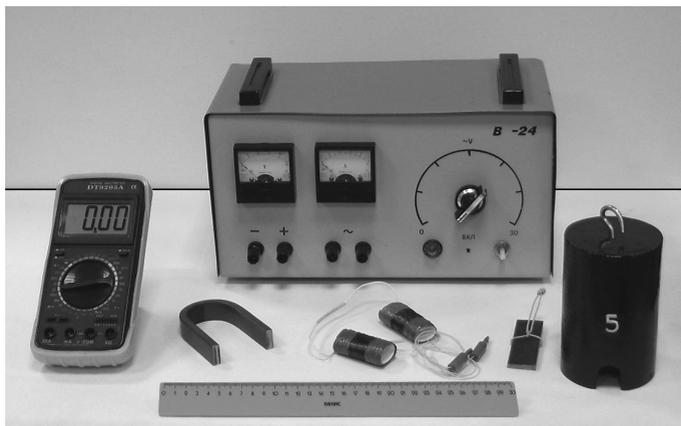


Рис. 8.17. Оборудование для экспериментов с электромагнитом

8.3.2. Минимальные теоретические сведения. Перед уроком, в каком бы классе он ни проводился, необходимо освежить физические знания, относящиеся к демонстрируемым явлениям магнетизма. Для этого лучше всего полистать хороший вузовский учебник физики, например [39], и подходящий школьный курс повышенного уровня [102, 103]. В них изложено примерно следующее.

Модуль индукции магнитного поля B_0 , создаваемого длинной катушкой (соленоидом), пропорционален силе проходящего по ней тока. Если внутрь катушки ввести ферромагнетик, то индукция результирующего магнитного поля возрастет в сотни и тысячи раз, достигнув некоторой величины B . Таким образом, отличительным признаком ферромагнетиков является их способность значительно усиливать магнитное поле.

Зависимость B от B_0 носит нелинейный характер (рис. 8.18а). Это объясняется тем, что в отсутствие внешнего магнитного поля ферромагнетик состоит из беспорядочно ориентированных областей спонтанного намагничивания — *доменов*. Поэтому в целом ферромагнетик не намагничен.

При введении ферромагнетика в возрастающее внешнее магнитное поле индукцией B_0 границы отдельных доменов смещаются так, что объем доменов, ориентированных по полю, увеличивается. Поэтому растет индукция B результирующего магнитного поля. Она достигает максимального значения насыщения B_s , когда все домены оказываются ориентированными вдоль поля.

Если теперь уменьшать индукцию B_0 внешнего поля до нуля (рис. 8.18 б), то индукция поля с ферромагнетиком B снизится от значения B_s , соответствующего насыщению, до некоторой величины B_r — получится постоянный магнит. Чтобы уничтожить *остаточную намагниченность* ферромагнетика, дающего поле индукцией B_r , необходимо изменить направление внешнего поля и увеличить по модулю его индукцию до некоторой величины B_{0c} . Это значение называют *коэрцитивной силой* магнита. Очевидно, что увеличение внешнего поля в обратном направлении приводит вновь к насыщению, а уменьшение — к появлению остаточной намагниченности. Так получается замкнутая кривая зависимости B от B_0 , которая называется *петлей гистерезиса*.

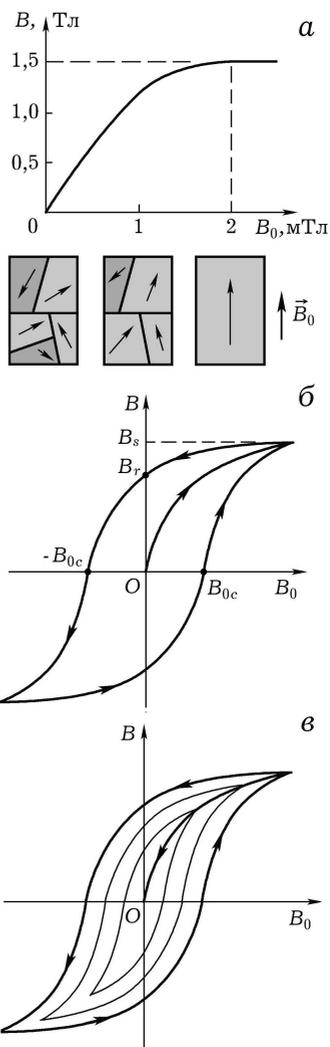


Рис. 8.18. К объяснению сущности процессов намагничивания, размагничивания и перемагничивания постоянных магнитов: а — зависимость индукции магнитного поля внутри соленоида с ферромагнитным сердечником от индукции без сердечника; б — петля гистерезиса; в — стягивание петли гистерезиса в точку, приводящее к размагничиванию ферромагнетика

Чем больше остаточная намагниченность ферромагнетика и его коэрцитивная сила, тем сильнее постоянный магнит и тем труднее его размагнитить.

Если намагниченный ферромагнетик подвергается многократным циклическим перемагничиванием при постепенном уменьшении внешнего магнитного поля до нуля, то петли гистерезиса стягиваются в точку, и он оказывается размагниченым (рис. 8.18 в).

Понятно, что в зависимости от класса, в котором демонстрируются опыты с магнитами, эти сведения должны быть использованы в разной степени, но иметь их в подсознании нужно всегда.

8.3.3. Демонстрационные опыты на уроке. Непосредственно на уроке на глазах учащихся собирают экспериментальную установку (рис. 8.19), непрерывно комментируя производимые действия. Два универсальных штатива ставят рядом, на высоте не более полуметра от стола в муфтах закрепляют горизонтальную стальную перекладину. Посередине ее крепят еще одну муфту, на которую навешивают постоянный подковообразный магнит. Рядом со штативами размещают блок В-24 и амперметр, в качестве которого, как уже говорилось, используют подходящий мультиметр.

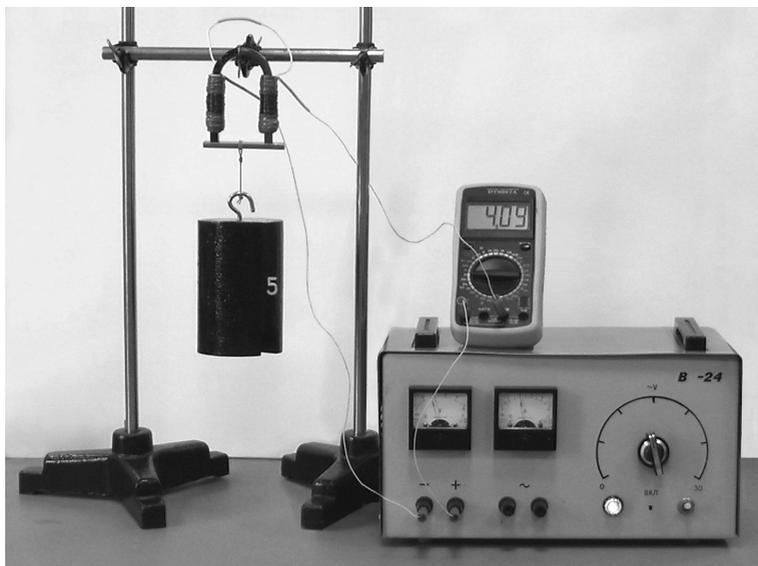


Рис. 8.19. Демонстрация электромагнита в действии

Опыт 1. Размагничивание постоянного магнита. К полюсам магнита приближают стальной якорь и показывают, что он притягивается настолько слабо, что не удерживается магнитом.

Говорят, что намагниченность магнита можно вообще уничтожить, и в подтверждение этих слов надевают на полюсы магнита катушки, включенные последовательно и согласно, закрепляют их резиновыми колечками и через амперметр подключают к источнику переменного тока. Включают источник и плавно увеличивают ток от нуля до примерно 5 А, и затем сразу так же плавно уменьшают его до нуля. Выключают источник и подносят к магниту стальной якорь или стальные скрепки и показывают, что магнит их вообще не притягивает.

Опыт 2. Намагничивание постоянного магнита. Чтобы намагнитить размагниченный магнит, подключают катушки к источнику постоянного тока, изменяют режим работы мультиметра и силу тока плавно увеличивают от нуля до 5 А, сразу после этого плавно уменьшают до нуля и выключают источник. Подносят стальной якорь к полюсам магнита и показывают, что он вырывается из рук и притягивается к магниту, ударяясь о него с характерным лязгом. Однако сила притяжения получившегося постоянного магнита относительно невелика.

Опыт 3. Изготовление электромагнита. В последнем опыте через катушки пропускают постоянный ток силой 4–5 А так, чтобы получился электромагнит. Примагничивают к нему стальной якорь и на нем подвешивают внушительный груз — например гирю в 5 кг или большую пластиковую бутылку, наполненную водой. Учащиеся наблюдают, что электромагнит способен удержать значительно больший груз, чем постоянный магнит из того же ферромагнетика. Через 20–30 секунд после начала опыта под груз ставят амортизирующую прокладку из плотного поролона и силу тока уменьшают до нуля — школьники видят, как якорь отделяется от магнита, и груз падает вниз.

Из проделанных опытов восхищенные учащиеся делают следующие выводы: 1) при прочих равных условиях наибольшей силой притяжения обладает электромагнит; 2) постоянный магнит имеет существенно меньшую силу притяжения, чем электромагнит; 3) чтобы получить постоянный магнит, ферромагнетик нужно намагнитить, поместив его на время во внешнее магнитное поле; 4) для размагничивания постоянного магнита его нужно поместить в переменное магнитное поле и постепенно уменьшить его до нуля.

В заключение демонстрации учитель подчеркивает, что школьники познакомились лишь с простейшими свойствами постоянных магнитов и электромагнитов. Желающие могут выполнить исследовательские проекты, связанные с углубленным изучением явлений магнетизма.

8.3.4. Подготовка к уроку и предварительные эксперименты.

Чтобы демонстрационные опыты на уроке заняли не более 5–10 минут, их необходимо тщательно подготовить. Некоторые учителя в целях экономии учебного времени считают нужным собирать экспериментальные установки заранее. Мы полагаем, что делать это лучше на глазах учащихся, которые, наблюдая за продуманными и отработанными действиями учителя, слушая его пояснения, усваивают приемы и методы сборки учебных экспериментальных установок. Но чтобы за одну-две минуты на уроке правильно собрать экспериментальную установку и проверить ее в работе, необходима предварительная тренировка.

Если исправного блока питания В-24 в школьном кабинете физики нет, можно использовать регулятор напряжения школьный типа РНШ, изготовив к нему двухполупериодный выпрямитель из четырех диодов типа Д243А или их аналогов (рис. 8.20). Такие диоды предназначены для выпрямления переменного тока силой до 10 А и выдерживают обратное напряжение до 200 В. Работать они будут в условиях, далеких от предельно допустимых, поэтому радиаторы для них не нужны.

Экспериментальная установка для подготовки опытов в этом случае может выглядеть так, как показано на рис. 8.21. Следует, однако, иметь в виду, что использование регулятора напряжения типа РНШ требует повышенного внимания к соблюдению техники безопасности. Дело в том, что на обмотку магнита нужно подавать напряжение до 10–15 В, а указанный регулятор обеспечивает получение переменного напряжения до 240 В. Поэтому работать с регулятором РНШ может только учитель.

Подготовку оборудования для опытов целесообразно осуществить совместно с одним-двумя школьниками. Учитель подбирает постоянный магнит и намоточный провод, а школьники находят остальные материалы, изготавливают якорь и катушки в физическом кабинете или даже у себя дома. На рис. 8.22 показаны катушки, которые сделали школьники, вообще ничего не умеющие делать. Учащимся будет интересно выполнить исследовательский проект по сравнению постоянных магнитов и электромагнитов. В

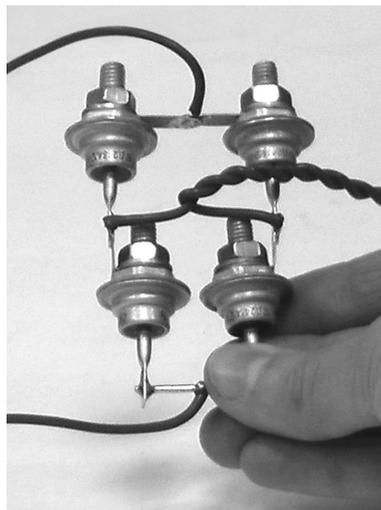


Рис. 8.20. Внешний вид двухполупериодного выпрямителя

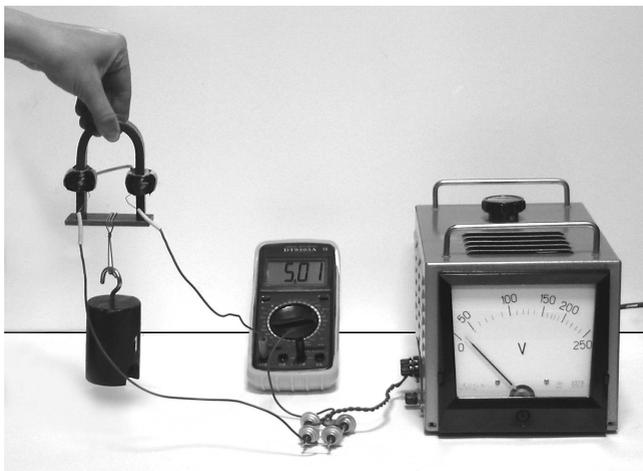


Рис. 8.21. Демонстрация работы электромагнита при использовании школьного регулятора напряжения

рамках этого проекта можно исследовать зависимость подъемной силы электромагнита, например от числа витков катушек, силы проходящего по ним тока и т.д. Обязательно найдется школьник, которому захочется спаять двухполупериодный выпрямитель и посмотреть, как он работает.

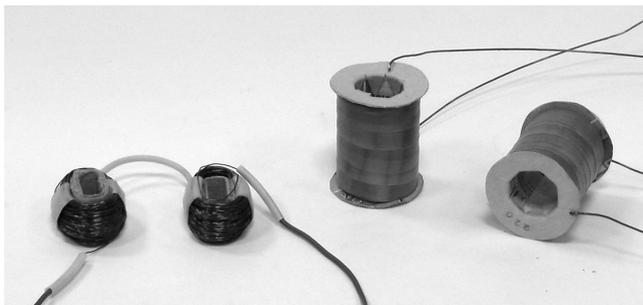


Рис. 8.22. Возможные конструкции катушек для электромагнита

Прежде чем идти на урок, все опыты необходимо тщательно проделать, чтобы довести технику демонстрирования до должного уровня. Эту работу, как и подготовительный этап, следует провести совместно с заинтересованными школьниками [66]. В таком случае одновременно с задачей подготовки к уроку будет осуществляться неформальное взаимодействие с учащимися в рамках их проектной деятельности. Можно рекомендовать школьникам статью [36], посвященную опытам с магнитами, в которых используется школьный универсальный трансформатор.

Глава 9

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОЕКТЫ ВЫПУСКНОГО КЛАССА

В главе рассмотрены особенности отбора содержания и организации проектной деятельности в выпускном классе средней школы. Обоснована целесообразность выполнения исследовательских проектов физических явлений волновой оптики. Предложено содержание проектной исследовательской деятельности школьников по выполнению доступных вариантов классических экспериментов Г. Юнга, обосновавших волновую природу света. Представлено содержание проекта по исследованию эриометра Юнга как оптической модели дифракции электронов. Изложена технология подготовки и осуществления учебного исследования дифракции света на множестве беспорядочно расположенных одинаковых объектов.

