

*В. А. Михайлов*

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПОЛУЧЕНИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**



НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА  
СОЛДАТА И МАТРОСА

---

---

В. А. МИХАЙЛОВ

КАНДИДАТ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ,  
ИНЖЕНЕР-ПОДПОЛКОВНИК

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПОЛУЧЕНИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ



---

---

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР  
*Москва — 1955*

## ВВЕДЕНИЕ

Энергия играет большую роль во всей нашей жизни. Энергия нужна в быту и на производстве. Расходуя энергию, мы приводим в движение различные машины и механизмы.

Наиболее простой формой энергии является механическая энергия ветра и движущейся воды, которой люди научились пользоваться еще в глубокой древности. Энергия, скрытая в топливе и освобождаемая при его сжигании, называется химической; она получила широкое распространение в промышленности и на транспорте в XIX веке благодаря применению паровой машины. Химическая энергия топлива превращается в паровой машине в тепловую энергию нагретого пара, за счет которой приводятся в движение механизмы. Потребности развивающегося капиталистического общества привели во второй половине XIX столетия к овладению электрической энергией. Наш XX век, в котором мы живем, ознаменовался открытием атомной энергии.

Открытие атомной энергии и практических способов ее освобождения и использования — одно из величайших научных достижений нашего времени, в подготовке которого большую роль сыграла отечественная наука. Выдающаяся роль принадлежит Д. И. Менделееву, совершившему научный подвиг открытием периодического закона химических элементов, А. М. Бутлерову, создавшему теорию химического строения вещества, и П. Н. Лебедеву, измерившему в 1899 году давление света. Выдающиеся достижения принадлежат и ряду видных деятелей советской науки. Советские ученые, которыми справедливо гор-

дится советский народ, опираясь на мощную социалистическую индустрию, осуществили в послевоенное время несколько способов производства атомной энергии и поставили ее на службу строительства коммунизма и укрепления обороноспособности нашей Родины. Тем самым был нанесен серьезный удар поджигателям новой войны, пытавшимся использовать секрет производства атомной энергии и обладание атомным оружием как средство шантажа и запугивания других народов.

Агрессивные круги США еще недавно полагали, что у них имеется безусловная монополия на атомное оружие. Даже наиболее дальновидные из них в первые годы после второй мировой войны считали, что Советскому Союзу для производства атомного оружия потребуется, по крайней мере, 10—15 лет, а большинство считало, что потребуется гораздо больше времени. Но советские ученые, инженеры и техники и все те, кто имели к этому прямое отношение, добились в короткие сроки таких результатов, которые свидетельствуют об исключительных возможностях Советского государства. Дело дошло до того, что в производстве водородного оружия советские люди добились такого успеха, что в положении отсталых оказался не Советский Союз, а Соединенные Штаты Америки.

Осуществляя величественную программу строительства коммунизма, советский народ кровно заинтересован в сохранении и укреплении мира между всеми народами. Советское государство последовательно проводит политику мира и укрепления международного сотрудничества. Вместе с тем Советский Союз никогда не забывает о тех агрессивных империалистических силах за рубежом, которые бешено готовятся к войне против Советского Союза и стран народной демократии. В этих условиях наша Партия и Правительство всемерно укрепляют оборону нашего социалистического государства от агрессивных действий его врагов. Советские Вооруженные Силы имеют в своем распоряжении все виды современного вооружения и боевой техники, их боевая готовность находится на уровне современных требований.

Советский народ не боится угроз поджигателей новой войны. Если агрессивные круги, уповая на атомное оружие, решились бы на безумие и захотели испытать силу и мощь Советского Союза, — то можно не сомневаться, что агрессор будет подавлен тем же оружием. Всякая

авантюра с развязыванием новой мировой войны неизбежно окончится плохо для агрессора, потому что в наши дни уже сотни миллионов людей достигли такого уровня сознательности, что они так же, как все советские люди, будут, с полным убеждением в правоте своего дела, до конца бороться против такой преступной агрессии.

Погибнет не «мировая цивилизация», сколько бы она ни пострадала от новой агрессии, а погибнет та уже подгнившая общественная система с ее пропитанной кровью империалистической основой, которая отживает свой век, осуждаемая за свою агрессивность и отвергаемая за эксплуатацию трудящихся и угнетенных народов.

Советская наука, укрепляя обороноспособность своей Родины, видит главную свою задачу в разработке и усовершенствовании разных способов использования атомной энергии в мирных целях на благо народа. Такое использование атомной энергии безгранично расширяет власть человека над стихийными силами природы, открывает перед человечеством колоссальные возможности роста производительных сил, технического и культурного прогресса, увеличения общественного богатства. Использование атомной энергии позволит решить многие задачи, которые невозможно было решить с помощью пара и электричества.

В Советском Союзе успешно развивается работа по использованию атомной энергии в народном хозяйстве. Свидетельством этого является подлинно историческая победа, которую одержали советские ученые, инженеры и рабочие, обеспечив проектирование и строительство в СССР первой в мире промышленной электростанции на атомной энергии. Вводом в действие в июне 1954 года этой электростанции Советский Союз сделал первый реальный шаг в деле мирного использования атомной энергии. Тем самым колоссальные возможности, открытые перед человечеством атомной энергией, стали превращаться в условиях социалистического строя в действительность.

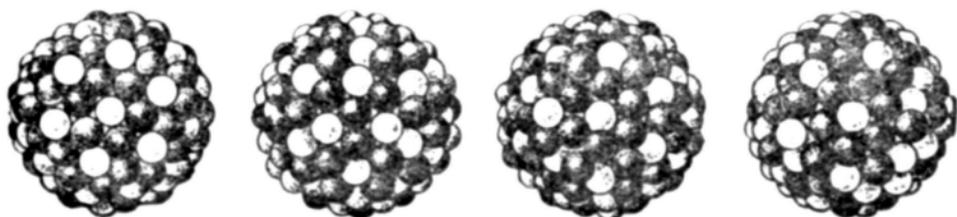
Запасы атомной энергии в окружающей нас природе практически безграничны. К тому же атомная энергия отличается необычайно большой концентрацией. Один килограмм урана при существующем уровне развития атомной энергетики может дать около 21 миллиарда килокалорий атомной энергии, что в три миллиона раз превышает количество химической энергии, освобождаемой при

сжигании килограмма хорошего каменного угля (7000 килокалорий).

Советская наука успешно работает над тем, чтобы увеличить число веществ, пригодных для получения атомной энергии, и усовершенствовать методы ее производства и использования. Огромные запасы атомной энергии тем скорее найдут широкое применение для мирных целей, чем совершеннее будут эти методы и чем шире будет круг веществ, практически пригодных для этого.

О том, что такое атомная энергия, каковы физические основы ее производства и использования, и рассказывается в этой книжке.

---



## 1. АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО

### 1. Что такое атом

**А**томная энергия сосредоточена (скрыта) в атомах вещества. Поэтому прежде чем ответить на вопрос, что такое атомная энергия, каковы физические основы ее производства, мы расскажем кратко об атомистическом строении вещества.

Все вещества окружающих нас предметов разделяются на простые и сложные. Такие вещества, которые невозможно химическими способами разложить на более простые, называются химическими элементами, то есть химически простыми веществами. Таковы, например, водород, гелий, кислород, которым мы дышим, алюминий, уран и т. д.

Большинство веществ природы относится к числу сложных: они состоят из большего или меньшего числа химических элементов. Таковы, например, вода, которую можно разложить на кислород и водород, сталь, состоящая из железа, углерода и других элементов, и многие другие вещества.

В настоящее время известно сто различных химических элементов. Около 90 из них существуют на Земле в природных условиях и десять элементов, отсутствующих в природе, получены в последние 10—15 лет искусственно из других элементов в лабораторных условиях.

Каждый химический элемент состоит из мельчайших частиц — атомов. Атомы представляют собой предел де-

лимости химического элемента, это—самые маленькие частицы, на которые распадаются элементы при химических превращениях. Поэтому атомы нельзя разложить химическими способами на более мелкие частицы. Атомы имеют вес (массу), размеры и обладают определенными химическими и физическими свойствами. Атомы можно расщепить на части лишь средствами физики, но доли атома уже не могут взаимодействовать химически.

Таким образом, атом — это наименьшая частица химического элемента, являющаяся материальным носителем присущих элементу химических и физических свойств.

Атомы сравнительно небольшого числа химических элементов, существующих в природе, соединяясь в различных комбинациях, образуют все бесконечное многообразие сложных веществ природы. Частица вещества, построенная из нескольких атомов, называется молекулой. Молекула, например, воды построена из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Один атом металла натрия, соединяясь с атомом газа хлора, образует молекулу поваренной соли, которую мы употребляем в пищу. Число атомов, входящих в состав молекул более сложных веществ, исчисляется иногда сотнями и тысячами.

Как можно заключить из вышесказанного, все вещества природы (как простые, так и сложные) состоят в конечном счете из атомов. Атомы — это как бы «кирпичики», из которых построены все окружающие нас тела и мы сами.

## 2. Размеры и вес атома

Атомы столь малы, что увидеть их в настоящее время даже с помощью самых сильных увеличительных приборов не представляется возможным. В среднем диаметр атома составляет примерно одну стомиллионную долю сантиметра:

$$\frac{1}{100\ 000\ 000} \text{ сантиметра.}$$

Ряд, построенный из ста миллионов атомов, расположенных вплотную один к другому, занял бы всего около 1 сантиметра.

Периоды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		0			
1	<b>H</b> <sup>1</sup> Водород 1,0080							(H)			<b>He</b> <sup>2</sup> Гелий 4,003		
2	<b>Li</b> <sup>3</sup> Литий 6,940	<b>Be</b> <sup>4</sup> Бериллий 9,013	<b>B</b> <sup>5</sup> Бор 10,82	<b>C</b> <sup>6</sup> Углерод 12,010	<b>N</b> <sup>7</sup> Азот 14,008	<b>O</b> <sup>8</sup> Кислород 16,0000	<b>F</b> <sup>9</sup> Фтор 19,00				<b>Ne</b> <sup>10</sup> Неон 20,183		
3	<b>Na</b> <sup>11</sup> Натрий 22,997	<b>Mg</b> <sup>12</sup> Магний 24,32	<b>Al</b> <sup>13</sup> Алюминий 26,98	<b>Si</b> <sup>14</sup> Кремний 28,09	<b>P</b> <sup>15</sup> Фосфор 30,975	<b>S</b> <sup>16</sup> Сера 32,066	<b>Cl</b> <sup>17</sup> Хлор 35,457				<b>Ar</b> <sup>18</sup> Аргон 39,944		
4	<b>K</b> <sup>19</sup> Калий 39,100	<b>Ca</b> <sup>20</sup> Кальций 40,08	<b>Sc</b> <sup>21</sup> Скандий 44,96	<b>Ti</b> <sup>22</sup> Титан 47,90	<b>V</b> <sup>23</sup> Ванадий 50,95	<b>Cr</b> <sup>24</sup> Хром 52,01	<b>Mn</b> <sup>25</sup> Марганец 54,93	<b>Fe</b> <sup>26</sup> Железо 55,85	<b>Co</b> <sup>27</sup> Кобальт 58,94	<b>Ni</b> <sup>28</sup> Никель 58,69			
	<b>Cu</b> <sup>29</sup> Медь 63,54	<b>Zn</b> <sup>30</sup> Цинк 65,38	<b>Ga</b> <sup>31</sup> Галлий 69,72	<b>Ge</b> <sup>32</sup> Германий 72,60	<b>As</b> <sup>33</sup> Мышьяк 74,91	<b>Se</b> <sup>34</sup> Селен 78,96	<b>Br</b> <sup>35</sup> Бром 79,916				<b>Kr</b> <sup>36</sup> Криптон 83,8		
5	<b>Rb</b> <sup>37</sup> Рубидий 85,48	<b>Sr</b> <sup>38</sup> Стронций 87,63	<b>Y</b> <sup>39</sup> Иттрий 88,92	<b>Zr</b> <sup>40</sup> Цирконий 91,22	<b>Nb</b> <sup>41</sup> Ниобий 92,91	<b>Mo</b> <sup>42</sup> Молибден 95,95	<b>Tc</b> <sup>43</sup> Технеций [99]	<b>Ru</b> <sup>44</sup> Рутений 101,7	<b>Rh</b> <sup>45</sup> Родий 102,91	<b>Pd</b> <sup>46</sup> Палладий 106,7			
	<b>Ag</b> <sup>47</sup> Серебро 107,880	<b>Cd</b> <sup>48</sup> Кадмий 112,41	<b>In</b> <sup>49</sup> Индий 114,76	<b>Sn</b> <sup>50</sup> Олово 118,70	<b>Sb</b> <sup>51</sup> Сурьма 121,76	<b>Te</b> <sup>52</sup> Теллур 127,61	<b>I</b> <sup>53</sup> Иод 126,91				<b>Xe</b> <sup>54</sup> Ксенон 131,3		
6	<b>Cs</b> <sup>55</sup> Цезий 132,91	<b>Ba</b> <sup>56</sup> Барий 137,36	<b>La*</b> <sup>57</sup> Лантан 138,92	<b>Hf</b> <sup>72</sup> Гафний 178,6	<b>Ta</b> <sup>73</sup> Тантал 180,88	<b>W</b> <sup>74</sup> Вольфрам 183,92	<b>Re</b> <sup>75</sup> Рений 186,31	<b>Os</b> <sup>76</sup> Осмий 190,2	<b>Ir</b> <sup>77</sup> Иридий 193,1	<b>Pt</b> <sup>78</sup> Платина 195,23			
	<b>Au</b> <sup>79</sup> Золото 197,2	<b>Hg</b> <sup>80</sup> Ртуть 200,61	<b>Tl</b> <sup>81</sup> Таллий 204,39	<b>Pb</b> <sup>82</sup> Свинец 207,21	<b>Bi</b> <sup>83</sup> Висмут 209,00	<b>Po</b> <sup>84</sup> Полоний 210	<b>At</b> <sup>85</sup> Астатин [210]				<b>Rn</b> <sup>86</sup> Радон 222		
7	<b>Fr</b> <sup>87</sup> Франций [223]	<b>Ra</b> <sup>88</sup> Радий 226,05	<b>Ac**</b> <sup>89</sup> Актиний 227	(Th)	(Pa)	(U)							
* ЛАНТАНИДЫ													
<b>Ce</b> <sup>58</sup> Церий 140,13	<b>Pr</b> <sup>59</sup> Прозермий 140,92	<b>Nd</b> <sup>60</sup> Неодим 144,27	<b>Pm</b> <sup>61</sup> Прометий [147]	<b>Sm</b> <sup>62</sup> Самарий 150,43	<b>Eu</b> <sup>63</sup> Европий 152,0	<b>Gd</b> <sup>64</sup> Гадолиний 156,9	<b>Tb</b> <sup>65</sup> Тербий 159,2	<b>Dy</b> <sup>66</sup> Диспрозий 162,45	<b>Ho</b> <sup>67</sup> Гольмий 164,94	<b>Er</b> <sup>68</sup> Эрбий 167,2	<b>Tm</b> <sup>69</sup> Тулий 169,4	<b>Yb</b> <sup>70</sup> Иттербий 173,04	<b>Lu</b> <sup>71</sup> Лютеций 174,99
** АКТИНИДЫ													
<b>Th</b> <sup>90</sup> Торий 232,12	<b>Pa</b> <sup>91</sup> Протактиний 231	<b>U</b> <sup>92</sup> Уран 238,07	<b>Np</b> <sup>93</sup> Нептуний [237]	<b>Pu</b> <sup>94</sup> Плутоний [239]	<b>Am</b> <sup>95</sup> Америций [243]	<b>Cm</b> <sup>96</sup> Кюрий [242]	<b>Bk</b> <sup>97</sup> Беркелий [243]	<b>Cf</b> <sup>98</sup> Калифорний [246]	<b>An</b> <sup>99</sup> Афиний [247]	<b>Ct</b> <sup>100</sup> Центурий [248]			

Вес отдельного атома также чрезвычайно мал. Это можно видеть из следующего примера. Количество атомов, содержащихся в одном грамме водорода, выражается числом, состоящим из цифры 6 с двадцатью тремя нулями:

600 000 000 000 000 000 000 000.

Если вес атома измерять в граммах, то получится очень малое число. Атом водорода, например, весит примерно

$$\frac{1}{600\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000} \text{ грамма.}$$

Поэтому вес атома выражают обычно не в граммах, а в относительных единицах атомного веса, в которых вес атома кислорода принимается равным 16 единиц.

Число, равное отношению веса данного атома к весу  $\frac{1}{16}$  части атома кислорода, называется атомным весом. Атомный вес водорода, самого легкого из всех химических элементов, составляет 1,008, что приблизительно равно единице. Отсюда следует, что приблизительно атомный вес можно определить как вес данного атома по отношению к весу атома водорода. Атомный вес гелия равен 4,003, что означает, что атом гелия приблизительно в 4 раза тяжелее атома водорода.

Атом урана — самый тяжелый из всех атомов, существующих в природе, — в 238 раз тяжелее атома водорода, его атомный вес 238.

### 3. Великий закон природы

Почти до конца прошлого столетия в науке господствовало убеждение, что атом представляет собой неизменную, абсолютно неделимую элементарную частицу вещества. Само слово «атом» буквально означает «неделимый».

В конце XIX и начале XX столетий благодаря относительно высокому уровню развития производства наука достигла значительного совершенства и смогла проникнуть внутрь атома. При этом выяснилось, что атом представляет собой сложное материальное образование, состоящее из нескольких более простых частиц, заключающее в себе

**огромные запасы энергии и способное к изменениям и превращениям.**

В обосновании нового учения об атоме и овладении заключенной в нем энергией выдающуюся роль сыграл открытый в 1869 году гениальным русским химиком Д. И. Менделеевым периодический закон химических элементов. Глубочайшая вера в объективность законов природы привела Менделеева, убежденного материалиста и диалектика, к открытию великого закона природы, которое Ф. Энгельс оценивал как научный подвиг.

Менделеев установил, что свойства химических элементов изменяются периодически и что между ними существует внутренняя закономерная связь. Основываясь на этом, Менделеев расположил химические элементы в ряд по их атомным весам, построив таким образом периодическую систему (таблицу) элементов, которая охватывает все существующие химические элементы (рис. 1).

В 1869 году было известно только 64 элемента. Из них лишь 35 были изучены настолько хорошо, что их можно было уверенно расположить в системе. У остальных известных элементов даже основные свойства еще не были изучены в достаточной мере.

Однако глубоко уверенный в правильности открытого им закона, Менделеев размещал элементы в периодической системе, изменяя неверные значения атомного веса ряда элементов и предсказывая новые их свойства. В некоторых случаях ученый оставил в таблице пустые клетки для не открытых, но, по его мнению, существующих в природе элементов.

«Каждый естественный закон, — писал Менделеев, — однако, тогда только приобретает особое научное значение, когда из него есть возможность извлекать практические, если можно так выразиться, следствия, то есть такие логические заключения, которые объясняют не объясненное еще, указывают на явления, до тех пор неизвестные, и, особенно, когда он дает возможность делать такие предсказания, которые возможно подтвердить опытом. Тогда очевидна становится польза закона и получается возможность испытать его справедливость».

Опираясь на открытый им закон, Д. И. Менделеев предсказал существование новых, неизвестных еще элементов и наперед описал физико-химические свойства некоторых из них.

Дальнейшее развитие науки блестяще подтвердило замечательные предвидения великого ученого. Несколько из указанных Менделеевым элементов были открыты еще при его жизни, и свойства их полностью совпали с его предсказаниями.

Новейшие исследования показали, что в принятом Менделеевым порядке размещения элементов нет ни одной ошибки. Все элементы, открытые после 1869 года, разместились на оставленных для них местах, подчиняясь тому же единому для всех элементов периодическому закону.

В настоящее время все клетки таблицы Менделеева заполнены. В ней 100 химических элементов, начиная с самого легкого водорода, который находится в первой клетке таблицы, и кончая центурием, занимающим 100-е место.

Каждый химический элемент имеет в периодической таблице Менделеева строго определенное место с определенным порядковым номером, называемым числом Менделеева, или атомным номером. Водород, открывающий таблицу, имеет номер 1, гелий — 2, уран — 92 и т. д. С возрастанием атомного номера свойства элементов периодически изменяются. Зная место элемента в периодической таблице, можно указать его основные свойства.

Атомный номер и атомный вес — это основные величины, которыми характеризуются атомы каждого элемента.

С помощью периодической системы Менделеева ученые конца XIX столетия научились управлять превращениями химически сложных веществ. Руководствуясь ею, ученые XX века научились управлять превращениями химических элементов и открыли атомную энергию. Периодическая система служит путеводной нитью при изучении атомов и их строения.

#### 4. Строение атома

По современным представлениям, в формировании которых большую роль сыграли работы английского физика Резерфорда, атом состоит из тяжелого положительно заряженного ядра, обладающего очень малыми размерами, и легких электронов, движущихся вокруг ядра в обширной области, получившей название электронной оболочки (рис. 2).

Диаметр ядра в несколько десятков тысяч раз меньше диаметра атома. Если представить себе атом увеличенным до размеров высотного здания Московского университета на Ленинских горах, то ядро представится тогда в виде вишни средней величины.

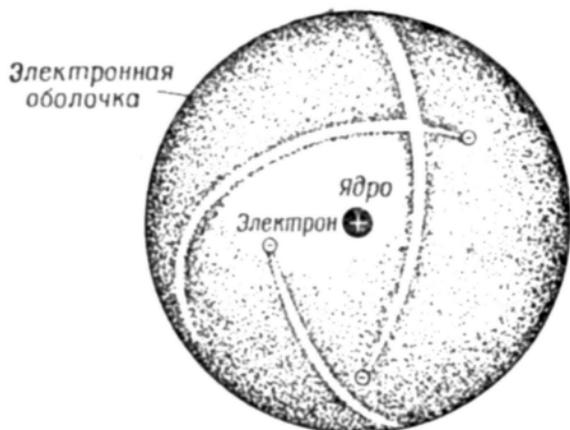


Рис. 2. Строение атома.

Электрон — мельчайшая частица вещества, обладающая зарядом отрицательного электричества. Вес (масса) электрона очень мал; он примерно в 1840 раз меньше веса легчайшего из всех атомов — атома водорода. Электрический заряд, меньший чем у электрона, никогда

не наблюдался. Поэтому в атомной физике принято все заряды измерять в зарядах электрона.

Число электронов в электронной оболочке атома равно числу положительных зарядов в его ядре. Благодаря одинаковому числу положительных и отрицательных зарядов атом в целом нейтрален, то есть электрически не заряжен.