9.1. Особенности проектной деятельности в выпускном классе

Максимальный учебно-воспитательный эффект достигается в совместной научно-исследовательской деятельности учителя и его учеников. Задачей учителя в такой деятельности является получение нового знания в области теории и методики обучения физике. Задача учеников заключается, как правило, в разработке новых или совершенствовании известных учебных физических экспериментов. Понятно, что при этом происходит развитие личности как учителя, так и учащихся.

Выпускники средней школы, с одной стороны, имеют довольно обширные познания в элементарной физике и поэтому в принципе могут выполнять достаточно серьезные проекты по исследованию физических явлений. С другой стороны, они находятся в жестких временных рамках, определяемых необходимостью подготовки к выпускным экзаменам, и поэтому не склонны тратить время на то, что не способствует поступлению в вуз.

Для организации научно-исследовательской деятельности при изучении физики в условиях современной профильной школы необходимы в первую очередь специальные разработки ее содержания, представляющего интерес как для учителя, так и для учащихся. Таких разработок должно быть большое количество по всем

разделам и отдельным вопросам школьного курса физики. Это позволит надеяться, что учитель или учащиеся смогут найти темы исследования по душе и по своим возможностям.

9.2. Интерференционный опыт Юнга

Рассмотрено содержание исследовательского проекта, связанного с изучением интерференции и дифракции света на примере опыта Юнга. Дидактический ресурс проекта представлен в форме статьи, предназначенной для школьника, и состоит из серии описаний небольших теоретических и экспериментальных исследований. Описание исследования содержит информацию, в принципе достаточную для его выполнения, несколько заданий, расширяющих и углубляющих эту информацию, и ссылки на источники дополнительной информации, полезные как учителю, так и ученику, выполняющему проект.

Возможны самые различные варианты методики работы с представленным материалом. Наиболее простой заключается в том, что заинтересованному учащемуся рекомендуется познакомиться со статьей, проверить, насколько сообщенные в ней сведения соответствуют действительности, и по результатам проверки подготовить доклад с презентацией. Но никто не мешает поставить и более амбициозные цели, например, заменить глаз наблюдателя цифровым фотоаппаратом и вместо визуальных разработать серию демонстрационных экспериментов с использованием современной компьютерной техники.

Настоящий физик — неважно, теоретик он или экспериментатор — обладает исключительной наблюдательностью, которую ценит и непрерывно развивает в себе. Дело в том, что умение видеть и замечать неразрывно связано с умением понимать и объяснять. Недаром кто-то из великих утверждал: видишь только то, что понимаешь. Опыты, которые предлагаются в этом проекте, как раз и относятся к таким, в которых нужно тщательно наблюдать физические явления и правильно их объяснять. Значит, они в значительной степени будут способствовать развитию вашей наблюдательности, так необходимой в дальнейшем.

9.2.1. Опыт Юнга. В 1802 году английский ученый Томас Юнг выполнил эксперимент, который в наши дни рассматривается во всех учебниках физики. На пути светового пучка, идущего от небольшого источника света, он расположил непрозрачный экран с двумя одинаковыми отверстиями. За ними он поместил белый экран, на котором получились два светлых пятна. Отодвигая белый экран, Юнг наблюдал, что светлые пятна на нем расширяются и

частично накладываются друг на друга. При этом в области наложения световых пучков на экране обнаружилось светлые и темные полосы, расположенные перпендикулярно отрезку, соединяющему центры отверстий.

В этом простом по идее опыте Юнг обнаружил *дифракцию* и *интерференцию света* — два фундаментальных оптических явления, которые позволили ему уверенно утверждать, что свет представляет собой волновой процесс.

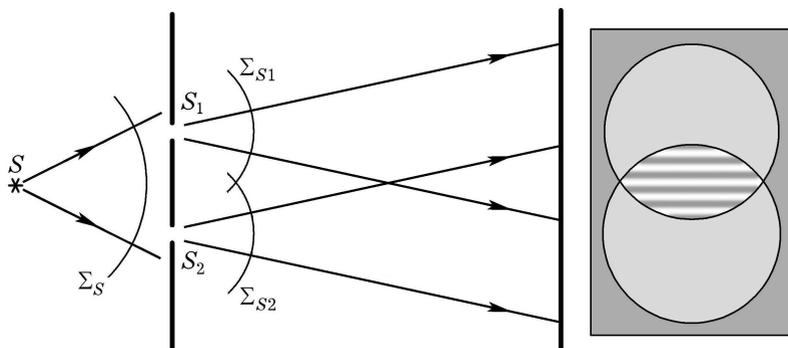


Рис. 9.1. Оптическая схема опыта Юнга

Схематически опыт Юнга изображен на рис. 9.1. Точечный источник S монохроматического света испускает сферическую световую волну Σ_S . Она падает на небольшие отверстия в непрозрачном экране и дифрагирует на них так, что отверстия, в свою очередь, можно считать точечными источниками света S_1 и S_2 . От них распространяются близкие к сферическим волны Σ_{S1} и Σ_{S2} в виде расходящихся световых пучков. Оба пучка получены от одного и того же источника S , поэтому соответствующие им волны *когерентны* и в области наложения друг на друга интерферируют. Светлые полосы проходят через точки, в которых при интерференции образуются максимумы интенсивности, а темные — через точки, в которых получаются минимумы интенсивности света.

9.2.2. Расчет интерференционной картины. Чтобы вычислить положения максимумов и минимумов интенсивности, надо определить оптическую разность хода Δ между волнами, идущими от источника S через отверстия S_1 и S_2 в произвольную точку наблюдения P (рис. 9.2). Будем считать, что $SS_1 = SS_2$, и обозначим $S_1S_2 = d$, $AO = l$, $S_1P = x_1$, $S_2P = x_2$, тогда $\Delta = x_2 - x_1$. На белом экране введем координатную ось y так, чтобы она была параллельна отрезку S_1S_2 , соединяющему источники, и начало координат O находилось на равных расстояниях от источников.

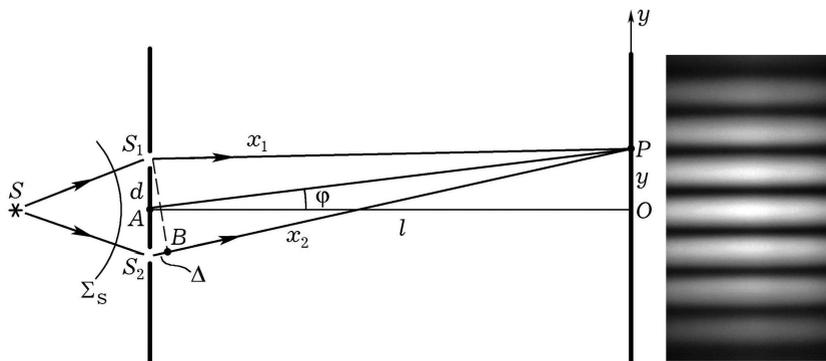


Рис. 9.2. К расчету интерференционной картины, получающейся в опыте Юнга

В условиях опыта Юнга величины d и y значительно меньше расстояния l между экранами. Поэтому, отложив на отрезке x_2 отрезок x_1 , получаем треугольник S_1S_2B , который приближенно можно считать подобным треугольнику AOP . Тогда справедливо примерное равенство $\Delta/d = y/l$. Так как максимумы интенсивности при интерференции образуются, если оптическая разность хода между волнами равна целому числу длин волн $\Delta = k\lambda$, то координаты светлых полос на экране определяются выражением

$$y = k \frac{l\lambda}{d}, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (9.1)$$

Между соседними максимумами интенсивности расположены минимумы, интенсивность света в которых можно считать равной нулю.

Задания и вопросы

1. *Условия наблюдения интерференционной картины.* На листе белой бумаги черным фломастером нарисуйте несколько равноотстоящих параллельных полос, ширина которых примерно равна ширине промежутков между ними. Посмотрите на полосы с разных расстояний и оцените, насколько хорошо вы их видите. Теперь, пользуясь формулой (9.1), определите расстояние d между отверстиями S_1 , S_2 и расстояние l от них до области наблюдения, при котором можно надеяться различить интерференционные полосы.

2. *Интерференционные полосы.* Представьте, что S_1 и S_2 — два точечных источника, испускающих когерентные монохроматические световые волны. Выясните, что собой представляют интерференционные полосы на экранах, параллельном и перпендикулярном отрезку S_1S_2 .

3. *Интерференционная картина в белом свете.* Подробно опишите, какую картину вы ожидаете получить, если в опыте Юнга

вместо монохроматического использовать источник, испускающий белый свет.

4. *Интерференционные минимумы интенсивности.* На рис. 9.2 справа приведена фотография интерференционной картины, получающейся в опыте Юнга. Почему ближайšie к центральному максимуму минимумы интенсивности наиболее темные?

5. *Точечный источник света.* Объясните, почему в опыте Юнга источник S , свет от которого падает на отверстия S_1 и S_2 в непрозрачном экране, должен быть точечным. Реальные источники света всегда имеют определенные размеры. Как оценить точечность реального источника?

9.2.3. Интерференционные полосы Юнга в бесконечности. Результаты предыдущего исследования показывают, что в опыте Юнга размеры источника света и отверстий в экране должны быть малы, а расстояния от экрана с отверстиями до источника и области наблюдения велики. В таком случае интерференционная картина на белом экране будет иметь небольшую яркость. Расходящиеся из отверстий пучки света можно попробовать собрать линзой. Яркость интерференционной картины при этом возрастет, но как изменится сама картина?

Чтобы выяснить это, обратимся к рис. 9.3. Пусть два когерентных точечных источника S_1 и S_2 находятся на расстоянии d друг от друга и расположены симметрично относительно главной

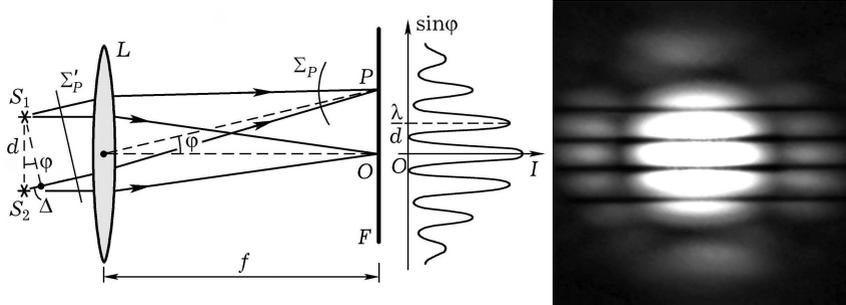


Рис. 9.3. К расчету интерференционной картины в опыте Юнга, в котором для увеличения яркости используется линза

оптической оси вблизи собирающей линзы L . Эти источники испускают расходящиеся сферические волны, которые, проходя через линзу, накладываются друг на друга и интерферируют на экране, расположенном в фокальной плоскости F .

В каждую точку P экрана приходят две волны. Чтобы определить оптическую разность хода между ними, будем рассуждать так. Представим, что в P находится точечный источник света,

который испускает сферическую волну Σ_P . Пройдя сквозь линзу L и оказавшись возле источников S_1 и S_2 , эта волна становится плоской Σ'_P . Так как волновая поверхность Σ'_P — это поверхность равной фазы, то на пути от нее до точки P волны, идущие из S_1 и S_2 , никакой разности фаз и соответственно разности хода не приобретут. Следовательно, достаточно вычислить оптическую разность хода, возникающую между волнами на пути от источников S_1 и S_2 до произвольной плоскости Σ'_P , перпендикулярной идущим в точку наблюдения P лучам.

Из рис. 9.3 видно, что эта разность хода равна $\Delta = d \sin \varphi$, тогда условие максимумов интерференции будет иметь вид

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (9.2)$$

Полученная формула совсем не похожа на формулу (9.1). Но так ли это на самом деле?

Вернемся к рис. 9.2 и внимательно посмотрим на него. Очевидно, $\operatorname{tg} \varphi = y/l$. Но при малых углах тангенс равен синусу, поэтому, заменив в формуле (9.1) отношение y/l на $\sin \varphi$, мы приходим к формуле (9.2)! Фактически обе обсуждаемые формулы получены в предположении, что экран для наблюдений расположен бесконечно далеко от когерентных источников света. Но в первом случае экран расположен не бесконечно, а просто далеко, а во втором — на самом деле удален в бесконечность, так как находится в задней фокальной плоскости собирающей линзы.

Обратите внимание: на рис. 9.3 справа приведены график распределения интенсивности I монохроматического света в зависимости от $\sin \varphi$ и реальная интерференционная картина для случая, когда когерентные источники испускают белый свет.

Задания и вопросы

1. *Параллельный пучок света.* Показанные на рис. 9.2 точечные источники на самом деле представляют собой небольшие одинаковые отверстия, сделанные в непрозрачном экране, расположенном вплотную к линзе. Чтобы интерференционная картина получилась в фокальной плоскости линзы, источник света должен находиться в бесконечности. Предложите оптическое устройство, позволяющее этого достичь.

2. *Оптическая схема эксперимента.* Нарисуйте собирающую линзу и на ее главной оптической оси точечный источник света так, чтобы линза давала действительное изображение этого источника. Теперь вплотную к линзе нарисуйте непрозрачный экран с двумя одинаковыми отверстиями, расположенными симметрично относительно оси. Изобразите световые пучки, проходящие от источника света через отверстия и линзу. Где вы ожидаете получить интерференционную картину, расчет которой только что выполнен?

3. *Распределение интенсивности света.* На рис. 9.3 справа приведен график интенсивности в интерференционной картине, полученной от источника белого света с красным светофильтром. Объясните, почему получается такой график.

4. *Интерференционная картина в белом свете.* На рис. 9.3 приведена черно-белая фотография интерференционной картины, полученной в белом свете. Выясните, как в реальности выглядит эта картина.

5. *Интерференция и дифракция света.* Что важнее в опыте Юнга: интерференция или дифракция света? Как правильнее называть получающуюся в опыте Юнга картину: интерференционной или дифракционной?

9.2.4. Оборудование для опытов. Для постановки учебных вариантов опыта Юнга необходимы точечный и линейный источники света. Чтобы сделать их, приготовьте несколько лампочек карманного фонаря (3,5 В; 0,26 А), патрон для них, батарейку на 4,5 В, переменный резистор сопротивлением 100 Ом и соединительные провода. Подключите лампочку к батарейке через переменный резистор и, регулируя его сопротивление, добейтесь слабого свечения нити лампочки (рис. 9.4 а). Подберите такую лампочку, нить которой имеет форму гладкой дуги.

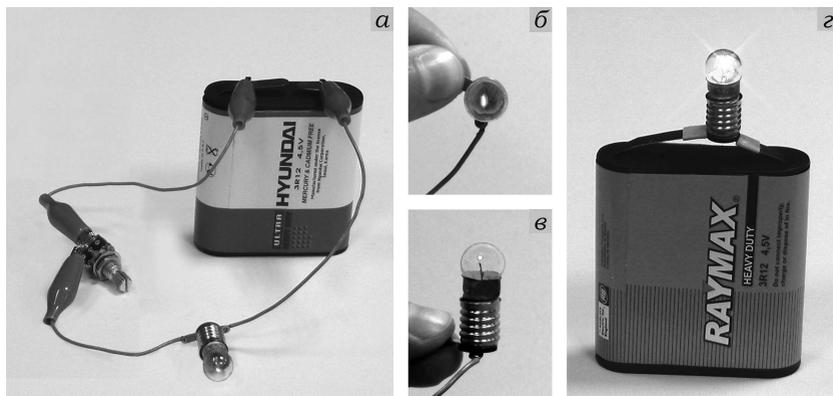


Рис. 9.4. Оборудование для опыта Юнга: а — установка для отбора малогабаритной лампы накаливания с прямой нитью; б — положение лампы для получения линейного источника света; в — положение лампы для получения точечного источника света; г — удобное для опытов крепление лампы

Поверните лампочку так, чтобы ее нить была видна в виде небольшого прямого отрезка (рис. 9.4 б). Если это удалось, такая лампочка пригодна в качестве линейного источника света. Но ее можно использовать и как точечный источник, если развернуть так, чтобы был виден небольшой участок светящейся нити (рис. 9.4 в).



Рис. 9.5. Изготовление отверстий для опыта Юнга: *а* — алюминиевая фольга, ластик, набор игл; *б* — процесс изготовления круглого отверстия

Патрон двумя хлорвиниловыми колечками закрепите на электродах батарейки и вверните в него лампочку (рис. 9.4 *з*). Теперь батарейку вместе с лампочкой вы всегда сможете расположить так, чтобы в направлении наблюдения получить либо точечный, либо линейный источник света.

Осталось научиться делать круглые отверстия. Для этого приготовьте алюминиевую фольгу толщиной 0,1 мм, ластик и швейные иглы (рис. 9.5 *а*). Из фольги вырежьте небольшой листок и тщательно разгладьте его на ровной поверхности. Положите листок фольги на ластик, поставьте на листок иглу вертикально и, вращая фольгу вокруг иглы, проколите в ней отверстие (рис. 9.5 *б*). Оно должно быть как можно более круглым. Сделайте в фольге несколько круглых отверстий диаметром примерно от 1,0 мм до 0,2 мм. Чтобы получить отверстия меньшего диаметра, нужно в качестве подложки вместо ластика использовать лист плотной бумаги, лежащий на твердой поверхности.

Задания и вопросы

1. *Диаметр отверстия.* Предложите и опробуйте разные способы измерения диаметров отверстий, проколотых иглой в алюминиевой фольге.

2. *Размеры источника света.* Предложите и опробуйте способ измерения диаметра и длины спирали лампочки карманного фонаря. Оцените размеры точечного и линейного источников света, в качестве которых используется такая лампочка.

3. *Два одинаковых отверстия.* Научитесь прокалывать в алюминиевой фольге два одинаковых отверстия, расположенных рядом. Для количественных экспериментов нужно знать диаметры отверстий и расстояние между их центрами. Предложите способы решения этой проблемы.

9.2.5. Дифракция света на круглом отверстии. Включите лампочку и расположите ее на расстоянии порядка метра от глаза так, чтобы был виден небольшой участок спирали, который можно считать точечным источником света.

Поместите перед зрачком глаза непрозрачный экран из алюминиевой фольги с отверстием диаметром около 1 мм. Вы по-прежнему будете видеть источник света, разве что несколько менее яркий (рис. 9.6 а).

Уменьшая диаметр отверстия, диафрагмирующего зрачок, вы обнаружите, что изображение источника превращается в круглое светлое пятно, окруженное слабыми светлыми кольцами (рис. 9.6 б). Наконец, при очень маленьком отверстии вы увидите картину, схематически показанную на рис. 9.6 в.

Из опыта со всей очевидностью следует, что при прохождении через небольшое отверстие в непрозрачном экране свет отклоняется в сторону геометрической тени от экрана, то есть *существует дифракция света*.

Кроме того, опыт показывает, что *существует и интерференция света*. Действительно, светлые и темные кольца в наблюдаемой дифракционной картине есть не что иное, как правильно расположенные максимумы и минимумы интенсивности света. Подобное перераспределение интенсивности может возникнуть только при интерференции.

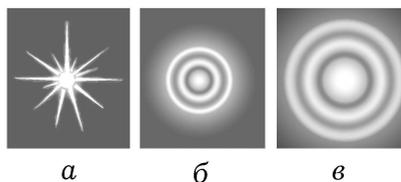


Рис. 9.6. Картина, даваемая точечным источником света при наблюдении сквозь круглое отверстие: от а к в диаметр отверстия уменьшается

Задания и вопросы

1. *Дифракционная картина.* Проведите наблюдения дифракции света на круглом отверстии в белом и монохроматическом свете. Зарисуйте и подробно опишите наблюдаемые вами в опытах дифракционные картины от круглых отверстий.

2. *Принцип Гюйгенса–Френеля.* Выясните, в чем физическая сущность принципа Гюйгенса–Френеля и как этот принцип используется при решении простейших дифракционных проблем.

3. *Метод зон Френеля.* Разберитесь, как с помощью метода зон Френеля можно оценить интенсивность дифрагированного света на оси круглого отверстия.

4. *Дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера.* Выясните, в чем различие между дифракцией Френеля и дифракцией Фраунгофера, и какой именно вид дифракции имеет место в проделанных вами опытах.

9.2.6. Простейший вариант опыта Юнга. Обдумывая результат рассмотренных в предыдущем пункте опытов по дифракции света, вы не можете не прийти к выводу, что в них наблюдается интерференция световых волн, идущих от разных точек отверстия. Чтобы подтвердить этот вывод, соответствующий принципу Гюйгенса–Френеля, нужно рядом с первым расположить второе такое же отверстие.

Для этого научитесь в листке фольги делать иглой одинаковые круглые отверстия диаметром в несколько десятых долей миллиметра так, чтобы расстояние между ними было примерно в два раза больше самих отверстий. Это не столь трудно, как кажется, но потренироваться все же придется.

В условиях описанного в предыдущем пункте опыта поместите вплотную перед зрачком глаза фольгу с двумя одинаковыми отверстиями. Как только вы увидите картину, подобную схематически показанной на рис. 9.7 *а* справа, значит, вы достигли нужного результата.

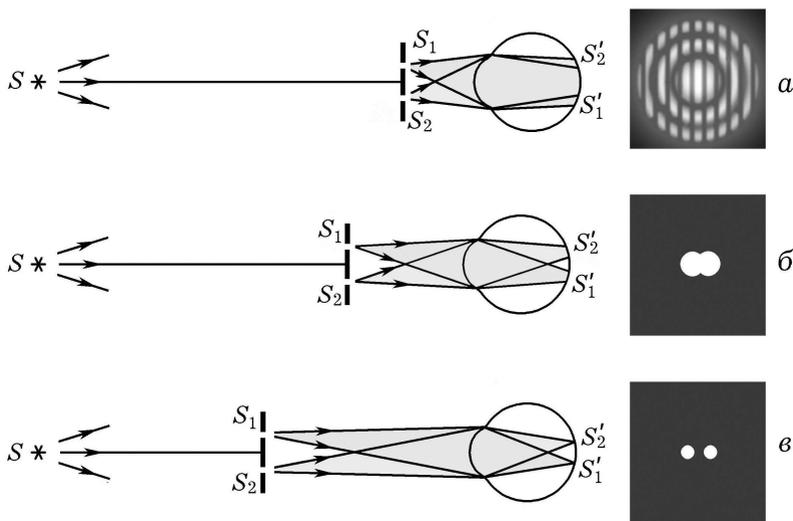


Рис. 9.7. Схема и результат опыта, в котором экран с двумя круглыми отверстиями располагают перед зрачком глаза на пути пучка света от точечного источника: от *а* к *в* расстояние от глаза до экрана увеличивается

Отодвигая фольгу с отверстиями от зрачка и стараясь аккомодировать глаз на отверстия, вы будете наблюдать такие же картины, как на рис. 9.7 *б* и рис. 9.7 *в*.

Проведя опыт в обратной последовательности, вы получите убедительное доказательство того факта, что два небольших отверстия, освещенные сзади светом точечного источника, сами являются

ся близкими к точечным источниками, световые пучки от которых, накладываясь друг на друга, интерферируют, следовательно, представляют собой когерентные волны.

Задания и вопросы

1. *Сравнение эксперимента с теорией.* Сравните условия выполненного вами эксперимента с двумя вариантами теории опыта Юнга, представленными в пунктах 9.2.2 и 9.2.3.

2. *Экспериментальное обоснование теории.* На качественном уровне в серии экспериментов подтвердите вытекающую из теории опыта Юнга зависимость расстояния между интерференционными полосами от расстояния d между отверстиями и от длины световой волны λ .

3. *Интерференция в монохроматическом свете.* Используя в качестве источника света полупроводниковый лазер (лазерную указку), дающий монохроматическое излучение длиной волны 0,68 мкм, поставьте опыт Юнга по схеме, приведенной на рис. 9.1. Исследуйте получающуюся интерференционную картину.

4. *Точечность источника света.* Выясните, при каких условиях спираль лампы карманного фонаря можно считать точечным источником. Для этого используйте пары одинаковых отверстий, расстояния между центрами которых последовательно увеличиваются, и наблюдения интерференции проводите при различных расстояниях до источника.

9.2.7. Дифракция света на щели. Рассчитать дифракционное распределение интенсивности при прохождении света сквозь круглое отверстие не просто, а через щель — не представляет особых трудностей.

Пусть на щель шириной b падает параллельный пучок из точечного источника S , лежащего в бесконечности (рис. 9.8). Этот пучок просто проходит через щель и идет дальше в бесконечность. Если на его пути перпендикулярно пучку поставить собирающую линзу L , то прошедший сквозь щель свет соберется в ее фокусе и даст изображение S' источника. Можно считать, что точка S' находится в бесконечности, а фокальная плоскость линзы F представляет собой бесконечно удаленную плоскость. Оптические явления, наблюдающиеся в этих условиях, называются *дифракцией Фраунгофера*. К слову сказать, если источник света и плоскость наблюдений находятся на конечных расстояниях от объекта дифракции, то происходящие явления принято называть *дифракцией Френеля*.

Однако свет не только проходит сквозь щель, но и дифрагирует на ней. Чтобы узнать интенсивность света в произвольной точке P бесконечно удаленного экрана F , согласно принципу Гюйгенса–

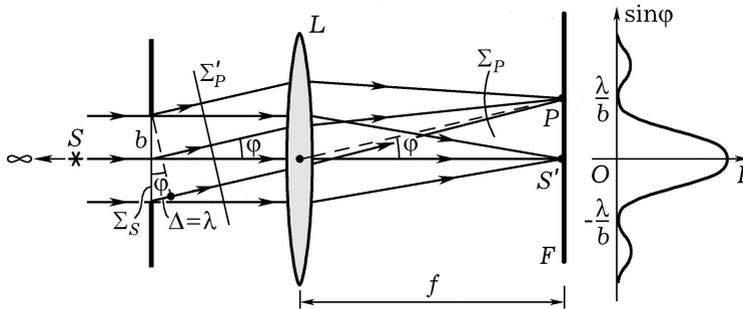


Рис. 9.8. К расчету картины при дифракции Фраунгофера на щели

Френеля нужно найти результат интерференции всех вторичных волн, приходящих в точку P от точек волновой поверхности Σ_S . Это непростая задача.

Мы существенно упростим ее решение, если воспользуемся предложенным Френелем методом разбиения волновой поверхности на зоны. Их нужно строить так, чтобы разность хода между вторичными волнами, идущими из краев произвольной зоны в точку наблюдения P , составляла половину длины волны света $\lambda/2$. Тогда для каждой точки любой зоны Френеля найдется такая точка соседней зоны, что разность хода между волнами, идущими из них в точку P , равна $\lambda/2$. В итоге волны соседних зон Френеля дают в точке наблюдения минимум интенсивности.

Для случая, изображенного на рис. 9.8, разность хода Δ между волнами, идущими из краев щели в точку наблюдения P , равна длине волны света λ . Значит, для этой точки в щели укладывается две зоны Френеля, и в точке P бесконечно удаленного экрана наблюдается первый минимум интенсивности. Минимумы будут получаться также в тех точках экрана, для которых в щели укладывается 4, 6, 8 и т. д. зон Френеля. Понятно, что между соседними минимумами расположены максимумы интенсивности.

Таким образом, при дифракции Фраунгофера на щели минимумы интенсивности света образуются в таких направлениях φ , для которых в щели укладывается четное число зон Френеля:

$$b \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2}, \quad k = \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (9.3)$$

где b — ширина щели, λ — длина световой волны, k — номер или порядок минимума.

Учитывая, что большая часть света просто проходит сквозь щель, не испытывая дифракционного отклонения, приходим к выводу, что наиболее ярким должен быть центральный максимум интенсивности. При этом график зависимости интенсивности света

I от синуса угла дифракции $\sin \varphi$ должен выглядеть примерно так, как показано на рис. 9.8 справа.

Задания и вопросы

1. *Дифракция Фраунгофера на щели.* В школьном кабинете физики имеется проекционный аппарат, в комплект к которому входит раздвижная щель на диске. На расстоянии примерно метр от себя расположите линейный источник света так, чтобы он был ориентирован вертикально. Перед глазом поместите вертикальную щель шириной примерно 2 мм. С помощью винта постепенно уменьшайте ширину щели и наблюдайте за соответствующими изменениями дифракционной картины.

2. *Использование монохроматического источника.* В штативе закрепите полупроводниковый лазер и раздвижную щель на диске. Направьте выходящий из щели пучок на белый экран, отстоящий на расстояние около метра от щели. Уменьшайте ширину щели до нуля, наблюдайте, объясните и опишите изменения получающейся на экране дифракционной картины. С дифракцией Френеля или Фраунгофера вы имеете дело в этом опыте?

9.2.8. Щели вместо круглых отверстий. Недостатком описанных выше опытов Юнга является низкая яркость интерференционной картины. Избавиться от этого недостатка просто: нужно вместо круглых отверстий использовать параллельные щели одинаковой ширины, а вместо точечного источника света — линейный. Тогда, как нетрудно сообразить, будут накладываться друг на друга одинаковые интерференционные картины, образованные разными точками линейного источника, и интенсивность результирующей картины многократно возрастет.

Линейный источник небольшой длины в вашем распоряжении есть (см. п. 9.2.4). Теперь осталось научиться делать в непрозрачном экране узкие параллельные щели одинаковой ширины. Есть несколько способов добиться требуемого, но все они требуют терпения и аккуратности.

Непрозрачный экран можно изготовить, нанеся на чистую стеклянную поверхность слой морозоустойчивой туши. Знаменитый американский физик Роберт Вуд с этой целью покрывал стекло слоем копоти и, чтобы повысить его прочность, смачивал копоть спиртом.

Мы нашли, что стекло можно просто покрасить черным маркером и прорезать щели сразу, как только слой краски подсохнет.

В слоях туши, копоти или краски можно прорезать очень тонкие щели лезвием безопасной бритвы. Для этого на непрозрачный слой кладут стальную линейку и проводят лезвием один раз так, чтобы оно, касаясь линейки, было расположено вертикально, а второй

раз — так, чтобы лезвие находилось под углом. В зависимости от толщины линейки и степени наклона лезвия получается различная ширина непрозрачного промежутка между щелями.