Положительный заряд ядер атомов различных химических элементов не одинаков: заряд ядра, а следовательно, и число обращающихся вокруг него электронов равны порядковому номеру элемента в периодической системе Менделеева. Так, например, атом водорода состоит из ядра, имеющего один заряд положительного электричества и движущегося вокруг него одного электрона. Соответственно этому водород стоит на первом месте в периодической системе. Атом гелия состоит из ядра, имеющего двойной положительный заряд, и движущихся вокруг него двух электронов. Гелий стоит в периодической системе на втором месте. В атоме кислорода имеется 8 положительных зарядов в ядре и 8 электронов в оболочке. Соответственно этому кислород занимает в системе Менделеева восьмое место.

Открытие того, что порядковый номер (положение) элемента в периодической системе, от которого зависят

химические свойства элемента, равен как раз числу положительных зарядов в ядре данного атома, вскрыло глубокий смысл системы Менделеева. Нельзя не удивляться гениальной прозорливости великого русского химика, сумевшего за сорок лет до открытия самого существования атомных ядер правильно определить место каждого элемента в открытой им периодической системе.

Строя свою систему, Менделеев располагал элементы в порядке возрастания их атомных весов, так как атомный вес был в то время главным отличительным признаком разных элементов. Но учитывая все другие свойства аргона, калия, кобальта, никеля, иода и теллура, Менделеев разместил эти элементы с нарушением постепенного возрастания их атомных весов. Так, например, элемент теллур (атомный вес 127,6) Менделеев поставил на 52-е место, а иод (атомный вес 126,9) — на 53-е, хотя их следовало бы расположить в обратном порядке, если руководствоваться атомным весом. Многочисленные измерения электрического заряда ядер атомов аргона, калия, кобальта, никеля, иода, теллура и всех других элементов показали, что число «элементарных» зарядов в ядрах атомов элементов точно совпадает с тем порядковым номером, который им дал Менделеев в своей периодической системе.

Таким образом, место элементов в периодической системе объективно обусловлено положительным зарядом их атомных ядер. Тем самым было установлено, что число «элементарных» зарядов в ядре (число Менделеева) является самой главной и существенной характеристикой атома, полностью определяющей его химические свойства.

Между положительно заряженным ядром атома и его электронами, как и между всякими разноименно заряженными телами, действуют силы электрического притяжения, удерживающие электроны в обширной электронной оболочке атома. Электроны обращаются в атоме на разных расстояниях от ядра несколькими слоями. В каждом слое может помещаться лишь вполне определенное количество электронов. Первый слой, непосредственно окружающий ядро, вмещает лишь 2 электрона, второй — до 8, третий — до 18 и т. д.

Первоначально ученые считали, что электроны в атоме вращаются вокруг ядра совершенно так же, как планеты, в том числе и наша Земля, обращаются вокруг Солнца. Атом рассматривали как солнечную систему в миниатюре.

Однако развитие науки показало, что наряду с некоторым сходством между атомом и солнечной системой существует громадное качественное различие, движение электронов в атоме значительно сложнее, и поэтому, строго говоря, уподоблять атом солнечной системе нельзя.

Наиболее удаленный от ядра внешний слой электронов удерживается ядром с наименьшей силой. Поэтому атомы могут терять один или несколько электронов именно из внешнего слоя. Чем дальше от ядра находятся внешние электроны, способные отрываться от атома, тем легче объединяются они с электронами других атомов при химических взаимодействиях. Химическая активность элементов, их способность участвовать в различных химических процессах определяется именно внешними электронами.

Если из нейтрального атома удалить (выбить) один из его электронов, то лишенный электрона атом окажется положительно заряженным. Такой заряженный атом называется положительным ионом. Электрон, выбитый из атома и существующий либо свободно, либо присоединившись к какому-либо атому, образует отрицательный ион. Процесс удаления электрона из атома, в результате которого образуется пара ионов, называется ионизацией.

Простейшим примером иона является ионизированный атом водорода, называемый протоном. Так как в нейтральном атоме водорода имеется всего один электрон, то нетрудно понять, что протон, получающийся при удалении этого единственного электрона, представляет собой попросту ядро атома водорода.

Дважды ионизированный атом гелия, называемый альфа-частицей, есть не что иное, как ядро атома гелия.

Чтобы ионизировать атом, необходимо произвести работу по преодолению сил электрического притяжения, удерживающих электрон вблизи ядра, и, следовательно, затратить некоторую энергию. Для атомов различных элементов требуются различные затраты энергии. В атмосферном воздухе, состоящем главным образом из азота и кислорода, необходимая для образования одной пары ионов энергия составляет в среднем 32,5 электрон-вольта.

**Электрон-вольт (эв)** — единица энергии, принятая в атомной физике. Электрон-вольт — такое количество энергии, которое приобретает электрон, пробежавший в ускоряющем электрическом поле путь с напряжением (разностью потенциалов) в 1 вольт.

Часто употребляется более крупная единица — мегаэлектрон-вольт (Мэв), равный миллиону электрон-вольт:

$$1 \text{ Мэв} = 1000000 \text{ эв.}$$

Можно показать, что мегаэлектрон-вольт равен шестидцати десятиллионным долям общефизической единицы энергии эрга:

$$1 \text{ Мэв} = \frac{16}{10000000} \text{ эрга.}$$

что кратко можно записать следующим образом:

$$1 \text{ Мэв} = 16 \cdot 10^{-7} \text{ эрга} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ эрга.}$$

## II. РАДИОАКТИВНОСТЬ

### 1. Что такое радиоактивность

**В** 1896 году французский ученый Беккерель обнаружил, что соли урана испускают невидимые лучи, которые сильно ионизируют воздух, действуют на фотопластинку, проникают через бумагу, картон и даже металл и вызывают некоторые другие явления.

В 1898 году французские ученые Пьер Кюри и Мария Кюри-Склодовская открыли два новых химических элемента, у которых излучение, аналогичное излучению урана, было значительно более сильным. За это одному из вновь открытых элементов было дано наименование «радий», что означает «лучистый»; другой элемент был назван «полонием» в честь Польши — родины Марии Кюри-Склодовской.

Свойство некоторых веществ самопроизвольно испускать подобно радию невидимые лучи получило название радиоактивности. В последующем было обнаружено, что радиоактивностью, помимо урана, радия и полония, обладают также торий, актиний, радон и ряд других элементов, расположенных преимущественно в конце периодической системы Менделеева.

Химические элементы, обладающие радиоактивностью, называются радиоактивными элементами. В природе встречается около полутора десятков естественно радиоактивных элементов.

Радиоактивность, свойственная веществам, встречающимся в природе, называется естественной. Исследование

естественной радиоактивности было делом всей жизни Пьера Кюри и Марии Кюри-Склодовской.

В 1934 году была открыта искусственная радиоактивность, то есть радиоактивность, вызываемая по желанию человека внешней причиной. Открытие и исследование искусственной радиоактивности принадлежит французским ученым — выдающемуся борцу за мир коммунисту Фредерику Жолио-Кюри и его жене Ирен Жолио-Кюри. Это открытие — одно из крупнейших событий в истории естествознания; оно привело (в значительной степени благодаря новым фундаментальным работам и идеям Ф. Жолио-Кюри и его учеников) к разработке методов использования атомной энергии и оказало чрезвычайно большое влияние на развитие всей науки и техники.

## 2. Свойства радиоактивных излучений

Что же представляют собой лучи радиоактивных веществ? Чтобы ответить на этот вопрос, ученые исследовали поведение этих лучей в магнитном поле между полюсами сильного магнита. Оказалось, что узкий пучок

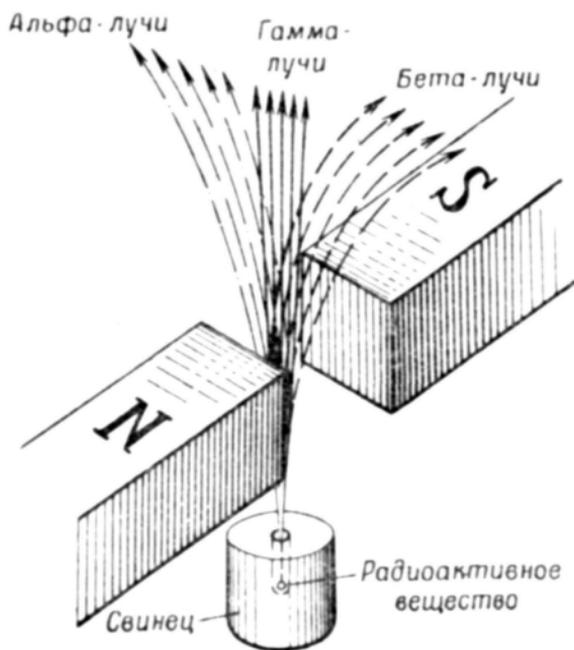


Рис. 3. Схема опыта по разделению радиоактивных лучей в магнитном поле

радиоактивных лучей разделяется в магнитном поле на три пучка (рис. 3). Лучи, отклонявшиеся в ту же сторону, в которую отклоняются движущиеся в магнитном поле положительно заряженные частицы, назвали альфа-лучами. Лучи, отклонявшиеся в противоположную сторону, назвали бета-лучами. Наконец, лучи, которые не испытывали отклонения в магнитном поле и распространялись прямолинейно, назвали гамма-лучами.

Было установлено, что альфа-лучи состоят из потока быстро движущихся положительно заряженных частиц, названных альфа-частицами и оказавшихся при дальнейшем исследовании ядрами атомов гелия. Альфа-частицы вылетают из радиоактивных веществ во всех направлениях с большими скоростями, достигающими 20—25 тысяч километров в секунду. Двигаясь с такой скоростью, можно совершить кругосветное путешествие вокруг Земли всего за 2 секунды. Кинетическая энергия, которой обладают альфа-частицы в силу такого быстрого движения, оказывается значительной. Если бы можно было собрать всего один грамм таких частиц и все их одновременно направить на какую-либо мишень, то она получила бы удар, равный удару, по крайней мере, 100 000 артиллерийских снарядов шестидюймового калибра.

Важнейшим свойством альфа-частиц является их большая ионизирующая способность, обусловленная главным образом наличием у них двойного положительного заряда. Двигаясь в веществе, альфа-частица срывает у атомов, мимо которых пролетает, один или несколько электронов и образует ионы. В воздухе, например, на каждом сантиметре своего пробега альфа-частица ионизирует до 30 000 атомов и образует, следовательно, такое же количество пар ионов.

Растрачивая энергию на ионизацию атомов, альфа-частицы способны пробегать сравнительно небольшой путь. Пробег альфа-частиц в воздухе имеет величину от 1 до 16 сантиметров.

Пробег альфа-частицы зависит от ее скорости. Чем больше скорость, тем больше энергия частицы и тем, следовательно, длиннее будет пробег. В подтверждение сказанного ниже приводятся величины пробега альфа-частиц в воздухе при температуре 15° Ц и нормальном давлении для разных скоростей (соответственно разных энергий).

Пробег альфа-частиц в воздухе

Скорость	Пробег
10 000 км/сек . . . . .	1,04 см
15 000 . . . . .	3,17 .
20 000 . . . . .	7,82 .
25 000 . . . . .	16,44 .

На величину пробега альфа-частиц влияет также и плотность среды, в которой они движутся. В твердых веществах, например, в металлах, бумаге, ткани, стекле и т. п., в которых атомы расположены значительно ближе друг к другу, чем в воздухе, пробег альфа-частиц во много раз короче и составляет несколько тысячных долей сантиметра. Поэтому для полного поглощения всех альфа-частиц с энергией не более 5 Мэв требуется листовая алюминий толщиной всего 0,002 сантиметра. Ткань нашей одежды полностью поглощает альфа-частицы любых скоростей.

Вторая часть радиоактивного излучения — бета-лучи — представляет собой поток сверхбыстрых электронов, вылетающих из атомных ядер со скоростями, близкими к скорости света, равной для пустоты 300 000 километров в секунду. Ионизирующее действие бета-частиц (сверхбыстрых электронов) слабее, чем у альфа-частиц, примерно в сто раз. Поэтому пробег у них значительно длиннее, как это видно из таблицы, в которой приведен пробег бета-частиц в воздухе при 15°C и нормальном давлении, воде и свинце для разных скоростей соответственно разным энергиям.

**Пробег бета-частиц**  
(в сантиметрах)

Скорость бета-частиц	п р о б е г		
	воздух	вода	свинец
260 000 км/сек . . . . .	160	0,19	0,037
298 000 „ . . . . .	2000	2,6	0,3

Как видим, наиболее быстрые бета-частицы пробегают в воздухе до 2 000 сантиметров, то есть до 20 метров, в воде до 2,6 сантиметра, в свинце до 0,3 сантиметра. Таким образом, проникающая способность у бета-лучей гораздо больше, чем у альфа-лучей.

Третья часть радиоактивного излучения — гамма-лучи — представляет собой электромагнитное излучение с очень короткой волной, распространяющееся со скоростью света. По своей природе гамма-лучи сходны с рентгеновскими лучами. Гамма-лучи обладают наибольшей из всех видов радиоактивного излучения проникающей способностью. На рис. 4 приведена примерная картина ослабления гам-

ма-лучей различными материалами. Для ослабления гамма-лучей (средней энергии) в десять раз нужно поместить на их пути слой свинца толщиной 5 сантиметров, либо слой бетона толщиной 20—30 сантиметров, либо слой земли толщиной 50—60 сантиметров. В воздухе подобное ослабление гамма-лучи получают, пройдя несколько сот метров.

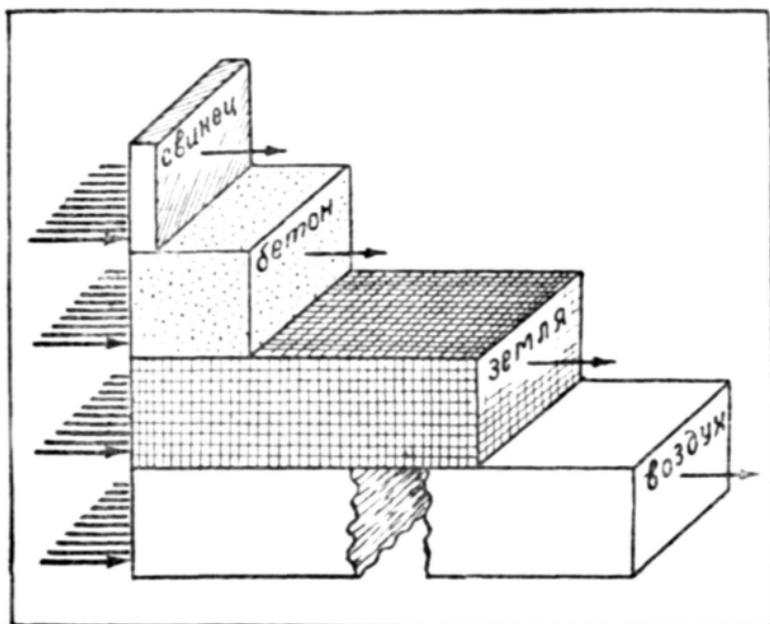


Рис. 4. Ослабление гамма-лучей различными материалами в 10 раз.

Распространение гамма-лучей сопровождается ионизацией воздуха, правда, в тысячу раз менее интенсивной, чем при прохождении альфа-лучей.

Гамма-лучи распространяются из радиоактивного вещества во всех направлениях, вследствие чего их интенсивность сильно уменьшается с расстоянием: при увеличении расстояния в два раза интенсивность уменьшится в 4 раза, при увеличении расстояния в 5 раз — в 25 раз.

### 3. Природа радиоактивности

Чем объясняется радиоактивность? Каково происхождение радиоактивных лучей?

В результате многолетних исследований было установлено, что радиоактивность — ядерный процесс, что испускание радиоактивных лучей является следствием слож-

ных превращений, испытываемых ядрами атомов радиоактивных веществ. Оказалось, что ядра урана, радия, полония и других радиоактивных элементов недостаточно прочны и поэтому сами без всякого внешнего воздействия последовательно превращаются в более простые и устойчивые ядра атомов других элементов. Подобные самопроизвольные превращения ядер атомов одних элементов в ядра атомов других элементов называются **радиоактивным распадом**. В куске урана, например, сложные и недостаточно устойчивые ядра его атомов постепенно (то одно, то другое) самопроизвольно превращаются в несколько более прочные ядра **тория**, выбрасывая при этом альфа-частицу.

Подобным же образом ядра радия, испуская альфа-частицу, самопроизвольно превращаются в ядра атомов тяжелого инертного газа — **радона**.

Радиоактивный распад с испусканием альфа-частиц называют **альфа-распадом**, а сами вещества, распадающиеся таким путем, — **альфа-активными**. Уран, радий, полоний являются альфа-активными веществами.

Распад других радиоактивных веществ сопровождается испусканием бета-частиц и называется **бета-распадом**. Так, например, ядро актиния самопроизвольно превращается в ядро тория, выбрасывая бета-частицу. Вещества, распадающиеся с испусканием бета-частицы, называются **бета-активными**.

Искусственные радиоактивные вещества обладают обычно бета-активностью, но среди них встречаются такие вещества, ядра которых при своем распаде испускают «антиэлектроны», то есть положительно заряженные электроны, называемые **позитронами**. Соответственно этому различают **электронный бета-распад**, свойственный многим бета-активным атомам, и **позитронный бета-распад**, встречающийся у искусственно-радиоактивных атомов.

Существуют и такие вещества, которые обладают одновременно и альфа- и бета-активностью.

Что касается гамма-лучей, то испускание их представляет собой процесс, обычно сопровождающий альфа- и бета-распад атомных ядер.

Атомные ядра, получающиеся при распаде большинства радиоактивных веществ, оказываются в свою очередь радиоактивными и распадаются дальше. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не образуется, нако-

нец, устойчивое ядро нерадиоактивного элемента. Цепочки радиоактивных превращений оказались весьма длинными и сложными, но все же удалось в них разобраться. Установлено, что почти все естественные радиоактивные эле-

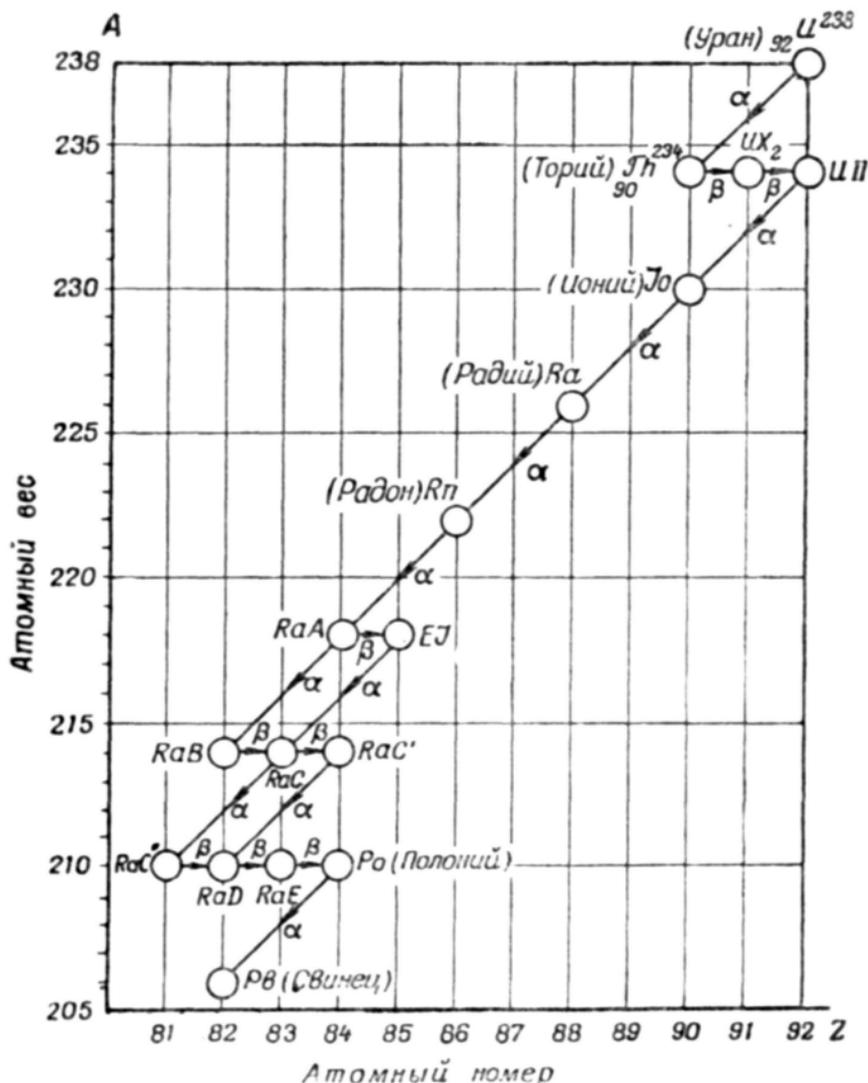


Рис. 5. Семейство урана — радия.

менты образуют всего четыре радиоактивные цепочки, или семейства. У каждого из этих семейств один родоначальник; остальные же элементы — продукты его последовательного радиоактивного распада, связанные между собой по происхождению. Эти семейства следующие:

1. Семейство урана — радия, родоначальником которого является уран с атомным весом 238 (уран 238), одним из главных представителей — радий и конечным продуктом нерадиоактивный свинец с атомным весом 206 (свинец 206). Семейство урана — радия схематически представлено на рис. 5, где по горизонтальной оси отложен порядковый номер элемента в системе Менделеева (атомный номер), а по вертикальной оси — атомный вес.

2. Семейство тория; его родоначальник — торий 232, конечный стабильный продукт — свинец 208.

3. Семейство урана — актиния; его родоначальник — одна из разновидностей урана (уран 235), один из представителей — актиний и конечный стабильный продукт — свинец 207.

4. Семейство нептуния, открытое в 1947 году; его родоначальник — плутоний 241, конечный стабильный продукт — висмут 209.

#### 4. Основной закон радиоактивного распада

Прежде всего следует указать, что атомы радиоактивных элементов распадаются не одновременно все сразу, а как бы по очереди: один, потом другой, третий и т. д. Но рано или поздно все радиоактивные атомы распадаются, превращаясь в более устойчивые атомы.

Процесс этот происходит с определенной для каждого вещества скоростью, которую невозможно ни увеличить, ни уменьшить. У каждого радиоактивного вещества распадается в единицу времени вполне определенная часть (доля) общего числа его атомов.

Число атомов, распадающихся в единицу времени, зависит, разумеется, от начального количества атомов, то есть от начальной массы радиоактивного вещества. Чем меньше взято вещества, тем меньше в нем атомов и тем меньше будет число распадающихся атомов. Так, например, в грамме радия распадается в течение секунды  $37 \cdot 10^9$  (37 миллиардов) атомов. Если же взять  $\frac{1}{2}$  грамма, то число распадающихся за то же время атомов уменьшится вдвое. Но доля распадающихся атомов не изменится и будет для данного радиоактивного вещества постоянной величиной, за что ее и называют постоянной распада  $\lambda$ .