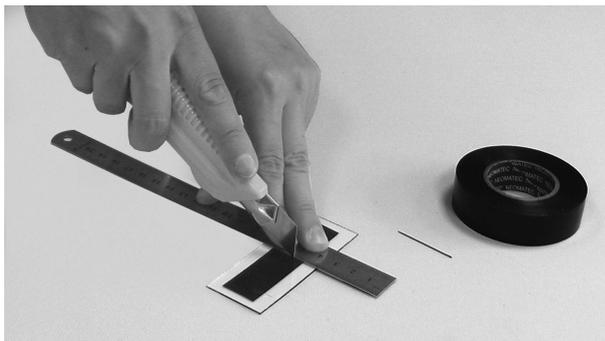


Рис. 9.9. Доступный способ изготовления двух узких щелей для опыта Юнга

Понятно, что можно сложить вместе два одинаковых лезвия, проложив между ними прокладку требуемой толщины, и провести по линейке сразу двумя лезвиями так, чтобы одновременно получить две щели в непрозрачном слое.

На рис. 9.9 показан еще один способ изготовления щелей. Для этого на чистое сухое стекло нужно наклеить кусок виниловой изолянты черного цвета, в нем острым канцелярским ножом сделать четыре реза и затем иглой удалить узкие полоски изолянты возле крайних резов. Заметим, что все приведенные здесь фотографии интерференционных картин получены от щелей, вырезанных в изолянте.

Задания и вопросы

1. *Изготовление двойных щелей.* Из представленных выше выберите наиболее приемлемый для вас способ изготовления в непрозрачном экране двух параллельных щелей одинаковой ширины. Освойте выбранный способ так, чтобы вы могли делать щели требуемой ширины и необходимого расстояния между их центрами.

2. *Измерение размеров отверстий.* Существуют десятикратные измерительные лупы со шкалой в фокальной плоскости (рис. 9.10). Можно попытаться найти измерительный микроскоп или применить обычный микроскоп для измерения длин небольших отрезков. Наконец, никто не возражает использовать *Web*-камеру с перевернутым объективом и компьютер или ноутбук. Научитесь любым доступным вам способом измерять размеры любых отверстий в непрозрачных экранах.

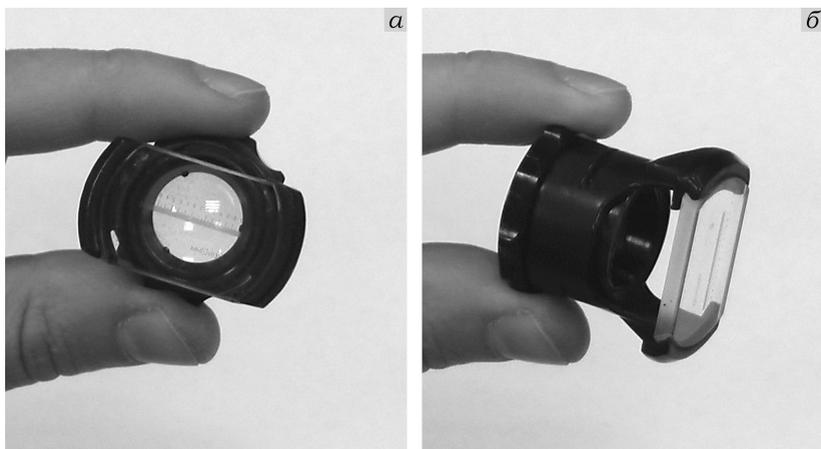


Рис. 9.10. Измерительная лупа: *а* — прибор снабжен шкалой с ценой деления 0,01 мм; *б* — вид измерительной лупы сбоку

9.2.9. Количество полос, получающихся в опыте Юнга. Проводя наблюдения, вы, конечно, заметили, что разные пары щелей дают различное число интерференционных полос. Выясним, какое именно.

Щели в опыте Юнга имеют одинаковую ширину, поэтому дают на бесконечно удаленном экране совершенно одинаковые дифракционные картины. К тому же эти картины полностью накладываются друг на друга, в чем нетрудно убедиться, мысленно переместив щель на рис. 9.3 вверх или вниз. Отсюда следует, что в опыте Юнга интерферируют одинаковые волны, дифрагированные на каждой щели, и наиболее яркая интерференционная картина получается в пределах центрального максимума дифракционной картины. Впрочем, это вы уже знаете из самых первых проделанных вами опытов.

В таком случае щели можно считать линейными источниками и для количественных расчетов можно использовать схему, представленную на рис. 9.3. Тогда из формулы (9.2) выраженное в синусах углов расстояние между соседними интерференционными максимумами составляет λ/d . Ширина центрального максимума дифракционной картины в тех же единицах измерения согласно формуле (9.3) равна $2\lambda/b$. Будем считать, что с первым дифракционным минимумом совпадает один из интерференционных минимумов. Тогда число интерференционных полос в опыте Юнга, как это видно по рис. 9.11, равно:

$$N = \frac{2\lambda/b}{\lambda/d} = \frac{2d}{b}, \quad (9.4)$$

где b — ширина щелей, d — расстояние между их центрами.

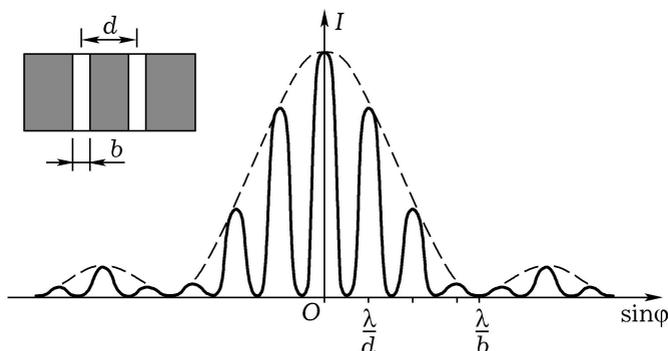


Рис. 9.11. К определению числа интерференционных полос в опыте Юнга

Задания и вопросы

1. *Экспериментальная проверка теории.* Приготовьте несколько двойных щелей с различными параметрами. Используя их, наблюдайте интерференционные картины и сосчитайте количество составляющих их светлых полос. Любым из доступных вам способов измерьте ширину b щелей и расстояние d между ними. По формуле (9.4) вычислите число максимумов интенсивности света и сопоставьте его с результатами эксперимента.

2. *Дифракционная решетка.* Возьмите школьную дифракционную решетку с периодом $d = 0,01$ мм и посмотрите сквозь нее на линейный источник красного света. По результатам наблюдений определите ширину щелей этой решетки.

9.2.10. Фотографирование интерференционных картин. Чтобы получить фотографии интерференционных картин в опыте Юнга, мы собрали модель глаза. Вместо роговицы и хрусталика в ней использовалась собирающая линза с фокусным расстоянием 40 см (очковое стекло оптической силой 2,5 дптр). Функцию сетчатки глаза выполняла ПЗС-матрица цифрового зеркального фотоаппарата без объектива. Две параллельные щели ($b = 0,2$ мм и $d = 0,9$ мм) были вырезаны в слое изолянта, наклеенной на чистое стекло. В качестве источника белого света использовалась щель, на которой сзади был сфокусирован свет от лампы накаливания. На рис. 9.12 приведена серия фотографий, полученных на описанной установке.

Первая фотография сделана, когда фотоаппарат без объектива находился на минимальном расстоянии от щелей. При увеличении этого расстояния световые пучки расширяются и все более накладываются друг на друга. Последняя фотография получена, когда ПЗС-матрица фотоаппарата находилась в фокальной плоскости

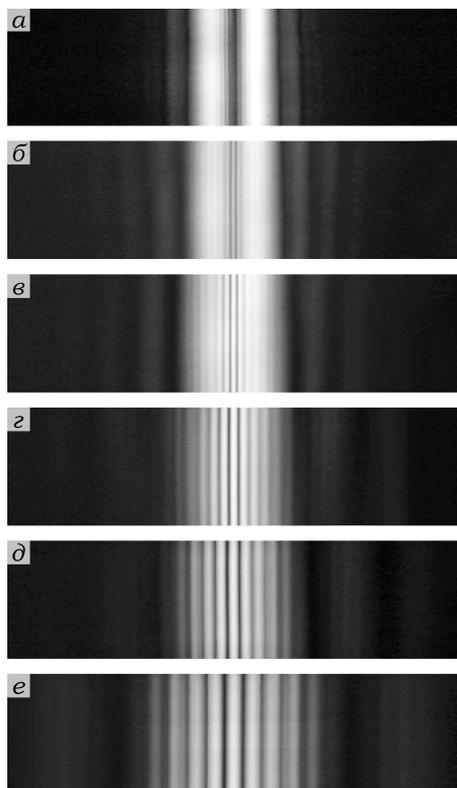


Рис. 9.12. Сфотографированные на цифровой фотоаппарат без объектива картины интерференции света на двух щелях шириной $b = 0,2$ мм при расстоянии между их центрами $d = 0,9$ мм: от a к e фотоаппарат удаляется от экрана со щелями

линзы (точнее, в плоскости изображения источника света). Судите сами, насколько результаты эксперимента соответствуют теории.

Задания и вопросы

1. *Схема установки.* Изобразите полную оптическую схему установки, предназначенной для фотографирования дифракционных картин Фраунгофера.

2. *Использование короткофокусного фотоаппарата.* Вычислите характерные размеры объектов дифракции, которые позволяют получить фотографии дифракционных картин с помощью фотоаппарата со штатным объективом.

3. *Использование Web-камеры.* Разработайте установку для демонстрации опыта Юнга непосредственно на уроках с помощью Web-камеры и мультимедийного проектора.

9.3. Эриометр Юнга и дифракция электронов

Школьники склонны особенный интерес проявлять к глобальным проблемам физической науки, в которых они ничего не понимают и, в силу отсутствия нужных знаний, в принципе ничего, кроме самых общих слов, не в состоянии понять. Поэтому очень важно показать учащимся, что история физики полна примерами, когда обыденные явления становились основой фундаментальных открытий. К таким явлениям относится дифракция света на множестве беспорядочно расположенных одинаковых объектов. Исследованное еще Т. Юнгом, это явление, спустя столетие, послужило толчком для открытия волновых свойств электрона. Дидактический ресурс предлагаемого проекта оформлен в виде предназначенной непосредственно учащимся статьи с небольшой серией исследовательских заданий для полностью самостоятельного выполнения.

Томас Юнг не только открыл интерференцию света, но и немедленно нашел практическое применение этому явлению, причем такое, которое спустя целый век навело на мысль об экспериментальном доказательстве волновых свойств электрона. Познакомьтесь подробнее с историей этих удивительных открытий.

9.3.1. Эриометр Юнга. Юнг отлично разбирался в обнаруженных им явлениях интерференции света, дифрагированного на двух одинаковых отверстиях. Поэтому, наблюдая дифракцию на множестве одинаковых беспорядочно расположенных объектов, он сразу сообразил, как это явление можно использовать на практике [4].

Основным сырьем современной ему текстильной промышленности являлась овечья шерсть. Но овцы разных пород дают шерсть, волокна которой имеют различную толщину и, следовательно, стоимость. Поместив плоский клубок спутанной шерсти перед глазом, который смотрит на точечный источник света, можно сразу решить две важные проблемы: во-первых, определить, однородны ли по толщине волокна исследуемого образца шерсти и, во-вторых, измерить средний диаметр волокон. Осознав это, Юнг изобрел прибор, который назвал *эриометром*, что дословно означает «измеритель шерсти» (от греческого *erion* — шерсть, *metreo* — меряю).

В те давние времена не было ни лампочек накаливания, ни светодиодов, ни цифровых фотоаппаратов. Поэтому эриометр Юнга представлял собой деревянную рейку с бегунком, на конце которой закреплен держатель для образцов шерсти. На бегунке находится непрозрачный экран с круглым отверстием и дырочками, расположенными по окружности с центром в этом отверстии. Направив получившийся прибор на протяженный источник света, можно на-

блюдают дифракционную картину, созданную испытуемым образцом шерсти и обозначенную светлыми дырочками окружность. Перемещающаяся бегунок по рейке, добиваются совпадения этой окружности с первым темным кольцом дифракционной картины. По контрасту этой картины судят об однородности шерсти, а по нанесенной на рейку шкале — о толщине ее волокон.

Юнг применил созданный им эриометр не только для исследования качества шерсти, но и для определения размеров спор грибов, цветочной пыльцы, красных кровяных телец различных животных.

9.3.2. Электрон и его свойства. Напомним, что электрон был открыт Дж. Дж. Томсоном в 1897 году [33]. Это была первая элементарная частица, у которой удалось измерить заряд и массу. В 1909 году Э. Резерфорд доказал, что атомы вещества состоят только из ядер и электронов. В 1913 году Н. Бор вычислил радиусы орбит, по которым может двигаться электрон в резерфордовской модели атома водорода. В 1924 году Л. де-Бройль, объясняя теорию Бора, пришел к парадоксальному заключению, что электрон должен обладать волновыми свойствами, причем соответствующая длина волны выражается формулой

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

где $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка, m — масса и v — скорость электрона [101].

9.3.3. Эриометр и дифракция электронов. В 1927 году Г. П. Томсон, сын Дж. Дж. Томсона, выполнил экспериментальное исследование, подтвердившее гипотезу де-Бройля. Вот как он сам пишет о своей работе.

«Мне пришло в голову, что можно получить электронный аналог оптического «эриометра» Томаса Юнга, в котором зерна или волокна, случайным образом ориентированные на пластинке стекла, при пропускании света через пластинку приводили к образованию гало, диаметры которых зависели от размера волокон. Было известно, что целлулоид состоит из длинных молекул,

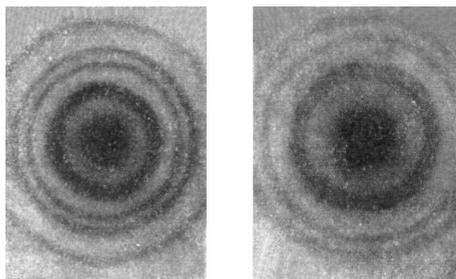


Рис. 9.13. Дифракционная картина, полученная Г. П. Томсоном при пропускании пучка электронов через кристалл (негативное изображение)

и из него легко можно было изготовить тонкие пленки. Случилось так, что у моего ученика в Абердине, А.Рида (погибшего в следующем году в автомобильной катастрофе), была аппаратура, которую можно было использовать для проведения такого опыта, и я попросил его осуществить эксперимент.

Он пропустил катодные лучи с энергией 30 кэВ через тонкую пленку целлулоида на фотопластинку. После проявления на фотопластинке появились расплывчатые кольца. Когда это было обнаружено, потребовалось много усилий, чтобы исключить возможность оптических иллюзий; я с недоверием относился к этим расплывчатым кольцам, хотя размер их соответствовал длине волны $\lambda = h/mv$, при разумных предположениях об эффективной толщине молекул целлулоида. Это немного задержало нас, но в конце концов не оставалось никаких сомнений, и мы опубликовали заметку в «*Nature*» в июне 1927 года.

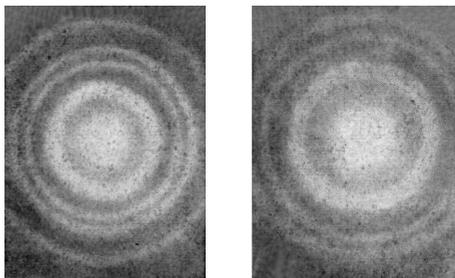


Рис. 9.14. Позитив, полученный из негатива, приведенного на рис. 9.13

Однако очень важно было получить дифракционную картину на тех веществах, кристаллическая структура которых была хорошо установлена. Благодаря мастерству К.Г.Фрейзера, я смог использовать пленки золота, алюминия и платины. Полученная на фотопластинке дифракционная картина (рис. 9.13) полностью соответствовала той, которую можно было ожидать на основе теории де-Бройля» [98].