Постоянную распада для радия мы найдем, если  $37 \cdot 10^9$  разделим на число атомов, содержащихся в грамме радия, приблизительно равное  $27 \cdot 10^{20}$ :

$$\lambda = \frac{37 \cdot 10^9}{27 \cdot 10^{20}} = \frac{137}{10\ 000\ 000\ 000\ 000}.$$

Эта малая дробь показывает, что в секунду из каждых 10 триллионов атомов радия распадается всего 137 атомов.

Постоянная распада зависит от устойчивости атомных ядер и у различных радиоактивных веществ имеет свои разные значения. Чем больше постоянная распада, тем быстрее уменьшается первоначальное количество атомов. Время, в течение которого распадается половина атомов данного радиоактивного вещества, называется **периодом полураспада**  $T$ . Этой величиной и характеризуется на практике скорость радиоактивного распада.

Радиоактивные вещества обладают различными периодами полураспада: от малых долей секунды до многих миллиардов лет.

Период полураспада урана 238 составляет 4,5 миллиарда лет, радия — около 1590 лет, кобальта 60—5,3 года, радона — менее четырех дней. Если взять, например, 1 грамм радия, то через 1590 лет его останется полграмма, а вторые полграмма распадутся, превращаясь в конечном счете в ядра атомов свинца 206. Еще через 1590 лет радия останется четверть грамма и т. д.

Поскольку количество радиоактивного вещества за один период полураспада уменьшается до половины, постольку очевидно, что по истечении, например, 5 периодов количество вещества уменьшится до  $\frac{1}{2^5} = 0,03$ , что составит 3% начального количества.

Соответственно уменьшению количества радиоактивного вещества происходит уменьшение его активности, то есть числа атомов, распадающихся в нем в единицу времени. Вследствие этого происходит ослабление потока радиоактивных лучей, испускаемых веществом. Один грамм радия испускает в секунду 37 миллиардов альфа-частиц, так как за это время в нем совершается 37 миллиардов распадов, а с уменьшением количества радия уменьшается и число альфа-частиц. После 5 периодов актив-

ность становится равной 3% первоначальной. По истечении 10 периодов активность снижается до  $\frac{1}{2^{10}} = 0,001$ , что составляет 0,1% первоначальной величины. Следовательно, по истечении достаточно большого числа периодов полураспада можно считать, что распад фактически закончился.

Уменьшение количества радиоактивного вещества, или его активности, с течением времени можно изобразить графически с помощью кривой, приведенной на рис. 6. Здесь

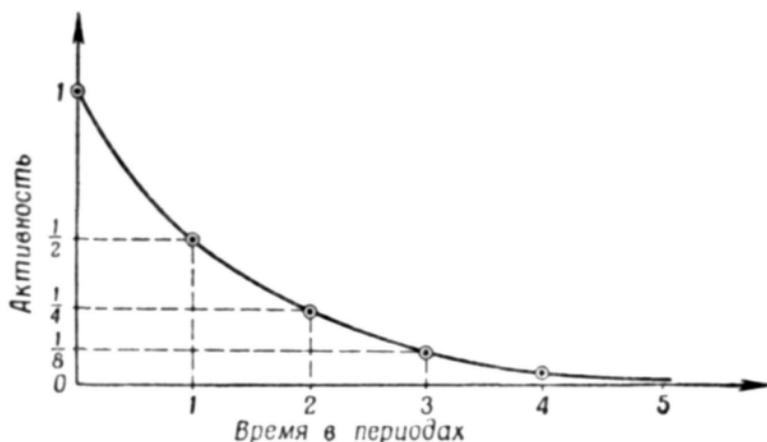


Рис. 6. Уменьшение активности радиоактивного вещества с течением времени.

для простоты начальная активность принята за единицу, а время отложено по горизонтальной оси в периодах полураспада.

Обычно при измерении активности пользуются единицей кюри, установленной по чистому радю.

Активность данного количества радиоактивного вещества равна 1 кюри, если в нем, как и в 1 грамме радия, происходит  $37 \cdot 10^9$  распадов в 1 секунду.

В атомной физике указывается, что период полураспада  $T$  и доля распадающихся в 1 секунду атомов, то есть постоянная распада  $\lambda$ , связаны между собой простым соотношением:

$$\lambda = \frac{0,693}{T}.$$

Чем меньше период полураспада  $T$ , тем больше доля распадающихся в единицу времени атомов  $\lambda$  и тем боль-

шей. следовательно, активностью обладает данное вещество. Например, для бета-активного изотопа сурьмы 131, образующейся наряду с другими элементами при атомном взрыве, период полураспада  $T = 21,3$  минуты = 1278 секунд. Поэтому радиоактивная постоянная будет равна:

$$\lambda = \frac{0,693}{T} = \frac{0,693}{1278} = \frac{542}{1\,000\,000} = 542 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{сек.}}$$

Это число показывает, что у сурьмы 131 в секунду распадается 542 атома из каждого миллиона. Абсолютное количество атомов, распадающихся в течение секунды в каждом грамме, определится как произведение радиоактивной постоянной  $\lambda$  на число атомов в грамме сурьмы, равное  $N_0 = 4,6 \cdot 10^{21}$  атомов:

$$\lambda N_0 = 542 \cdot 10^{-6} \cdot 4,6 \cdot 10^{21} = 2,5 \cdot 10^{18} \text{ атомов}$$

в секунду на каждый грамм. Таким же числом выражается количество бета-частиц, испускаемых в секунду одним граммом сурьмы.

Сравнивая это число с числом альфа-частиц, испускаемых таким же количеством радия, найдем:

$$\frac{2,5 \cdot 10^{18}}{37 \cdot 10^9} = 67 \cdot 10^6.$$

Таким образом, за одно и то же время при одинаковой первоначальной массе в сурьме распадается атомов в 67 миллионов раз больше, чем у радия. Соответственно этому активность 1 грамма сурьмы 131 составит 67 миллионов кюри, то есть будет такой же, как и у 67 тонн радия.

Из естественно радиоактивных веществ наиболее активным элементом является полоний, активность которого составляет около 4,4 тысячи кюри.

• •  
•

При радиоактивном распаде из атомных ядер выделяется энергия. Поэтому температура радиоактивных веществ всегда несколько выше температуры окружающего воздуха. Опыт показывает, что один грамм радия в течение часа выделяет около 140 калорий тепла. Это, конечно, немного. Таким количеством тепла можно нагреть 100 граммов воды всего лишь на 1,4 градуса. Однако сле-

дует иметь в виду, что теплота выделяется радием с исключительным постоянством в течение тысяч лет. Поэтому общее количество энергии, которое освободится за время распада, оказывается большим.

Один грамм радия при полном распаде (превращении в радон) выделяет около 490 тысяч килокалорий энергии, что примерно равно тому количеству энергии, которое получается при сжигании 70 килограммов хорошего каменного угля. Обнаружение того, что радиоактивные вещества непрерывно выделяют энергию, впервые показало, что внутри атомных ядер заключены огромные запасы энергии. Поэтому открытие и изучение радиоактивности справедливо считают первым шагом на пути овладения атомной энергией.

## 5. Измерение радиоактивных излучений

Радиоактивные излучения обладают биологическим действием. Вызываемая ими ионизация в живых тканях оказывает вредное влияние на живой организм и может привести к заболеванию. Биологическое действие радиоактивных излучений качественно одинаково с действием рентгеновских лучей. Однако в количественном отношении действие различных видов излучения различно. При одинаковом количестве энергии, поглощенной живой тканью, биологическая эффективность альфа-частиц в 10—20 раз больше, чем у бета-частиц и гамма-лучей, обладающих примерно одинаковой эффективностью воздействия на живой организм.

Но поскольку альфа-лучи сильно поглощаются в самых тонких слоях вещества и поэтому обладают совершенно незначительной проникающей способностью, постольку при внешнем облучении человека биологическое воздействие определяется практически бета- и гамма-лучами.

Действие излучения на живой организм зависит прежде всего от общего количества или дозы поглощенного излучения. Единицей дозы излучения служит рентген (р), заимствованный из практики рентгеновских лучей.

Рентген — это такое количество рентгеновского, или гамма-излучения (доза излучения), которое создает в одном кубическом сантиметре воздуха (при нормальном атмосферном давлении и температуре 0°С) 2,083 миллиарда пар ионов, несущих одну электростатическую единицу

заряда каждого знака. Доза гамма-излучения в 1 рентген создает около 800 электростатических единиц заряда в каждом грамме воздуха, что соответствует поглощению около 83 эргов энергии на каждый грамм. Примерно столько же энергии при дозе в 1 рентген получается и в 1 грамме воды.

Количество альфа- или бета-излучения, эквивалентное по создаваемой ионизации одному рентгену гамма-лучей, и которому, следовательно, соответствует поглощение энергии в 83 эрга на грамм, называется физическим, или практическим, эквивалентом рентгена. Физический эквивалент рентгена служит единицей дозы альфа- и бета-излучения. Таким образом, в конечном счете единицей дозы радиоактивного излучения любого вида служит рентген.

Чтобы лучше себе представить рентген как единицу количества или дозы излучения, приведем несколько примеров.

Ручные часы со светящимся циферблатом имеют около 0,3 микрограмма радиоактивного вещества, излучение которого служит для возбуждения свечения светосостава, покрывающего стрелки и цифры часов. Доза гамма-излучения, проникающего через заднюю стенку корпуса часов и воздействующего на кожу руки, составляет около 0,1 рентгена за сутки.

Радиоактивный элемент активностью 1 кюри, испускающий гамма-лучи, дает на расстоянии 1 метра излучение порядка 1 рентгена в час.

Доза рентгеновского излучения, получаемая человеком при рентгенокопии грудной клетки (которая длится несколько минут) составляет от 15 до 25 рентгенов в минуту.

Действие излучения на живой организм зависит не только от общего количества поглощенного излучения, но также и от характера облучения, то есть от того, происходит ли однократное облучение большой дозой или продолжительное (хроническое) облучение малыми дозами.

Однократное общее облучение дозой, превышающей 200 рентгенов может вызвать заболевание **лучевой болезнью**. Возможность заболевания лучевой болезнью возрастает с увеличением дозы.

Но та же доза в 200 рентгенов не окажет заметного воздействия, если она будет получена за несколько лет. В этом случае количество излучения, поглощаемого каж-

дый день, мало и повреждаемые ткани успевают восстановиться.

Для обнаружения радиоактивных излучений и определения их количества (дозы) наиболее часто применяются ионизационная камера и газовый счетчик и получает применение в последнее время так называемый сцинтилляционный счетчик.

**Ионизационная камера.** Ионизационная камера представляет собой воздушный конденсатор  $K$  (рис. 7) с двумя

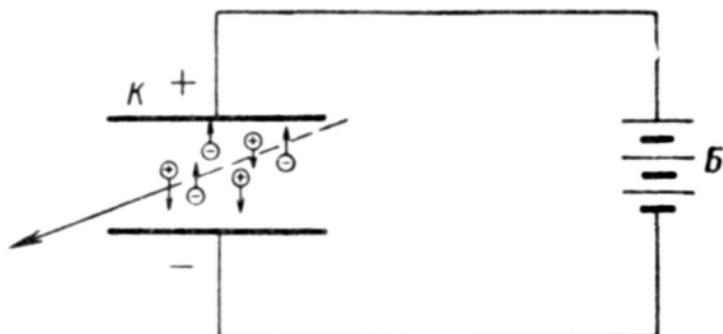


Рис. 7. Принципиальная схема ионизационной камеры.

электродами (пластинами) той или другой формы, к которым присоединяется батарея  $B$ . Эта батарея заряжает один из электродов камеры положительно, а другой — отрицательно.

Зарядив камеру, можно отключить батарею; при хорошей изоляции электродов они сохраняют свой заряд достаточно длительное время. Если же камера подвергается действию радиоактивного излучения, то в воздухе ее возникают ионы. Положительные ионы движутся к отрицательно заряженному электроду, а отрицательные — к положительному. При этом электроды частично разряжаются, вследствие чего напряжение между ними будет уменьшаться. По уменьшению напряжения можно будет судить о количестве излучения, прошедшего через ионизационную камеру.

Простейшей ионизационной камерой описанного типа является школьный электроскоп с листочком алюминиевой фольги (рис. 8). Одним электродом служит корпус прибора, другим — изолированный от корпуса центральный

металлический стержень с прикрепленным к нему листочком фольги.

Если с помощью эбонитовой палочки, натертой мехом, или при помощи батареи с достаточно большим напряжением зарядить электроскоп, то листок фольги отклоняется от стержня.

При воздействии излучения образующиеся в воздухе ионы разряжают электроскоп, отклонение листочка фольги уменьшается. Чем сильнее излучение, тем быстрее падает листочек. Можно отградуировать электроскоп таким образом, что по уменьшению отклонения алюминиевого листочка за определенное время можно будет определить количество излучения за это время.

Более совершенной является карманная ионизационная камера, применяемая для индивидуального дозиметрического контроля, то есть для определения дозы излучения, получаемой человеком. По форме и размерам эта камера похожа на автоматическую ручку (рис. 9). Она со-

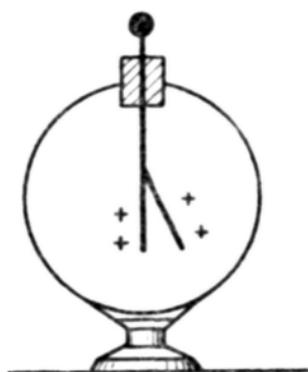


Рис. 8. Электроскоп с листочком.

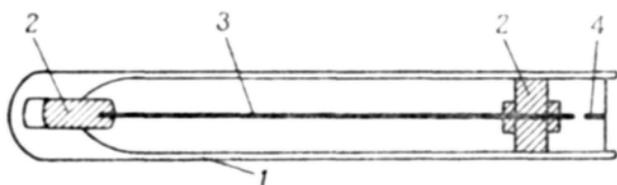


Рис. 9. Карманная ионизационная камера:  
1 — бакелитовый корпус, 2 — изолятор, 3 — центральный электрод (проволока), 4 — мембрана для зарядки камеры.

стоит из цилиндрического бакелитового корпуса 1, покрытого изнутри графитом, внутри которого натянута на изоляторах 2 проволока 3. Одним электродом является корпус камеры, другим—проволока. С помощью мембраны 4 камера заряжается до определенного напряжения и кладется в карман. Если данный человек не будет подвергаться действию радиоактивных излучений и если в камере хорошая электрическая изоляция, то напряжение сохранится без изменения. Если же человек подвергался облу-

чению, то ионы, образующиеся в камере, разряжают ее в большей или меньшей мере, о чем можно судить по уменьшению напряжения камеры, измеряемому соответствующим прибором. По разности значений между измеренным напряжением и его начальной величиной можно будет определить количество (дозу) излучения, полученного человеком.

Можно применять ионизационную камеру, не отключая ее от батареи. В этом случае напряжение между электродами будет оставаться постоянным. В отсутствие радиоактивного излучения воздух, заполняющий камеру, является непроводником электричества, и поэтому ток в цепи батареи — камера будет отсутствовать. При воздействии излучения воздух ионизируется, то есть становится проводником, и в цепи появляется ток, называемый ионизационным током. По силе тока и судят о количестве излучения.

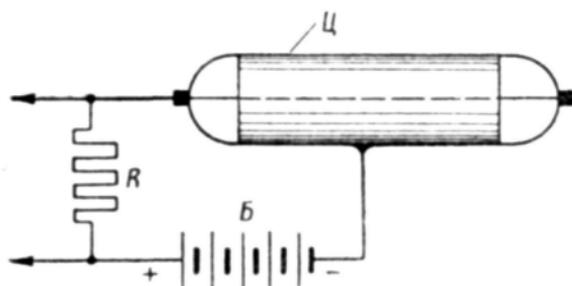


Рис. 10. Газовый счетчик

Так как ионизационный ток очень слаб, то для непосредственного его измерения требуется слишком чувствительный прибор. Поэтому этот ток сначала обычно усиливается с помощью усилителя, а уж потом подается для измерения на стрелочный прибор обычного типа.

Описанным здесь способом ионизационная камера используется в некоторых дозиметрических приборах. Применяемый усилитель ионизационного тока собирается на электронных лампах, подобных тем, что имеются в каждом ламповом радиоприемнике.

**Газовый счетчик.** Если радиоактивное излучение слабое и вызываемая им ионизация мала, то вместо ионизационной камеры применяют газовые счетчики, позволяющие обнаружить появление отдельной ионизирующей частицы.

Простейший счетчик представляет собой стеклянный или металлический цилиндр Ц, по оси которого на изоляторах натянута тонкая проволока (рис. 10). Вся эта система наполняется каким-либо газом (отсюда и само на-

звание «газовый счетчик») при давлении в несколько десятков миллиметров ртутного столба.

Показанный на рис. 10 стеклянный газовый счетчик предназначен для измерения гамма-излучений. Внутренняя поверхность стеклянного цилиндра покрыта тонким слоем металла, который соединяется с отрицательным полюсом батареи высокого напряжения  $B$ . Второй электрод (проволака) присоединяется через большое сопротивление  $R$  к положительному полюсу. Напряжение батареи подбирается так, чтобы оно было немного меньше того напряжения, при котором в счетчике может произойти электрический пробой. При таком напряжении в отсутствие ионизирующих частиц тока между электродами счетчика не будет. При попадании же в счетчик такой частицы, образующей внутри его ионы, между электродами возникает разряд и в цепи протекает ток. Напряжение на счетчике при этом уменьшается вследствие падения напряжения на сопротивлении  $R$ , и вспыхнувший разряд гаснет. Таким образом, каждая попавшая в счетчик ионизирующая частица вызывает в нем лишь кратковременный импульс тока, который, протекая по цепи, создает на сопротивлении  $R$  импульс напряжения. Этот импульс может быть зафиксирован после надлежащего усиления с помощью обычного микроамперметра или электромеханического счетчика-нумератора.

Газовый счетчик с усилителем электрических импульсов и микроамперметром может быть использован в дозиметрическом приборе. Такой прибор может состоять из двух основных частей — зонда и измерительного пульта, соединенных между собой гибким кабелем. Для счета импульсов на слух прибор может снабжаться головными телефонами.

**Сцинтилляционный счетчик.** Для обнаружения и измерения радиоактивности может быть использован метод мерцаний (сцинтилляций), основанный на свойстве частиц радиоактивных лучей вызывать кратковременные точечные вспышки света в некоторых веществах при бомбардировке их этими частицами. Для этой цели годятся сернистый цинк, иодистый калий, нафталин, антрацен и другие вещества. Вспышка света (мерцание, или сцинтилляция) возникает в той точке бомбардируемого вещества, в которую попадает частица. Подсчитывая число световых вспышек, можно подсчитать тем самым число частиц, уда-

ряющихся о сцинтиллирующий экран. Свечение экрана в этом случае по своей природе подобно свечению экрана телевизора, возбуждаемому бомбардирующими его электронами. На рис. 11 показано устройство простого физического прибора — **спинтарископа**, позволяющего видеть световые вспышки, возбуждаемые отдельными альфа-частицами. Вблизи экрана из сернистого цинка укреплена стрелка, на кончике которой находится ничтожное количество соли радия; каждая альфа-частица, попавшая из радия на кристаллик сернистого цинка, вызывает вспышку света, хорошо заметную в темноте сквозь лупу.

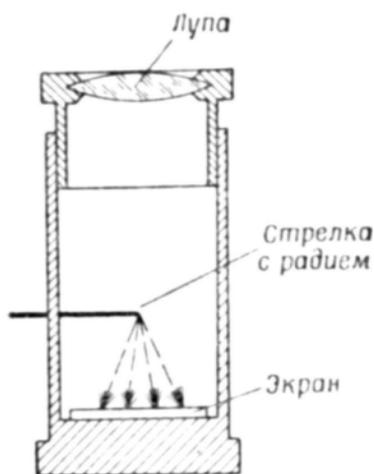


Рис. 11. Спинтарископ.

37 миллиардов альфа-частиц. Этот метод начинают применять в настоящее время для дозиметрического контроля радиоактивности в так называемых **сцинтилляционных**, или **люминесцентных**, счетчиках.

Этот счетчик представляет собой устройство, в котором светящийся экран, или кристалл, соединен с чувствительным к свету прибором, называемым **фотоумножителем**.



Рис. 12. Простейшая блок-схема сцинтилляционного счетчика.

Сцинтилляцион экран (или кристалла) воспринимаются фотоумножителем, преобразующим их в импульсы электрического тока, которые и регистрируются подобно тому, как это делается в схемах с газовыми счетчиками. Простейшая блок-схема сцинтилляционного счетчика приведена на рис. 12.

Сцинтилляционные счетчики отличаются высокой чувствительностью к различным видам излучений и имеют ряд других достоинств, благодаря которым они получают, повидимому, широкое применение.

### III. СТРОЕНИЕ АТОМНОГО ЯДРА

#### 1. Состав атомного ядра

Явление радиоактивности, с которым мы познакомились в предыдущей главе, впервые ясно показало, что ядра атомов имеют сложное строение и что в природе происходят превращения ядер одних химических элементов в ядра других элементов.

Явление радиоактивности интересно также и в другом отношении. Альфа-частицы, испускаемые ядрами атомов некоторых радиоактивных элементов, движутся с огромной скоростью, достигающей 20—25 тысяч километров в секунду, и обладают в силу этого большой кинетической энергией. Поэтому естественно возникла мысль: используя альфа-частицы радиоактивных веществ в качестве «снарядов» и обстреливая ими атомы, проникнуть внутрь атомных ядер и разрушить их. Такую попытку предпринял английский физик Резерфорд, подвергнувший обстрелу альфа-частицами атомы азота. Это была «неприцельная стрельба» вслепую. Попасть в этих условиях в невидимое ядро атома азота — это все равно, что, стреляя из орудия, поразить невидимую мишень, расположенную где-то на площади в один квадратный километр. Продолжая методически обстрел в течение длительного времени, Резерфорду удалось в 1919 году впервые в истории физики искусственно расщепить ядро. Оказалось, что ядро азота при попадании в него альфа-частицы превращается в ядра кислорода и водорода.

Обстреливая альфа-частицами атомы нерадиоактивных элементов, супруги Фредерик и Ирен Жолно-Кюри откры-

ли в 1934 году искусственную радиоактивность. Жозеф-Жюри установили, что в результате проникновения альфа-частиц в ядра алюминия, бора, магния и других веществ образуются новые радиоактивные ядра, отсутствующие в природе.

«Ядерная» артиллерия сыграла решающую роль в изучении состава атомного ядра.

Обстреливая атомы различных элементов быстрыми частицами, удалось установить, что в ядрах всех атомов имеются **протоны**, то есть ядра атомов водорода с атомным весом, приблизительно равным единице, и с единичным положительным зарядом.