Напомним, что после проявления фотопластинки на ней получается негативное изображение. Чтобы вам было удобнее сравнивать дифракцию электронов и дифракцию света, из приведенных на рис. 9.13 оригиналов фотографий сделаны позитивы (рис. 9.14).

9.3.4. Интерференция от нескольких одинаковых источников.

Известен учебный вариант опыта Юнга с двумя одинаковыми отверстиями в непрозрачном экране, находящемся перед зрачком глаза [157]. Выполнив этот опыт, вы можете убедиться в следующем.

Волна, испущенная точечным источником белого света, пройдя через два небольших отверстия, дает на сетчатке глаза интерференционную картину (рис. 9.15). Эта картина состоит из четного числа светлых полос одинаковой ширины, разделенных темными промежутками. Полосы ориентированы перпендикулярно отрезку, соединяющему центры отверстий. В центре картины находится белая полоса, все остальные полосы слегка окрашены, причем

внутренние их края имеют голубоватый оттенок, а внешние — красноватый.

Интересно, что получится, если в экране сделать точно такое же третье отверстие, расположенное на произвольном расстоянии от первых двух?

Для выяснения этого нужно в фольге рядом с первыми двумя в стороне от них проколоть еще одно такое же отверстие. Вы будете наблюдать картину из светлых пятен, в которой можно угадать три перекрещивающиеся системы интерференционных полос. Их появление вполне понятно: каждая пара отверстий дает свою интерференционную картину, полосы которой перпендикулярны отрезку, соединяющему центры отверстий. Волны, образуящие эти интерференционные картины, когерентны и, в свою очередь, интерферируют. Поэтому результирующая картина состоит из более или менее правильно расположенных пятен.

К трем первым добавьте четвертое, затем пятое и т. д. отверстия, стараясь сделать их такими же, как первые. Вы получите все более запутывающуюся интерференционную картину увеличивающейся яркости.

На рис. 9.16 приведена серия фотографий картин, которые образуются, если в непрозрачном экране сделаны одно, два, три, четыре, пять и десять одинаковых компактно, но беспорядочно расположенных отверстий. Из нее видно, что при большом количестве отверстий интерференционные полосы в центре результирующей картины почти полностью смазываются, и проявляется дифракционная картина от круглого отверстия. Размер ее (рис. 9.16 *е*) точно такой же, какой имеет дифракционная картина от одного отверстия (рис. 9.16 *а*), но яркость значительно больше.

Теоретически нетрудно понять, почему это так: дифракционные картины от всех отверстий одинаковы и полностью накладываются одна на другую, а интерференционные, имея всевозможные ориентации и разные периоды, смазывают друг друга.

Теперь попробуйте сделать в фольге беспорядочно расположенные круглые отверстия *разного диаметра*. Если их будет достаточно много — никакой дифракционной картины вы не увидите. Объясните результат этого опыта самостоятельно.

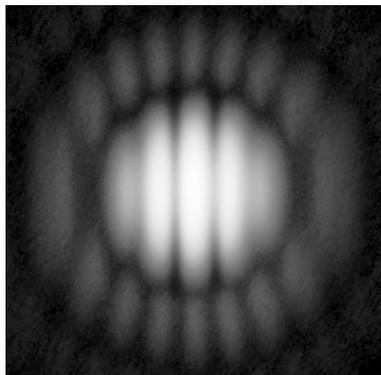


Рис. 9.15. Интерференционная картина от двух одинаковых отверстий

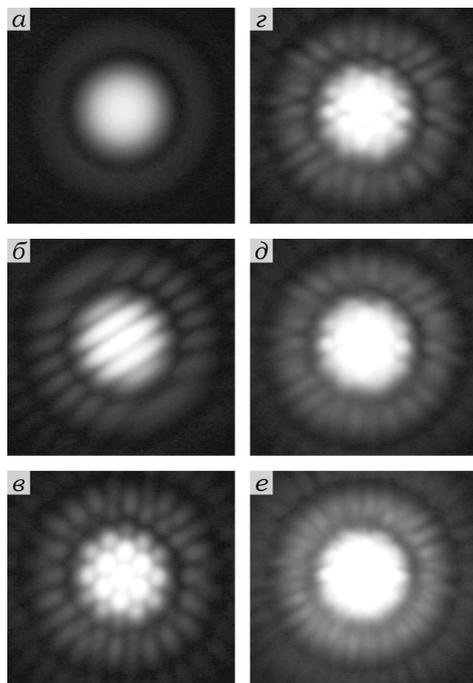


Рис. 9.16. Интерференционные картины от одинаковых беспорядочно расположенных круглых отверстий, которые сделаны в непрозрачном экране: *a* — одно отверстие; *б* — два отверстия; *в* — три отверстия, *г* — четыре отверстия; *д* — пять отверстий; *е* — десять отверстий

9.3.5. Дифракция света на круглом отверстии. Напомним, что дифракционные явления, наблюдающиеся на препятствиях, расположенных перед зрачком глаза, который аккомодирован на точечный источник света, относятся к *дифракции Фраунгофера* [7].

Если в качестве препятствия взят непрозрачный экран, в котором прорезана щель шириной b , то дифракционная картина представляет собой широкий яркий центральный максимум интенсивности, параллельный краям щели, симметрично которому расположены гораздо более слабые боковые максимумы (рис. 9.17). Положения *минимумов интенсивности* дифракционной картины определяются углами φ , для которых в щели укладывается четное число $2k$ зон Френеля:

$$b \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2}, \quad k = \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (9.5)$$

где b — ширина щели, λ — длина световой волны, падающей на щель, k — порядок дифракционного минимума картины.

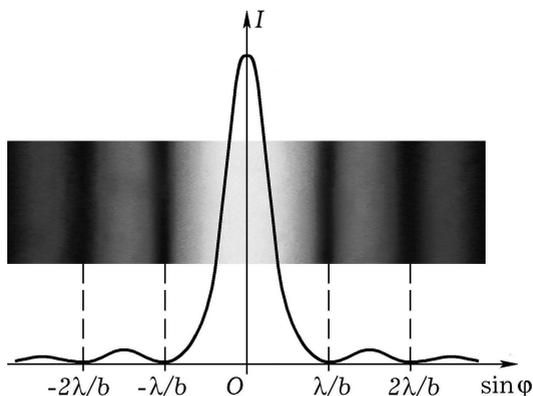


Рис. 9.17. Картина при дифракции света на щели: фотография и теоретический график

Круглое отверстие диаметром D вместо прямых дифракционных полос дает кольца. Вычисления, с которыми вы, возможно, встретитесь в будущем, показывают, что радиусы *темных колец* дифракционной картины выражаются формулой

$$D \sin \varphi = (k + 0,22)\lambda, \quad k = \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (9.6)$$

немного отличающейся от формулы (9.5). Это дает основание в элементарной теории делать вычисления для щелей, что нам доступно, а затем утверждать, что для круглых отверстий все получается примерно так же, только несколько больше [157].

9.3.6. Дифракция света на проволоке. Глядя на точечный источник света, поместите перед зрачком глаза проволоку диаметром примерно 0,1 мм. Перемещая проволоку так, чтобы ее тень на сетчатке пересекала яркое изображение источника света, вы будете наблюдать появляющуюся перпендикулярно проволоке относительно слабую дифракционную картину. Нетрудно понять, в чем тут дело, если изобразить схему опыта (рис. 9.18).

Проволока представляет собой узкий непрозрачный экран шириной b , оптическую систему глаза можно заменить собирающей линзой L , а сетчатку глаза — белым экраном, расположенным в фокальной плоскости F линзы. Точечный источник света S допустимо считать находящимся в бесконечности. От него к проволоке доходит плоская волна Σ_S , которая проходит дальше и собирается линзой в фокусе, давая яркое изображение источника S' .

Дифракционная картина от проволоки гораздо слабее изображения источника. Чтобы ее рассчитать, нужно, начиная от краев проволоки, разбить волновую поверхность Σ_S на полосы такой же ширины, как диаметр b проволоки. Минимумы интенсивности будут

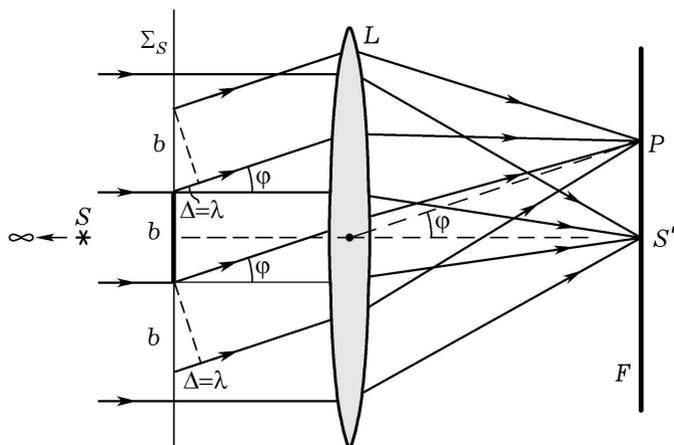


Рис. 9.18. К расчету дифракционной картины на проволоке

в тех точках белого экрана F , для которых в полосах волновой поверхности укладывается по четному числу зон Френеля:

$$b \sin \varphi = k\lambda, \quad k = \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (9.7)$$

Вы видите, что эта формула совпадает с формулой (9.5). Отсюда следует, что проволока дает такую же дифракционную картину, как щель, ширина которой равна диаметру проволоки.

Итак, мы приходим к заключению, что замена отверстия непрозрачным экраном таких же размеров не изменяет характера дифракционной картины Фраунгофера. Это утверждение составляет содержание *теоремы Бабиня*, которая строго доказывается в теории волновой оптики.

В справедливости теоремы Бабиня вы легко убедитесь на опыте, если соберете установку, подобную изображенной на рис. 9.19. На нем вы видите вертикально расположенную раздвижную щель на диске от школьного проекционного аппарата и полупроводниковый лазер, пучок которого проходит сквозь щель и попадает на белый экран. К диску перпендикулярно щели кусочками изолянта приклеен отрезок проволоки, диаметр которой равен ширине щели. На экране одновременно видны две взаимно перпендикулярные дифракционные картины разной яркости, размеры которых, тем не менее, одинаковы.

В правой нижней части рис. 9.19 приведена увеличенная фотография той картины, которая в описанном опыте получается на экране и служит экспериментальным подтверждением справедливости теоремы Бабиня. Ориентированное горизонтально дифракционное распределение интенсивности света дает щель, а вертикально — проволока.

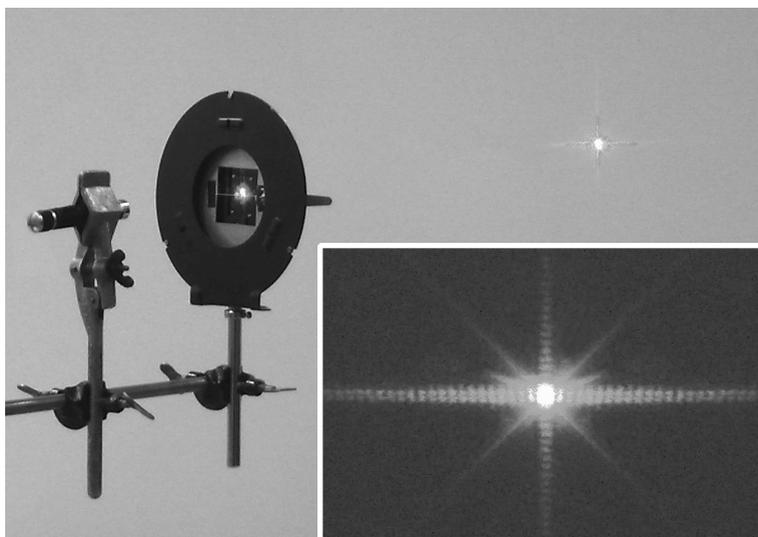


Рис. 9.19. Эксперимент по проверке теоремы Бабиня: дифракция происходит на щели (горизонтальная картина) и на проволоке (вертикальная картина); ширина щели равна диаметру проволоки

9.3.7. Непрозрачные шарики на стеклянной пластинке. Экспериментируя, вы убедились, как непросто сделать в фольге даже несколько одинаковых отверстий. Но теперь вы знаете, что результат не изменится, если при наблюдении дифракции Фраунгофера вместо отверстий использовать одинаковые шарики! Поэтому попробуем нанести на стеклянную пластинку слой непрозрачных шариков небольшого размера.

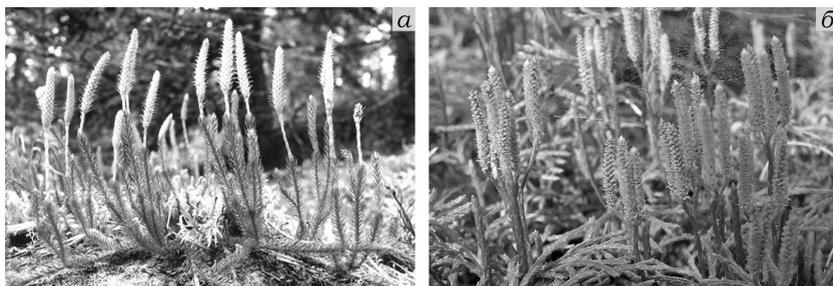


Рис. 9.20. Папоротник плаун сплюснутый: *а* и *б* — разновидности папоротника, отличающиеся формой листьев

Для опытов лучше всего подойдет *ликоподий* — легкий сыпучий порошок желтого цвета, который можно приобрести в аптеке. Ликоподий представляет собой споры папоротника, имеющие

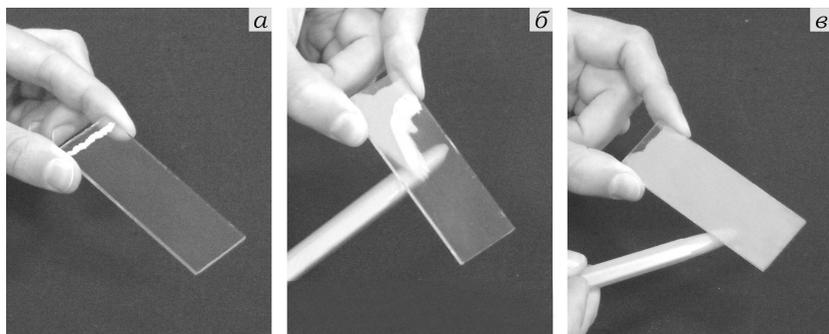


Рис. 9.21. Нанесение лишайника на стеклянную пластинку: *а* — узкий валик лишайника в верхней части расположенной под углом пластинки; *б* — постепенное распределение спор постукиванием по пластинке; *в* — пластинка, равномерно покрытая лишайником

форму «шариков» средним размером 0,030 мм. Бесплатно лишайников можно собрать в конце лета, найдя в сухом сосновом лесу заросли созревшего *плауна сплюснутого*¹⁾ (рис. 9.20). Возьмите чистую сухую стеклянную банку и потрясите над ее горлышком спороносными колосками папоротника — за полчаса вы наберете столько лишайника, что его хватит на долгие годы.