Первоначально предполагалось, что, помимо протонов, в состав ядра входят еще и электроны и что ядра всех атомов построены из протонов и электронов. Однако позже выяснилось, что такое предположение неправильно и противоречит ряду опытных фактов. Современное учение о строении атомного ядра зародилось в 1932 году. Непосредственным толчком к его возникновению послужило открытие в 1932 году английским физиком Чадвиком новой, неизвестной до того времени «элементарной» частицы — **нейтрона**.

Нейтрон — нейтральная, то есть не имеющая электрического заряда, частица с массой, равной приблизительно массе протона. Точное значение массы нейтрона равно 1,00898 атомной единицы.

Благодаря отсутствию электрического заряда нейтрон не производит ионизации атомов, мимо которых он пролетает, и поэтому может свободно проникать через толстые слои вещества. Нейтрон способен проникать вглубь самых тяжелых ядер и поэтому является наилучшей частицей для их обстрела и последующего расщепления.

В том же 1932 году, когда был открыт нейтрон, советский физик Д. Д. Иваненко первым выдвинул идею о том, что ядра всех атомов состоят из протонов и нейтронов. Протоно-нейтронная теория строения ядра, развитая в работах советских и зарубежных физиков, является в настоящее время общепризнанной.

Число протонов в ядре атома какого-либо химического элемента равно числу «элементарных» зарядов ядра, то есть порядковому номеру этого элемента в периодической системе Менделеева (атомному номеру).

Общее же число протонов и нейтронов в ядре атома равняется его атомному весу, округленному до целых единиц, то есть массовому числу. Отсюда нетрудно сообразить, что разность между массовым числом атома и его атомным номером дает число нейтронов в ядре. Протоны и нейтроны, составляющие ядро, часто называют нуклонами.

Самое простое ядро — ядро атома обычного водорода (протия) — состоит из одного протона. Все остальные ядра, помимо протонов, имеют и нейтроны. В ядре атома гелия, массовое число которого равно 4, имеется два протона и два нейтрона. В ядре атома кислорода 8 протонов и 8 нейтронов (массовое число 16).

В ядрах легких элементов число протонов обычно равно числу нейтронов. Ядра средних и тяжелых элементов имеют избыток нейтронов. Наиболее тяжелое из существующих в природе ядер — ядро урана с массовым числом 238 содержит 92 протона и 146 нейтронов. Состав атомных ядер некоторых элементов показан схематически, без соблюдения масштаба на рис. 13.



Рис. 13. Состав некоторых ядер

(⊕ протон и ⊖ нейтрон).

Число протонов в ядре атома какого-либо элемента полностью определяет химические свойства этого элемента, его химическую принадлежность. До тех пор пока число протонов в ядре остается неизменным, атом данного химического элемента остается атомом этого элемента. При нормальном состоянии атома число электронов в его оболочке, окружающей ядро, равно числу протонов в ядре. Ионизация атома, то есть удаление из его оболочки одного или нескольких электронов, не затрагивает ядра: ядро остается при этом неизменным.

Нейтрон может превратиться в протон и наоборот. Подобные превращения имеют место в распадающихся

ядрах радиоактивных элементов, испускающих бета-частицу.

Превращение одного из нейтронов ядра в протон сопровождается рождением электрона, который с огромной скоростью, близкой к скорости света в пустоте, выбрасывается из ядра. Такой процесс имеет место при электронном бета-распаде. Если же, наоборот, один из протонов ядра превращается в нейтрон, то происходит рождение положительного электрона (позитрона), тотчас же вылетающего из ядра, что и имеет место при позитронном бета-распаде.

## 2. Атомы-изотопы

Ядра атомов какого-либо элемента при строго определенном числе протонов, равном атомному номеру элемента, могут иметь различное число нейтронов и, следовательно, различный вес. Атомы данного элемента, имеющие разный вес вследствие различия в числе нейтронов, называются **изотопами** этого элемента. Само слово «изотоп» происходит от греческого: «изос» — равный и «топос» — место. Следовательно, буквально изотопы — это атомы, занимающие в периодической системе Менделеева одинаковое место.

В настоящее время известны изотопы у всех химических элементов. Многие элементы имеют по несколько изотопов.

Так, например, у водорода известны три изотопа. Обычный легкий водород (протий), ядра его — протоны. В 1932 году был обнаружен второй изотоп водорода — тяжелый водород (дейтерий), который присутствует в природном водороде в количестве около 0,02%. Ядро тяжелого водорода, называемое **дейтерием**, имеет один протон и один нейтрон. Вода, молекулы которой построены по известной формуле химии из атомов тяжелого водорода и обычного кислорода, называется **тяжелой водой**. Тяжелая вода присутствует в природной воде в малом количестве. По своим физическим свойствам она несколько отличается от обыкновенной воды: замерзает тяжелая вода при  $+3,8^{\circ}\text{C}$ , кипит при  $+101,4^{\circ}$ .

Третий изотоп водорода — сверхтяжелый водород, или **тритий**. Ядра его — тритоны — построены из одного протона и двух нейтронов. Тритоны радиоактивны и распадаются, испуская электрон.

Большое значение в ядерной физике имеют изотопы урана, различающиеся тремя нейтронами: уран 235, в ядрах которого по 92 протона и 143 нейтрона, и уран 238, в ядрах которого по 92 протона и 146 нейтронов. Физические свойства этих изотопов урана несколько различны в силу различия в числе нейтронов. Уран 235 годится для осуществления атомного взрыва, а другой изотоп — уран 238 необходимых для этого свойств не имеет.

Большинство известных в настоящее время изотопов получается искусственным путем по методу «ядерной» артиллерии.

### 3. «Капельная» модель ядра

Все протоны и нейтроны в атомном ядре удерживаются друг около друга особыми ядерными силами притяжения. Эти силы имеют сложную природу, которая к настоящему времени изучена еще недостаточно. Ясно только, что ядерные силы не похожи на силы всемирного тяготения и на электрические силы и уменьшаются с увеличением расстояния между взаимодействующими нуклонами значительно быстрее и тех и других. Ядерные силы действуют лишь в самом ядре, имея там огромную величину, и в непосредственной близости от него. С увеличением расстояния между частицами ядра (нуклонами) ядерные силы настолько быстро уменьшаются до нуля, что радиус их действия не превосходит  $7 \cdot 10^{-13}$  сантиметра.

В этом отношении ядерные силы напоминают собой силы молекулярного сцепления в капле жидкости, которые удерживают молекулы жидкости друг около друга и стремятся придать капле сферическую форму как наиболее устойчивую.

Учитывая характер изменения ядерных сил с расстоянием и ряд других фактов, относящихся к ядру, Я. И. Френкель в СССР и Уилер за рубежом предложили «капельную» модель ядра. Согласно этой модели атомное ядро подобно положительно заряженной капле несжимаемой жидкости очень большой плотности и построено из нуклонов (протонов и нейтронов) наподобие того, как капля жидкости построена из молекул.

В капле жидкости действуют силы молекулярного сцепления, придающие капле сферическую форму. Помимо этого, в заряженной капле между одноименно заряженными частицами действуют силы электрического отталки-

вания, стремящиеся разорвать каплю. Подобно этому и внутри атомного ядра действуют силы двоякого рода: помимо ядерных сил притяжения, связывающих все ядерные частицы воедино, там действуют еще электрические силы отталкивания между положительно заряженными протонами. Ядерные силы внешне подобны силам молекулярного сцепления в жидкости и придают ядру сферическую форму как наиболее устойчивую.

Атомные ядра отличаются обычно большой прочностью (устойчивостью), так как ядерные силы притяжения, действующие в ядре, в десятки миллионов раз больше электрических сил отталкивания, действующих там между протонами.

Капельная модель позволяет рассматривать процесс искусственного расщепления атомных ядер быстрыми частицами — «снарядами» следующим образом. Кинетическая энергия частицы, попавшей в ядро, перераспределяется между всеми нуклонами ядра благодаря тесному взаимодействию между ними. Ядро приходит от этого в возбужденное состояние, что аналогично нагреванию капли жидкости. Поэтому можно, как впервые показал советский физик Л. Д. Ландау, условно говорить о «температуре» ядра и ее повышении за счет энергии попавшего в ядро «снаряда». В результате этого частица или группа частиц возбужденного ядра, составляющих новое ядро, может вылететь за его пределы подобно тому, как вылетают молекулы жидкости при ее испарении.

## IV. АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

### 1. Закон сохранения материи и ее движения

Ядро — самая тяжелая часть атома и включает в себе почти всю его массу. На долю легких электронов приходится менее 0,05% всей массы атома.

Соответственно этому распределяется в атоме и энергия. Почти вся энергия, скрытая в атоме, заключена (сосредоточена) внутри его ядра; на долю электронной оболочки приходится менее 0,05% всей энергии атома. Такое заключение о распределении энергии в атоме вытекает из закона взаимосвязи массы и энергии и подтверждается практикой.

Как известно, энергия и масса являются свойствами материи. Масса — физическая величина, характеризующая инерцию материи, то есть свойство ее сохранять состояние своего движения. Энергия — это мера движения материи. К такому пониманию энергии наука пришла не сразу.

Еще около 200 лет назад М. В. Ломоносов сформулировал закон сохранения материи и ее движения (закон Ломоносова), согласно которому «все перемены, в натуре (природе — В. М.) случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего от одного тела отнимется, столько присокупится к другому. Так, ежели где убудет несколько материи, то умножится в другом месте... Сей всеобщий естественной закон простирается и в самые правила движения: ибо тело, движущее своей силой другое, столько же оныя у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает».

Этими словами Ломоносов утверждал неуничтожимость материи и ее движения. Одним из частных проявлений всеобщего закона Ломоносова был экспериментально установленный им самим закон сохранения вещества. Значительно позже, лишь в XIX веке, в связи с развитием производства, складывается в науке понятие об энергии. Широкое использование в промышленности тепловой энергии и начавшееся овладение электрической энергией приводит к открытию в середине XIX века закона сохранения и превращения энергии. Согласно этому закону энергия в вечном круговороте материи не исчезает и не создается вновь, а лишь превращается из одной формы в другую. Этот закон подтвердил гениальное предвидение Ломоносова о переходе одних видов движения в другие и явился дальнейшим развитием и конкретизацией его закона.

С помощью понятия энергии физика выражает неуничтожимость движения материи, его способность к бесконечным превращениям из одной формы в другую.

Открытие в дальнейшем закона сохранения электрического заряда и, наконец, закона взаимосвязи массы и энергии еще полнее раскрыло глубочайшее содержание всеобщего закона природы, усмотренного Ломоносовым.

Современная физика научно доказала, что в природе нет нематериального движения, то есть движения без материи, как нет и не может быть материи без движения. Материя и движение неразрывно связаны между собой.

неотделимы друг от друга. Отражением этой объективно существующей связи материи и ее движения является закон взаимосвязи массы и энергии, указанный в 1905 году немецким физиком А. Эйнштейном.

Если массу любого материального объекта в граммах обозначить через  $m$ , а его энергию в эргах — через  $E$ , то этот закон выразится формулой:

$$E = mc^2, \quad (1)$$

где  $c$  — скорость света в пустоте, составляющая 30 миллиардов сантиметров в секунду ( $3 \cdot 10^{10}$  см/сек).

Пользуясь этой формулой, можно подсчитать, какая энергия связана с частицей материи, обладающей массой. Например, в один грамм:

$$E = mc^2 = 1 \cdot (3 \cdot 10^{10})^2 = 9 \cdot 10^{20} \text{ эргов,}$$

что составляет около 21 миллиарда килокалорий. Как видим, с очень небольшой массой связана огромная скрытая в материи энергия.