На чистую сухую пластинку из стекла или оргстекла капните каплю масла и чистой тряпочкой разотрите ее по поверхности так, чтобы не осталось видимых глазом следов. Лишайников насыпьте на эту поверхность вдоль одной из сторон пластинки тонким валиком (рис. 9.21). Держите пластинку наклонно над листом бумаги и, постукивая по пластинке снизу, добейтесь, чтобы валик лишайника переместился по всей поверхности и ссыпался на бумагу. В этом случае к маслу прилипнут шарики лишайника в один слой. Многослойное покрытие лишайником для опытов не годится. Вы можете надолго сохранить изготовленный препарат, если пластинку с лишайником покроете второй такой же пластинкой и окантуете их бумагой или скотчем.

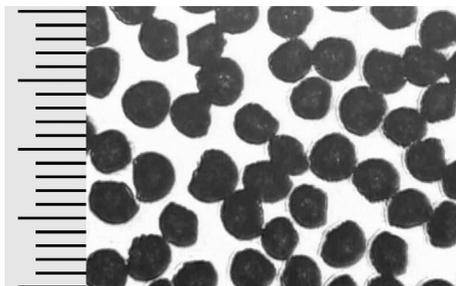


Рис. 9.22. Увеличенное изображение слоя лишайника, полученное с помощью компьютерного микропроектора [158]; слева показана шкала с ценой деления 0,01 мм

¹⁾ http://www.inf-red.ru/playn_splusnytiy.html.

Чтобы определить средний размер спор ликоподия, можно воспользоваться компьютерным микропроектором, описанным в статье о микроскопе Левенгука [158]. На рис. 9.22 вы видите полученное таким способом увеличенное изображение слоя ликоподия на стекле, а рядом с ним — изображение объективного микрометра, цена деления которого 0,01 мм.

9.3.8. Дифракция света на непрозрачных шариках. Включите лампочку карманного фонаря и расположите ее на расстоянии около метра от себя. Глядя на лампочку, перед зрачком глаза поместите стеклянную пластинку, покрытую слоем ликоподия. В полумраке вокруг лампочки вы увидите прекрасную дифракционную картину, состоящую из центрального белого пятна и семейства чередующихся дифракционных колец разного цвета!

Такую картину нельзя не сфотографировать. Для этого лампочку карманного фонаря укрепите посередине черного фона и рядом с ней закрепите шкалу с сантиметровыми делениями. Цифровой фотоаппарат расположите от лампочки на расстоянии не меньше метра. Измерьте расстояние l между объективом фотоаппарата и лампочкой (рис. 9.23).

Наведите фотоаппарат на резкость на лампочку, перед объективом рядом с ним расположите стеклянную пластинку с ликоподием и произведите фотографирование. Подберите оптимальные выдержку и диафрагму.

Полученное изображение (рис. 9.24) выведите на монитор компьютера и по изображению шкалы определите диаметр первого темного кольца. Найдя радиус a этого кольца, по формуле

$$\sin \varphi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + l^2}} \quad (9.8)$$

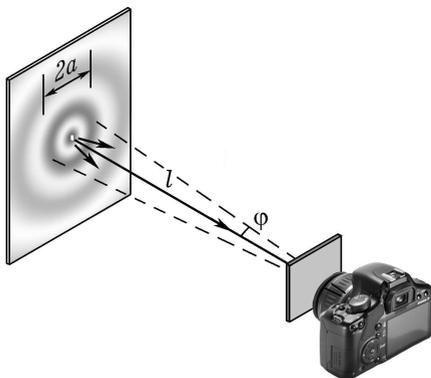


Рис. 9.23. Схема установки для фотографирования колец, получающихся при дифракции света на ликоподии

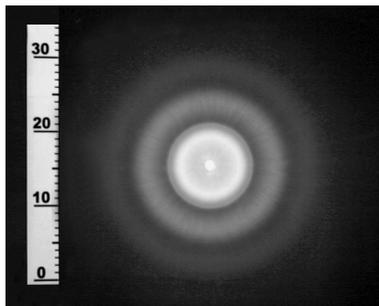


Рис. 9.24. Цветные кольца, образующиеся при дифракции света на ликоподии

рассчитайте синус угла, в направлении которого получается первый минимум интенсивности дифракционной картины. Пользуясь формулой (9.6), вычислите средний диаметр отдельной частицы ликоподия, взяв в качестве длины световой волны значение $\lambda = 0,70$ мкм (красный свет). Убедитесь, что у вас получилось значение, в пределах погрешности измерений совпадающее с найденным по оптическому изображению (рис. 9.22).

9.3.9. Для самостоятельных исследований.

1. *Изображение источника света.* Объясните, почему при наблюдениях через стеклянную пластинку, покрытую слоем ликоподия, в центре дифракционной картины видно достаточно хорошее изображение источника света (рис. 9.24), а при наблюдениях через небольшое отверстие ничего похожего нет (рис. 9.16 а).

2. *Споры гриба-дождевика.* Если наступить на созревший грибо-дождевик, то он, разрушаясь, выбрасывает коричневое облачко спор. Эти споры можно аккуратно собрать и исследовать даваемую ими дифракционную картину. Подскажем, что ее кольца будут существенно больше, чем кольца дифракционной картины, которую образует ликоподий.

3. *Красные кровяные тельца.* Чтобы определить размер красных кровяных телец, достаточно удачно прихлопнуть напившегося комара и нанести мазок на стекло. Это пока самый безопасный способ получения образца собственной крови. Но надо обладать достаточной выдержкой, хорошей реакцией и иметь под руками чистое стеклышко.

4. *Конструкция эриометра Юнга.* Пользуясь рис. 9.23 и приведенным в пункте 9.3.1 описанием, разработайте и изготовьте компактный эриометр Юнга, позволяющий производить измерения на свету. Отградуируйте прибор. Измерьте диаметры ворсинок различных сортов шерсти. Сделайте плоский клубок из тонкой медной проволоки, измерьте ее диаметр микрометром, определите диаметр проволоки дифракционным методом и сопоставьте полученные результаты.

5. *Дифракционная картина на экране.* Используя полупроводниковый лазер, получите дифракционную картину от слоя ликоподия на белом экране и исследуйте ее.

9.4. Формирование содержания ученического проекта

В заключительном параграфе монографии кратко рассмотрены основные этапы формирования содержания ученического проекта, связанного с учебным исследованием дифракции света на множестве одинаковых беспорядочно расположенных в плоскости круглых непрозрачных дисков. Как известно, получающа-

яся дифракционная картина по своим размерам тождественна картине при дифракции на одном круглом отверстии, диаметр которого равен диаметру диска, но значительно превышает ее по яркости. Это обстоятельство обеспечивает доступность теории явления учащимся старшей школы.

Для формирования содержания ученического проекта и разработки дидактического ресурса проектной деятельности учителю необходимо: 1) осознать проблему предстоящего учебного исследования; 2) ознакомиться с историческими фактами, относящимися к проблеме; 3) изучить физическую теорию исследуемого явления; 4) усвоить методы экспериментального исследования явления; 5) представить условия развития творческих способностей школьников; 6) разработать технологию выполнения учебно-исследовательского проекта.

9.4.1. Исторический аспект. В выпускном классе школьники знакомятся с основными идеями квантовой физики. Экспериментальное обоснование этих идей осуществляется, как правило, на умозрительном уровне. В частности, корпускулярно-волновой дуализм микрообъектов упоминается во всех учебниках. Однако экспериментальное обоснование его отсутствует, в лучшем случае вскользь говорится о классических опытах Девиссона и Джермера, Томсона и Тартаковского по дифракции электронов.

Приведенные в учебнике для углубленного изучения физики [7] схемы экспериментальных установок и картин дифракции электронов далеки от тех, которые усвоены школьниками при изучении волновых свойств света. Поэтому методически целесообразно выполнение таких экспериментов со световыми волнами, идея которых полностью соответствует экспериментам, обосновавшим волновые свойства электронов.

Изучение истории физики подсказывает путь для решения обозначенной проблемы. Один из создателей волновой оптики Т. Юнг, открывший явление интерференции света [158], применил свое открытие для решения практической задачи по количественному определению качества овечьей шерсти. Оказалось, что беспорядочно спутанные ворсинки шерсти дают дифракционную картину, внешний вид и размеры которой полностью определяются качеством испытуемого образца шерсти. Это позволило Юнгу создать специальный прибор — *эриометр*.

Спустя примерно сто лет после Юнга его соотечественник Дж. П. Томсон вспомнил об эриометре, решая проблему обнаружения в эксперименте волновых свойств электрона [159]. Заменив шерсть тонкой металлической фольгой, состоящей из беспорядочно ориентированных кристалликов, а свет — пучком электронов, он

получил дифракционную картину, полностью подобную той, которую впервые наблюдал Юнг. Более наглядного и убедительного подтверждения двойственной природы электронов не существует. Подчеркнем еще раз: идея двойственности природы микрообъектов лежит в основе всей квантовой физики.

9.4.2. Теоретический аспект. Для понимания принципа действия эриометра Юнга школьники должны владеть такими понятиями, как интерференция света, когерентность, оптическая разность хода, длина волны, волновая поверхность, дифракция света, принцип Гюйгенса–Френеля, зоны Френеля, дифракция Френеля, дифракция Фраунгофера. Кроме того, они должны знать условия максимумов и минимумов при интерференции и дифракции света [157].

Элементарная теория опыта Юнга изучается как на базовом, так и на профильном уровне. Школьники знакомятся с явлениями, относящимися к дифракции Френеля (на отверстии, проволоке, диске) и дифракции Фраунгофера (на отверстии и дифракционной решетке), хотя сами эти термины обычно не упоминаются. Метод зон Френеля рассматривается только в курсах физики повышенного уровня.

Поэтому учащимся профильной школы для усвоения элементарной теории эриометра не нужны новые знания: осваивая ее, они просто будут решать еще одну серию задач. Что касается базового уровня, то школьникам для изучения этой теории потребуются больше усилий. Однако качественное теоретическое объяснение соответствующих явлений и им вполне по силам.

Таким образом, изложенное показывает, что теоретический компонент дидактического ресурса проектной деятельности должен содержать доступное учащимся базового уровня изложение элементарной теории эриометра Юнга. Кроме того, он должен включать ссылки на источники информации, изучение которых позволит школьникам усвоить отсутствующие в учебниках знания.

9.4.3. Экспериментальный аспект. Чтобы учебный эксперимент, выполняемый школьниками, имел доказательную силу, необходима такая серия опытов, которая непосредственно связана с учебным вариантом опыта Юнга. Эти опыты должны быть максимально просты и доступны с тем, чтобы учащиеся без особых трудностей могли выполнить их не только в школьном физическом кабинете, но и у себя дома. Наибольшее эмоциональное воздействие окажут опыты с яркими и впечатляющими результатами. Подготовка и выполнение опытов должны развивать экспериментальные умения учащихся, к которым относятся равнозначимые умения работать головой и руками. Желательно, чтобы эксперимент приводил не

только к качественным, но и к количественным результатам. Особенно ценно, если он будет связан с современными научными и технологическими достижениями.

Таким образом, экспериментальный компонент дидактического ресурса проектной деятельности должен содержать описание серии опытов, последовательно раскрывающей физическую сущность дифракции света на множестве одинаковых беспорядочно расположенных объектов.

9.4.4. Креативный или творческий аспект. Принято считать, что школьник развивает свои креативные способности в процессе самостоятельного решения задачи, алгоритм которого ему неизвестен. При этом он получает результат, отличающийся субъективной новизной. Такая учебная деятельность является продуктивной. Выполнение лабораторной работы по инструкции обычно относят к репродуктивной деятельности школьника.

Однако экспериментальная деятельность учащегося, связанная с выполнением описанного в литературе опыта, ни в коей мере не может быть отнесена к репродуктивной. Действительно, школьник по свободному и часто неполному описанию должен осознать проблему, требующую экспериментального решения, выявить и затем создать условия эксперимента, пронаблюдать его результат, получить количественную характеристику результата, сопоставить его с тем, что получается в других опытах, дать теоретическое объяснение результата эксперимента, перестроить или дополнить с учетом новых данных свою систему знаний, относящихся к исследуемому явлению.

Следует также иметь в виду, что отсутствие точных и строгих описаний опытов может нанести значительный вред, так как неудачи при их постановке будут снижать веру учащихся в свои способности.

Таким образом, дидактический ресурс учебного исследовательского проекта должен содержать доступные изложения учебной теории и точные описания учебных опытов, а также теоретические и экспериментальные задания для полностью самостоятельного выполнения учащимися.

9.4.5. Технологический аспект. Педагогическая технология выполнения учебного проекта предполагает решение ряда проблем.

Во-первых, необходимо выявить группу учащихся, которым будет интересно или полезно выполнение предлагаемого проекта. В этой группе следует определить школьников, склонных к разным видам деятельности, например сбору и обработке информации, изучению теории, выполнению опытов, оформлению результатов рабо-

ты, презентации выполненного проекта. Далее каждому участнику проекта нужно поставить соответствующую задачу.

Во-вторых, следует организовать работу всех исполнителей. Для этого нужно определить продолжительность выполнения проекта и составить расписание общих встреч всех его участников. Исполнители должны самостоятельно решать стоящие перед ними задачи, на общих встречах обсуждаются полученные каждым результаты и корректируются планы.

В-третьих, с самого начала выполнения проекта требуется четко определить уровень учебного исследования, обозначить планируемый результат и форму его представления. Первый самый низкий уровень заключается в разработке школьниками доступных для повторения в их классе опытов по дифракции света на покрытой ликопидом стеклянной пластинке. Второй уровень предполагает изучение исторических сведений об исследованиях Юнга, теоретическое и экспериментальное обоснование принципа действия изобретенного им эриометра. Третий, наивысший уровень будет достигнут, если школьники полностью разберутся в теории, освоят современную фотографическую и компьютерную технику, выполнят количественные эксперименты. Участники проекта должны твердо знать, с какой целью ими проводится исследование и как его результаты будут использоваться на практике, в частности на уроках физики.

В качестве примера укажем, что предлагаемый ученический проект, посвященный учебному исследованию эриометра Юнга, может быть выполнен группой школьников в составе трех человек. Тогда один из них занимается в основном сбором информации и изучением истории классических опытов Юнга и Томсона, второй выполняет теоретическое обоснование проекта, третий занимается экспериментальной работой. На общих встречах они показывают, что сделали, и каждый из них осваивает то, что сделано другими. При этом теоретик вполне может заняться экспериментом, историк — теорией, а экспериментатор — историей. Подготовку материалов к компьютерной презентации и саму презентацию все делают вместе, каждый по тому разделу, который ему ближе. Оптимальная продолжительность этого ученического проекта, по нашим оценкам, в пределах от двух до четырех недель. Понятно, что тот же проект может выполнить и один учащийся, если ограничиться первым уровнем исследования или несколько снизить количество и сложность решаемых им задач.

Изложенные здесь соображения обеспечили разработку дидактического ресурса проектной деятельности школьников по экспериментальному исследованию дифракции света на множестве беспорядочно расположенных одинаковых объектов, который представлен в предыдущем параграфе монографии.

Заключение

Основная идея монографии состоит в том, что продуктивная проектная деятельность при изучении физики в массовой школе может быть реализована, если учащиеся под руководством и при участии учителя будут исследовать явления и объекты ноосферы с целью совершенствования известных и создания новых элементов учебной физики. Наиболее доступны и интересны учителю и ученику проекты, связанные с учебным физическим экспериментом. Выполнение таких проектов может привести к получению не только субъективно, но и объективно новых результатов. Эта потенциальная возможность представляет собой сильнейший стимул к работе, который дает значительный воспитательный эффект.

Научная значимость исследования, одним из результатов которого стала данная монография, состоит в том, что:

1) на основе изучения и анализа психологических, педагогических и дидактических исследований обоснована необходимость опоры на концепцию учебной физики при организации в школе проектной деятельности учащихся;

2) определены содержательные и процессуальные условия формирования образовательных ресурсов для проектной деятельности обучающихся в области учебной физики в массовой школе;

3) предложена модель деятельности учителя физики по организации проектной учебно-исследовательской деятельности школьников;

4) разработана система дидактических ресурсов, обеспечивающая эффективное руководство учителем исследовательскими проектами учащихся по всем разделам школьного курса физики.

Практическая значимость исследования заключается главным образом в том, что оно содержит проверенные на практике дидактические ресурсы проектной деятельности, которые могут быть эффективно использованы в отечественной общеобразовательной школе, так как предназначены непосредственно учащимся и учителю физики.

Таким образом, в монографии определены принципы конструирования содержания и представлена технология организации совместной деятельности учителя и ученика по выполнению учебно-исследовательских проектов по физике.

Список литературы

1. *Акатов Р. В., Иванов Ю. В., Майер В. В., Майер Р. В., Мамаева Е. С.* Курсовые работы по физике и дидактике физики // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Вып. 15. — М.: ИОСО РАО, 2002. — С. 3–8.
2. *Акатов Р. В., Иванов Ю. В., Майер В. В., Майер Р. В., Мамаева Е. С.* Выпускные квалификационные работы по учебной физике // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Вып. 15. — М.: ИОСО РАО, 2002. — С. 8–15.
3. Алексей Андреевич Ляпунов. 100 лет со дня рождения / ред.-сост.: Н. А. Ляпунова, А. М. Федотов, Я. И. Фет; отв. ред. Ю. И. Шокин. — Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011. — 587 с.
4. *Араго Ф.* Из истории физики. Томас Юнг // Успехи физических наук. — 1937. — Т. 18. — Вып. 2. — С. 252–278.
5. *Асламазов Л. Г., Варламов А. А.* Удивительная физика. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 160 с. — (Б-чка «Квант». Вып. 63.)
6. *Бирюков В. Я.* Качественная демонстрация энергии заряженного конденсатора // Современный физический практикум. Сборник трудов XII Международной учебно-методической конференции / под ред. Н. В. Калачева и М. Б. Шапочкина. — г. Москва, 25–27 сентября 2012 года. — М.: Издательский дом МФО, 2012.
7. *Бутиков Е. И., Кондратьев А. С.* Физика: учеб. пособие: в 3 кн. Кн 2. Электродинамика. Оптика. — М.: Физматлит, 2004. — 336 с. (С. 269–284).
8. *Бутырский Г. А., Сауров Ю. А.* Экспериментальные задачи по физике: 10–11 кл. общеобразоват. учреждений: кн. для учителя. — М.: Просвещение, 1998. — 102 с.
9. *Вараксина Е. И.* Совершенствование методики формирования основной компетенции будущих учителей физики // Фундаментальные исследования. — 2012. — № 11 (часть 6). — С. 1356–1359.
10. *Вараксина Е. И., Исакова М. Л.* Учебные исследования явлений гидродинамики: учеб. пособие / под ред. В. В. Майера. — Глазов: ГГПИ, ООО «Глазовская типография», 2012. — 88 с.
11. *Вараксина Е. И., Исакова М. Л.* Структура, содержание и методика организации учебных исследований школьников по гидродинамике // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 10 (часть 12). — С. 2768–2772.
12. *Вараксина Е. И., Майер В. В.* Натурный компьютерный эксперимент: учебно-исследовательские проекты: учеб. пособие. — Глазов: ГГПИ, 2013. — 48 с.
13. *Вараксина Е. И., Рудин А. С.* Формирование умений компьютерного исследования механических колебаний: учеб. пособие / под ред. В. В. Майера. — Глазов: ГГПИ, ООО «Глазовская типография», 2012. — 64 с.
14. *Вараксина Е. И.* Подготовка студентов к проведению доказательного педагогического эксперимента в средней школе // Учебная физика. — 2012. — № 3. — С. 32–49.
15. *Вараксина Е. И.* Развитие экспериментальных умений студентов при изучении источников высокого напряжения // Проблемы школьного и дошкольного образования: Материалы регионального науч.-практ. семинара «Достижения науки и практики — в деятельность образовательных учреждений». — Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2010. — С. 24–25.

16. *Вараксина Е. И.* Подготовка студентов к педагогическому эксперименту в школе // Проблемы школьного и дошкольного образования: Материалы регионального науч.-практ. семинара «Достижения науки и практики — в деятельность образовательных учреждений». — Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2011. — С. 119–121.
17. *Вараксина Е. И., Майер В. В.* Содержание учебно-исследовательской деятельности студентов педагогического вуза по освоению натурального компьютерного эксперимента // Информационно-коммуникационные технологии учителя физики и учителя технологии: сборник материалов шестой Всероссийской научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 1. / отв. ред. А. А. Богуславский. — Коломна: Московский государственный областной социально-гуманитарный институт, 2013. — С. 6–18.
18. *Вараксина Е. И.* Формирование экспериментальной подготовленности в учебно-исследовательской деятельности будущих учителей физики // Физика в школе и вузе: Международный сборник научных статей. — Вып. 14. — СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2012. — С. 23–27.
19. *Вараксина Е. И., Гуляев И. М.* Базовые умения натурального компьютерного эксперимента // Физика в школе и вузе: Международный сборник научных статей. — Вып. 14. — СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2012. — С. 20–23.
20. *Вараксина Е. И., Майер В. В.* Исследование процесса организации проектной деятельности школьников, связанной с выполнением натурального компьютерного эксперимента // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. — 2013. — № 5–2. — С. 33–38.
21. *Варламов С. Д., Зильберман А. Р., Зинковский В. И.* Экспериментальные задачи на уроках физики и физических олимпиадах. — М.: МЦНМО, 2009. — 184 с.
22. *Гальперин П. Я.* Введение в психологию. — М.: Издательство Московского университета, 1976. — 151 с.
23. *Гальперин П. Я.* Введение в психологию: учеб. пособие для вузов. — М.: «Книжный дом «Университет», 1999. — 332 с.
24. *Гладун А. Д.* Pro et contra (За и против). — М.: ООО «Азбука-2000», 2010. — 136 с.
25. *Гладун А. Д.* Педагогические раздумья физика. — М.: МФТИ, 2005. — 104 с.
26. *Грбавь М. И., Краснянская К. А.* Применение математической статистики в педагогических исследованиях: Непараметрические методы. — М.: Педагогика, 1977. — 136 с.
27. *Гребенев И. В.* Дидактика физики как основа конструирования учебного процесса: Монография. — Н. Новгород: Издательство Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского, 2005. — 247 с.
28. *Гребенев И. В., Лебедева О. В.* Физический эксперимент в учебном процессе: учеб. пособие / под ред. д.п.н. И. В. Гребенева. — Н. Новгород: Издательство НЦНО, 2009. — 81 с.
29. *Давыдов В. В.* Проблемы развивающего обучения: Опыт теоретического и экспериментального психологического исследования. — М.: Педагогика, 1986. — 240 с.
30. *Давыдов В. В.* Теория развивающего обучения. — М.: ИНТОР, 1996. — 544 с.
31. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. Т.1. Механика, теплота / под ред. А. А. Покровского. — М.: Просвещение, 1971. — 366 с.
32. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. Т.2. Электричество. Оптика. Физика атома: пособие для учителей / под ред. А. А. Покровского. — М.: Просвещение, 1972. — 448 с.
33. *Дуков В. М.* Электрон: История открытия и изучения свойств. — М.: Просвещение, 1966. — 236 с.

34. Жуковский Н. Е. Собрание сочинений. Т. 3. — М.; Л.: Гостехиздат, 1949. — 700 с.
35. Загвязинский В. И., Атаханов Р. Методология и методы психолого-педагогического исследования: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2001. — 208 с.
36. Закиров Р. П. Полосовой магнит как объект демонстрационного эксперимента // Физика в школе. — 2008. — № 7. — С. 32–35.
37. Иванов Ю. В. Модель поршневого насоса с воздушной камерой // Учебная физика. — 1997. — № 3. — С. 9–10.
38. Иванов Ю. В., Майер В. В. Педагогический эксперимент по диагностике исследовательских умений // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Вып. 10. — Глазов; СПб.: ГГПИ, 2000. — С. 16–22.
39. Калашников С. Г. Электричество: учеб. пособие. — М.: Физматлит, 2004. — 624 с. (С. 238–242).
40. Колесникова И. А., Горчакова–Сибирская М. П. Педагогическое проектирование: учеб. пособие для высш. учеб. заведений / под ред. И. А. Колесниковой. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 288 с.
41. Коханов К. А., Сауров Ю. А. Методология функционирования и развития школьного физического образования: монография. — Киров: Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2012. — 326 с.
42. Коханов К. А., Сауров Ю. А. Проблема задания и формирования современной культуры физического мышления: Монография. — Киров: Изд-во ЦДООШ; Типография «Старая Вятка», 2013. — 232 с.
43. Лабораторный практикум по теории и методике обучения физике в школе: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / С. Е. Каменецкий, С. В. Степанов, Е. Б. Петрова и др.; под ред. С. Е. Каменецкого и С. В. Степанова. — М.: Издательский центр «Академия», 2002. — 304 с.
44. Ланге В. Н. Экспериментальные физические задачи на смекалку: учеб. руководство. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. — 128 с.
45. Лекционные демонстрации по физике / под ред. В. И. Ивероновой. — М.: Наука, 1972. — 640 с.
46. Майер В. В. Простые опыты с ультразвуком. — М.: Наука, 1978. — 160 с.
47. Майер В. В. Простые опыты по криволинейному распространению света. — М.: Наука, 1984. — 128 с.
48. Майер В. В. Простые опыты со струями и звуком. — М.: Наука, 1985. — 128 с.
49. Майер В. В. Полное отражение света в простых опытах. — М.: Наука, 1986. — 128 с.
50. Майер В. В. Кумулятивный эффект в простых опытах. — М.: Наука, 1989. — 192 с.
51. Майер В. В. Полное внутреннее отражение света: учебные исследования. — М.: Физматлит, 2007. — 160 с.
52. Майер В. В. Свет в оптически неоднородной среде: учебные исследования. — М.: Физматлит, 2007. — 232 с.
53. Майер В. В., Майер Р. В. Электричество: учебные исследования. — М.: Физматлит, 2007. — 232 с.
54. Майер В. В. На занятии по технике безопасности // Физика-ПС. — 2007. — № 1. — С. 11.
55. Майер В. В. Пьезоэлектрический источник для опытов по электростатике // Физика в школе. — 1994. — № 6. — С. 43–44.

56. Майер В. В. Электризация давлением в школьном курсе физики // Учебная физика. — 2004. — № 1. — С. 12–21.
57. Майер В. В., Вараксина Е. И., Исакова М. Л. Презентация элективного курса «Основы механики жидкости» // Учебная физика. — 2011. — № 1. — С. 3–9.
58. Майер В. В., Назаров Н. В. Автоматический сифон // Квант. — 1976. — № 11. — С. 19–21.
59. Майер В. В., Вараксина Е. И. Экспериментальное исследование сифона // Учебная физика. — 2010. — № 6. — С. 3–8.
60. Майер В. В. Проектная деятельность учащихся по исследованию автоматических сифонов // Учебная физика. — 2010. — № 4. — С. 3–12.
61. Майер В. В., Вараксина Е. И., Исакова М. Л. Содержание и технология проектной деятельности по учебному исследованию гидравлических механизмов // Учебная физика. — 2012. — № 2. — С. 3–16.
62. Майер В. В., Вараксина Е. И., Исакова М. Л. Проектное исследование гидродинамического удара // Учебная физика. — 2012. — № 4. — С. 3–9.
63. Майер В. В., Вараксина Е. И., Исакова М. Л. Проектное исследование разрушений при гидродинамическом ударе // Учебная физика. — 2012. — № 5. — С. 3–10.
64. Майер В. В., Вараксина Е. И. Содержание и методика руководства проектным исследованием (на примере учебной модели анемометра) // Учебная физика. — 2012. — № 6. — С. 3–10.
65. Майер В. В., Вараксина Е. И. Внеурочное экспериментирование при изучении электростатики // Физика-ПС. — 2013. — № 12. — С. 24–28.
66. Майер В. В. Демонстрация постоянного магнита и электромагнита на уроке физики // Физика-ПС. — 2013. — № 7–8. — С. 52–55.
67. Майер В. В. Элементы учебной физики как основа организации научного познания в современной системе физического образования: дис. ... д-ра пед. наук. — Глазов, 2000. — 409 с.
68. Майер В. В., Кутявин А. Л. Полнота информации как определяющее условие успешности учебного исследования // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Вып. 14. — М.: ИОСО РАО, 2002. — С. 10–13.
69. Майер В. В., Кутявин А. Л. Информация для учебного исследования по совершенствованию физического прибора // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Вып. 14. — М.: ИОСО РАО, 2002. — С. 50–52.
70. Майер В. В., Кутявин А. Л. Использование интернет-технологий в организации учебно-исследовательской деятельности // Повышение эффективности подготовки учителей физики и информатики в современных условиях: Материалы международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 13–14 апреля 2002 г.: в 2 ч. Ч. 1. — Урал. гос. пед. ун-т. Екатеринбург. — 2002. — С. 49–50.
71. Майер В. В. Оптимизация информации для учебного исследования // Учебная физика. — 2003. — № 6. — С. 66–74.
72. Майер В. В., Вараксина Е. И. Звук и ультразвук в учебных исследованиях. — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. — 336 с.
73. Надеева О. Г. Многоцелевое использование учебного оборудования школьного кабинета физики: монография / Урал. гос. пед. ун-т. — Екатеринбург, 2011. — 153 с.
74. Новиков А. М., Новиков Д. А. Методология. — М.: СИНТЕГ, 2007. — 668 с.
75. Образцов П. И. Методы и методология психолого-педагогического исследования. — СПб.: Питер, 2004. — 268 с.
76. Орлов В. А. Проектно-исследовательская деятельность учащихся // Физика-ПС. — 2011. — № 15. — С. 4–7.

77. *Пентин А. Ю.* Учебные исследования и учебные проекты: сходства и различия // Национальный проект «Образование». — 2007. — № 1. — С. 44–48.
78. *Петров П. К.* Математико-статистическая обработка результатов педагогических исследований: учеб. пособие / УдГУ. — Ижевск, 2006. — 86 с.
79. *Петрова Е. Б.* Проектная деятельность учащихся в условиях современной школ // Физика в школе. — 2012. — № 4. — С. 60–62.
80. *Перышкин А. В.* Физика. 7 кл.: учебник для общеобразоват. учреждений. — М.: Дрофа, 2003. — 192 с.
81. *Полат Е. С., Бухаркина М. Ю., Моисеева М. В., Петров А. Е.* Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: учеб. пособие для студ. пед. вузов и системы повыш. квалиф. пед. кадров / под ред. Е. С. Полат. — М.: Издательский центр «Академия», 1999. — 224 с.
82. *Поль Р. В.* Механика, акустика и учение о теплоте. — М.: Наука, 1971. — 480 с. (С. 185–187).
83. *Попов С. Е.* Методическая система подготовки учителя в области вычислительной физики: монография. — Нижний Тагил: НТГСПА, 2005. — 227 с.
84. *Разумовский В. Г.* Творческие задачи по физике в средней школе. — М.: Просвещение, 1966. — 155 с.
85. *Разумовский В. Г.* Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике. Пособие для учителей. — М.: Просвещение, 1975. — 272 с.
86. *Разумовский В. Г.* Инновации в преподавании физики в школах за рубежом. — Новосибирск: РИЦ НГУ, 2005. — 185 с.
87. *Разумовский В. Г., Майер В. В.* Физика в школе. Научный метод познания и обучение. — М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2004. — 463 с.
88. *Разумовский В. Г., Майер В. В., Вараксина Е. И.* ФГОС и изучение физики в школе: о научной грамотности и развитии познавательной и творческой активности школьников: монография. — М.: СПб.: Нестор-История, 2014. — 208 с.
89. *Разумовский В. Г., Майер В. В.* Проблемы ФГОС и научной грамотности школьников или новый стандарт образования в действии: обучение и воспитание творчески мыслящей личности на уроках физики // Физика в школе. — 2012. — № 5. — С. 3–10.
90. *Романовская М. Б.* Метод проектов в контексте профильного обучения в старших классах: современные подходы: науч.-метод. пособие для преподавателей образовательной области «Технология». — М.: АПКИПРО, 2004. — 32 с.
91. *Сауров Ю. А.* Принцип цикличности в методике обучения физике: Историко-методологический анализ: Монография. — Киров: Изд-во КИПК и ПРО, 2008. — 224 с.
92. *Сергеев И. С.* Как организовать проектную деятельность учащихся: Практическое пособие для работников общеобразовательных учреждений. — М.: АРКТИ, 2003. — 80 с.
93. *Сибрук В.* Роберт Вуд. — М.: Наука, 1977. — 320 с.
94. *Скаткин М. Н.* Методология и методика педагогических исследований: (В помощь начинающему исследователю). — М.: Педагогика, 1986. — 152 с.
95. *Слободецкий И. Ш., Асламазов Л. Г.* Задачи по физике. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. — 176 с. — (Библиотечка «Квант». Вып. 5.)
96. *Талызина Н. Ф.* Педагогическая психология. — М.: Издательский центр «Академия», 1999. — 288 с.
97. *Тарчевский А. Е.* Учебный физический эксперимент // Физика-ПС. — 2014. — № 3. — С. 37–40.

98. Томсон Г. П. Семидесятилетний электрон // Успехи физических наук. — 1968. — Т. 94. — Вып. 2. — С. 361–370.
99. Техника безопасности и порядок работы в учебных лабораториях физического факультета: учеб. пособие / сост. В. В. Майер, Р. В. Майер; под ред. Ю. В. Иванова. — Глазов: ГГПИ, 2002. — 24 с.
100. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего (полного) общего образования. <http://standart.edu.ru/catalog.aspx?CatalogId=6408> (дата обращения: 22.07.2014).
101. Физика: учеб. пособие для 11 кл. шк. и классов с углубл. изуч. физики / А. Т. Глазунов, О. Ф. Кабардин, А. Н. Малинин и др.; под ред. А. А. Пинского. — М.: Просвещение, 1995. — 432 с. (С. 285–287).
102. Физика: учебник для 10 кл. шк. (кл.) с углубл. изуч. физики / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин, С. Я. Шамаш, Э. Е. Эвенчик. — М.: Просвещение, 1998. — 304 с. (С. 248–252).
103. Физика: учеб. пособие для 10 кл. шк. и классов с углубл. изуч. физики / Ю. И. Дик, О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов и др.; под ред. А. А. Пинского. — М.: Просвещение, 1993. — 416 с. (С. 288–292).
104. Хорошавин С. А. О некоторых тенденциях приборостроения для школ // Физика в школе. — 1990. — № 6. — С. 68–71.
105. Хорошавин С. А. Техника и технология демонстрационного эксперимента: пособие для учителей. — М.: Просвещение, 1978. — 176 с.
106. Хорошавин С. А. Физический эксперимент в средней школе: 6–7 кл. — М.: Просвещение, 1988. — 175 с.
107. Хорошавин С. А. Физико-техническое моделирование: учеб. пособие для учащихся по факультатив. курсу 8–10 кл. — М.: Просвещение, 1983. — 207 с.
108. Хорошавин С. А. Демонстрационный эксперимент по физике в школах и классах с углубленным изучением предмета: Механика. Молекулярная физика: кн. для учителя. — М.: Просвещение, 1994. — 368 с.
109. Чиганов А. С., Якушевич В. И. К проблеме формирования физико-технической компетентности студентов-физиков педагогических вузов и старших школьников // Физическое образование в вузах. — 2013. — Т. 19. — № 4. — С. 132–146.
110. Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе: в 2 ч. Ч. 1: пособие для учителя. — М.: Мнемозина, 2010. — 224 с.
111. Шахмаев Н. М., Павлов Н. И. Физический эксперимент в средней школе: в 2 ч. Ч. 2: пособие для учителя. — М.: Мнемозина, 2010. — 192 с.
112. Шахмаев Н. М., Шилов В. Ф. Физический эксперимент в средней школе: Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. — М.: Просвещение, 1989. — 255 с.
113. Элементарный учебник физики. Т. 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика / под ред. Г. С. Ландсберга. — М.: Наука, 1971. — 656 с. (С. 334–335).

Статьи авторов, опубликованные в журнале «Потенциал»

114. Магнитоотражающий излучатель ультразвука // Потенциал. — 2006. — № 8. — С. 55–60.
115. Ультразвуковой генератор низкой частоты // Потенциал. — 2006. — № 9. — С. 75–80.
116. Ультразвуковые колебания магнитоотражающего вибратора // Потенциал. — 2006. — № 10. — С. 73–80.
117. Палец в расплавленном свинце // Потенциал. — 2006. — № 11. — С. 75–80.
118. Оценка амплитуды ультразвуковых колебаний вибратора // Потенциал. — 2007. — № 3. — С. 75–80.

119. Изгибные волны в пластинках // Потенциал. — 2007. — № 4. — С. 73–78.
120. Изгибные волны и великий принцип Ферма // Потенциал. — 2007. — № 5. — С. 74–80.
121. Колебания падающей капли // Потенциал. — 2007. — № 11. — С. 74–80.
122. Интерференция света на растекающейся капле // Потенциал. — 2007. — № 12. — С. 70–76.
123. Мираж в неравномерно нагретой воде // Потенциал. — 2008. — № 1. — С. 71–77.
124. Как Георг Ом открыл закон Ома // Потенциал. — 2008. — № 2. — С. 73–80.
125. Закон Ома и термоэлектрический магнит // Потенциал. — 2008. — № 4. — С. 75–80.
126. Измерение показателя преломления воздуха // Потенциал. — 2008. — № 7. — С. 71–76.
127. Как электроны проходят сквозь стекло и вакуум // Потенциал. — 2008. — № 10. — С. 74–80.
128. Как ионы проходят сквозь стекло и вакуум // Потенциал. — 2008. — № 11. — С. 73–80.
129. Воздушные шары в школе и дома // Потенциал. — 2009. — № 9. — С. 73–80.
130. Ракетный двигатель и движение молекул // Потенциал. — 2009. — № 10. — С. 71–78.
131. Удивительные свойства насыщенного пара // Потенциал. — 2009. — № 11. — С. 72–79.
132. Необычные привычные маятники // Потенциал. — 2009. — № 12. — С. 53–60.
133. Закон Кулона в учебном эксперименте // Потенциал. — 2010. — № 1. — С. 68–74.
134. Исследуем потенциал электростатического поля // Потенциал. — 2010. — № 2. — С. 74–80.
135. Униполярные электродвигатели Фарадея и Барлоу // Потенциал. — 2010. — № 3. — С. 62–68.
136. Современные модели униполярных электродвигателей // Потенциал. — 2010. — № 4. — С. 73–78.
137. Униполярный электромотор и фундаментальные законы физики // Потенциал. — 2010. — № 5. — С. 67–73.
138. Персональный компьютер и акустический эффект Доплера // Потенциал. — 2010. — № 7. — С. 64–71.
139. Акустический эффект Доплера в учебной лаборатории // Потенциал. — 2010. — № 8. — С. 73–79.
140. Относительность электрического и магнитного полей // Потенциал. — 2010. — № 9. — С. 72–80.
141. Электронные стробоскопы для учебных опытов // Потенциал. — 2010. — № 11. — С. 68–76.
142. Стробоскопический метод в кинематике // Потенциал. — 2010. — № 12. — С. 65–71.
143. Индукция, самоиндукция и высокое напряжение // Потенциал. — 2011. — № 1. — С. 67–74.
144. Высоковольтные источники напряжения // Потенциал. — 2011. — № 2. — С. 65–73.
145. Опыты для урока физики по интерференции механических волн // Потенциал. — 2011. — № 3. — С. 73–80.
146. Левитация в поле электромагнита // Потенциал. — 2011. — № 4. — С. 69–76.

147. Датчик Холла и электромагнитный левитрон // Потенциал. — 2011. — № 5. — С. 69–77.
148. Экспериментальное исследование эффекта Холла // Потенциал. — 2011. — № 6. — С. 70–79.
149. Отражение света от прозрачного цилиндра // Потенциал. — 2011. — № 9. — С. 60–66.
150. Исследуем радугу в модельных экспериментах // Потенциал. — 2011. — № 10. — С. 66–74.
151. Экспериментальное исследование луча света // Потенциал. — 2011. — № 11. — С. 72–80.
152. Параметрические колебания маятника // Потенциал. — 2011. — № 12. — С. 67–74.
153. Простые опыты с электрофором // Потенциал. — 2012. — № 1. — С. 55–63.
154. Экспериментальное исследование электрофора // Потенциал. — 2012. — № 2. — С. 71–79.
155. Опыты с заряженной водой // Потенциал. — 2012. — № 3. — С. 72–80.
156. Гейзер и парореактивный движитель // Потенциал. — 2012. — № 5. — С. 63–72.
157. Микроскоп Левенгука и персональный компьютер // Потенциал. — 2012. — № 6. — С. 69–77.
158. Дифракция и интерференция света в знаменитых опытах Томаса Юнга // Потенциал. — 2012. — № 9. — С. 67–75.
159. Эриометр Юнга и дифракция электронов // Потенциал. — 2012. — № 10. — С. 69–77.
160. Экспериментальное исследование сифона жидкостного обыкновенного // Потенциал. — 2012. — № 11. — С. 54–63.
161. Как работает рабочее тело тепловой машины // Потенциал. — 2013. — № 2. — С. 60–69.
162. Волновые и корпускулярные свойства оптического излучения // Потенциал. — 2013. — № 4. — С. 68–76.
163. Деление заряженной капли // Потенциал. — 2013. — № 5. — С. 69–78.
164. Почему бы не сделать телескоп с увеличением в сто тысяч раз? // Потенциал. — 2013. — № 7. — С. 54–63.
165. Свободное падение: натуральный эксперимент и компьютерная модель // Потенциал. — 2014. — № 1. — С. 56–65.
166. Опыты со звуковыми волнами // Потенциал. — 2014. — № 3. — С. 67–76.
167. Интерференция звуковых волн и сканирующий индикатор звука // Потенциал. — 2014. — № 5. — С. 72–80.
168. Импульсный метод измерения скорости звука // Потенциал. — 2014. — № 11. — С. 65–74.

Научное издание

Майер Валерий Вильгельмович
Вараксина Екатерина Ивановна

**Образовательные ресурсы
проектной деятельности школьников
по физике**

Монография

Подписано в печать 28.09.2015.

Электронное издание для распространения через Интернет.

ООО «ФЛИНТА», 117342, г. Москва, ул. Бутлерова, д. 17-Б, комн. 324.

Тел./ факс: (495)334-82-65; тел. (495)336-03-11.

E-mail: flinta@mail.ru; WebSite: www.flinta.ru

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФЛИНТА»
ПРЕДСТАВЛЯЕТ СЕРИЮ
«МАТЕМАТИКА. ФИЗИКА. ИНФОРМАТИКА.
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»**

Батаев В.А и др. **Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей:** учеб. пособие

Беликов В.В., Кудрявцева В.В. **Математика для студентов медицинских училищ и колледжей:** учеб. пособие

Дикарева Р.П. **Введение в кристаллофизику. Избранные вопросы:** учеб. пособие

Ерохин В.В., Погоньшева Д.А., Степченко И.Г. **Безопасность информационных систем:** учеб. пособие

Игнатов А.Н., Фадеева Н.Е., Савиных В.Л. **Классическая электроника и наноэлектроника:** учеб. пособие

Игошев Б.М., Усольцев А.П. **История технических инноваций:** учеб. пособие для школьников

Клингер А.В. **Задачник по физике с элементами теории и примерами решения:** учеб. пособие

Маресин В.М. **Защищённая полиграфия:** справочник

Мельников Д.А. **Информационная безопасность открытых систем:** учебник

Протасов Ю.М. **Математический анализ:** учеб. пособие

Смолин Ю.Н. **Числовые системы:** учеб. пособие

Стефанов С. **Краткая энциклопедия печатных технологий**

Заказы направлять по адресу:

117342, Москва, ул. Бутлерова, д. 17-Б, офис 324

Издательство «ФЛИНТА»

Тел./факс: (495) 334-82-65, тел.: (495) 336-03-11

E-mail: flinta@mail.ru; WebSite: www.flinta.ru

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФЛИНТА»

существует на книжном рынке с 1996 г. Во «ФЛИНТЕ» ежегодно выходит более 200 книг. Издательство специализируется на выпуске литературы для вузов в основном гуманитарного профиля: учебники, учебные и методические пособия, хрестоматии, современные словари и справочники. Вся учебная литература подготовлена в соответствии с государственными образовательными стандартами. Среди авторов – ведущие ученые и преподаватели из Москвы, других городов России и зарубежья. Большинство учебников и учебных пособий проходят экспертизу и имеют грифы Министерства образования и науки РФ или соответствующих учебно-методических объединений.

ВЕДУЩИЕ ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ:

- РЕЧЬ, ЯЗЫК, ОБЩЕНИЕ
- РИТОРИКА
- РУССКАЯ ЛИТЕРАТУРА И ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ
- ЗАРУБЕЖНАЯ ЛИТЕРАТУРА
- РУССКИЙ ЯЗЫК КАК ИНОСТРАННЫЙ
- ИСТОРИЯ ЖУРНАЛИСТИКИ
- ЛАТИНСКИЙ И ДРЕВНЕГРЕЧЕСКИЙ ЯЗЫКИ
- ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК
- ПСИХОЛОГИЯ, ПЕДАГОГИКА
- ВАЛЕОЛОГИЯ, МЕДИЦИНА
- ПОЛИТОЛОГИЯ, СОЦИОЛОГИЯ, ФИЛОСОФИЯ, КУЛЬТУРОЛОГИЯ
- ЭКОНОМИКА, БИЗНЕС
- ЮРИДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА
- МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ИНФОРМАТИКА, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
- НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Предлагаем вузам и библиотекам

электронные версии книг для использования в собственных ЭБС

Приглашаем к сотрудничеству

библиотеки, книготорговые организации, авторов учебной литературы

Выполняем заказы

по изданию монографий, научных трудов и других печатных работ
на договорных началах

НАШИ КООРДИНАТЫ:

Тел./факс: (495) 334-82-65, тел.: (495) 336-03-11

E-mail: flinta@mail.ru, WebSite: www.flinta.ru