По отношению к свету, являющемуся одной из форм материи, с несомненностью установлено, что именно соотношением (1) связаны между собой энергия и масса света. Существование такой связи вытекает из классических опытов П. Н. Лебедева по световому давлению. Опыты Лебедева показывают, что материальные частицы света — фотоны, падая на поверхность освещаемого тела, производят на него давление точно так же, как и молекулы газа, бомбардирующие стенки сосуда. Полная энергия фотона в соответствии с формулой (1) равна его массе, умноженной на квадрат скорости света.

По отношению к обычной материи, которую принято называть веществом, пока установлено, что всякое изменение энергии тела на  $E$  эргов сопровождается одновременным изменением массы на  $m$  граммов по формуле (1). Если, например, изменение энергии тела происходит путем передачи ее другому телу, то одновременно с этим совершается передача второму телу и соответствующей массы. По уменьшению массы первого тела, пользуясь формулой (1), можно определить количество переданной энергии. При этом, как это видно из приведенного выше расчета, малым изменениям массы соответствуют огромные изменения энергии.

Закон взаимосвязи массы и энергии составляет основу энергетических расчетов современной атомной физики.

## 2. Что такое атомная энергия

Часть энергии, заключенной в электронной оболочке атомов, выделяется при излучении атомами света и особенно в химических реакциях. Химические реакции, происходящие при горении топлива и взрыве обычных взрывчатых веществ, являются пока основным источником энергии для человечества.

Трудами многих ученых, среди которых выдающуюся роль сыграли работы А. М. Бутлерова, было установлено, что в химических реакциях молекулы одних сложных веществ превращаются в молекулы других веществ. При этом изменяются (перестраиваются) лишь электронные оболочки атомов, а ядра остаются неизменными.

Химические реакции могут происходить как с выделением энергии и соответствующей массы, так и с их поглощением. Энергия, которая выделяется в химических реакциях, называется **химической**.

В химической реакции взрыва 1 килограмма тротила (тола) выделяется немногим больше тысячи килокалорий химической энергии, превращающейся при взрыве в другие формы энергии. Из одного килограмма хорошего каменного угля, сжигая его, мы можем получить в виде тепла до 7000 килокалорий энергии. Килограмм нефти дает до 11 000 килокалорий.

Значительно большие количества энергии могут быть получены из атомных ядер, поскольку запасы энергии в них превосходят во много раз энергию электронных оболочек.

Для освобождения химической энергии дерева, угля, нефти людям пришлось в свое время научиться зажигать их, то есть вызывать в них химические реакции, в которых изменяются электронные оболочки атомов. Для использования энергии атомных ядер нужно научиться осуществлять ядерные реакции, в которых изменялись бы сами ядра.

Ядерные реакции — это процессы превращения атомных ядер, в которых происходит изменение (перестройка) самих ядер: протоны и нейтроны перегруппировываются в более сложные ядра, либо, наоборот, сложные ядра распадаются на более простые. При ядерных превращениях происходит либо выделение энергии и массы, либо их поглощение. Энергию, которая выделяется в ядерных реак-

циях, принято называть атомной, правильнее ее называть ядерной.

Количество атомной энергии, выделяющейся на каждый грамм вещества в используемых в настоящее время реакциях, превышает в миллионы раз химическую энергию, освобождающуюся при сжигании одного грамма лучшего топлива.

Впервые с ядерными реакциями человечество познакомилось около 50 лет назад при изучении радиоактивности. Распад ядер радиоактивных атомов представляет собой пример естественной самопроизвольно протекающей ядерной реакции с выделением части энергии, заключенной в ядрах. Поэтому открытие и изучение радиоактивности справедливо считают первым шагом на пути овладения атомной (ядерной) энергией.

Вторым важным этапом было осуществление, начиная с 1919 года, многочисленных искусственных ядерных реакций. Изучение реакций, происходящих при бомбардировке нейтронами тяжелых элементов, привело к открытию в 1939 году ядерных процессов, лежащих в основе современных методов получения атомной (точнее ядерной) энергии.

Для получения атомной энергии пришлось научиться управлять ядерными реакциями, то есть научиться искусственно вызывать их, регулировать скорость в необходимом для нас направлении и, наконец, прекращать (останавливать) их в нужный момент времени.

Остановимся на основных путях получения атомной энергии.

### **3. Возможные пути получения атомной энергии**

Так как между протонами и нейтронами, составляющими ядро, действуют ядерные силы притяжения, то нетрудно понять, что при расщеплении ядра на составляющие его частицы нужно совершить работу против ядерных сил и, следовательно, затратить некоторую энергию. В обратном процессе при образовании (синтезе) ядра такая же энергия выделяется.

Известно, что при поднимании тела над землей приходится совершать работу против силы тяготения и, следовательно, затрачивать энергию. При падении тела на землю эта энергия превращается в кинетическую и выделяется в виде, например, тепла при ударе тела о землю.

Есть некоторое сходство между этим примером и значительно более сложным явлением образования ядра. Подобно тому, как при падении тела на землю имеет место выделение энергии, то есть превращение ее из одной формы в другую, так и при образовании ядра из свободных протонов и нейтронов (так сказать при падении их друг на друга) также происходит выделение энергии, то есть превращение части внутриатомной энергии в другие виды.

Энергию, которая выделяется при соединении протонов и нейтронов в ядро, называют обычно энергией связи, или энергией образования ядра. Энергию связи атомных ядер всех химических элементов можно вычислить, пользуясь законом взаимосвязи массы и энергии. Необходимые для этого точные значения масс атомных ядер и составляющих их частиц (нуклонов) определены в настоящее время с большой точностью.

Рассчитаем для примера величину энергии связи ядра гелия. Масса протона равна 1,008 единицы атомного веса, а масса нейтрона — 1,009.

Суммарная масса двух протонов и двух нейтронов, необходимых для образования ядра гелия, следовательно, равна 4,034 атомной единицы. С другой стороны, измерение массы «построенного» ядра гелия, существующего в природе, показывает, что величина ее меньше и равна 4,003 атомной единицы. Налицо «дефект» (убыль) массы равный  $m = 4,034 - 4,003 = 0,031$  атомной единицы. Следовательно, при образовании ядра гелия выделяется и передается окружающей материи масса, равная 0,031 единицы атомного веса. По выделившейся массе и определяется выделившаяся энергия. Так как единица атомного веса равна  $1,66 \cdot 10^{-24}$  грамма, то, умножая 0,031 на  $1,66 \cdot 10^{-24}$ , а затем на  $9 \cdot 10^{20}$ , согласно формуле (1) найдем:

$$E = mc^2 = 0,031 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \cdot 9 \cdot 10^{20} = 44,09 \cdot 10^{-6} \text{ эрга.}$$

Умножая эту величину на число атомов, содержащихся в грамме гелия<sup>1</sup>, можно определить удельную энергию

<sup>1</sup> Число атомов в 1 грамме любого элемента равно числу Авогадро ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ), деленному на атомный вес этого элемента. Для гелия атомный вес которого равен 4, это число составляет  $\frac{6,02 \cdot 10^{23}}{4} = 1,5 \cdot 10^{23}$  атомов

связи, то есть энергию, выделяющуюся при образовании одного грамма данного вещества. Расчет показывает, что для гелия удельная энергия связи составляет около 165 миллионов килокалорий.

Аналогичным образом по уменьшению массы соединяющихся в ядро протонов и нейтронов можно рассчитать удельную энергию связи каждого химического элемента. Построенная по таким данным кривая зависимости удельной энергии связи от атомного веса приведена на рис. 14.

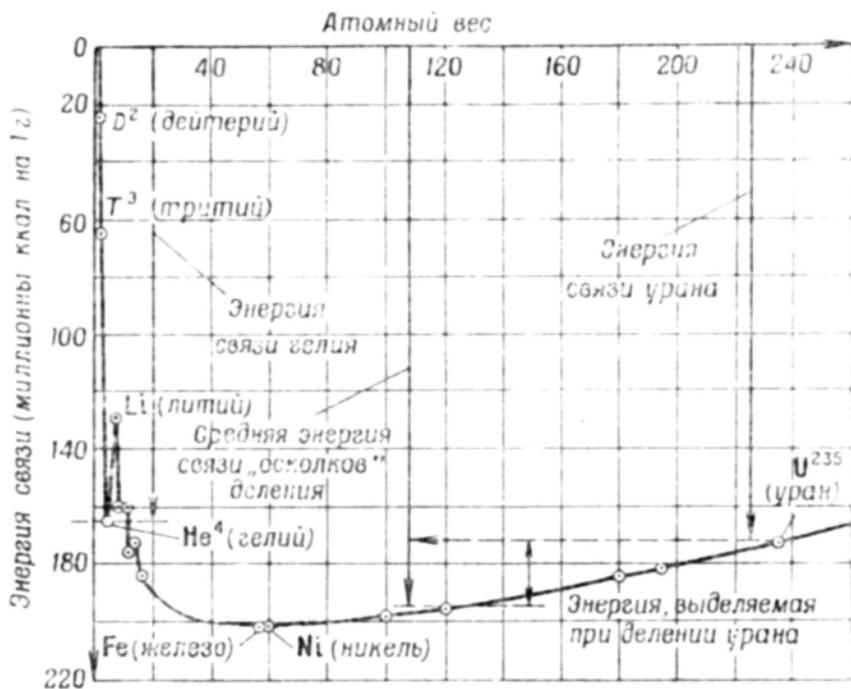


Рис. 14. Энергия связи атомных ядер.

Из рисунка видно, что наибольшая энергия выделяется при образовании ядер атомов железа и никеля. Ядра атомов, расположенных в начале и в конце периодической таблицы, образуются с меньшим выделением энергии. Кривая энергии связи дает наглядное представление об относительной прочности (устойчивости) атомных ядер. Чем прочнее ядро, тем больше надо затратить энергии на работу против ядерных сил притяжения при расщеплении ядра на составляющие его протоны и нейтроны. Необходимая для этого энергия равна как раз энергии связи ядра. Поэтому чем больше энергия связи ядра, тем прочнее (устойчивее), вообще говоря, данное ядро.

Чем прочнее ядра, тем ниже на кривой рис. 14 лежит соответствующая им точка. Наибольшей относительной прочностью, или устойчивостью, обладают ядра атомов железа и никеля.

Для освобождения ядерной энергии совсем не обязательно осуществлять синтез ядер из протонов и нейтронов. Выделения энергии можно достичь, осуществляя такие ядерные реакции, в которых ядра атомов некоторого элемента превращаются в ядра какого-либо другого элемента, обладающие большей устойчивостью и имеющие соответственно большую энергию связи.

Поясним сказанное примером. Из кривой рис. 14 видно, что удельная энергия связи урана с атомным весом 235 составляет около 173 миллионов килокалорий. С другой стороны, удельная энергия связи для элементов среднего веса (олово и др.) составляет приблизительно 194 миллиона килокалорий. Если же осуществлять ядерную реакцию, в которой ядра олова и соседних с ним элементов будут образовываться не из протонов и нейтронов, а путем деления более тяжелых ядер урана, то при этом будет выделяться около 21 миллиона килокалорий на каждый грамм вещества. Выделяющаяся энергия равна разности энергий связи конечных и исходных элементов. Обратная реакция, то есть соединение ядер среднего веса в ядра урана, потребует затраты такого же количества энергии и поэтому не годится для получения ее.

**Использование реакций, в которых тяжелые ядра распадаются на менее тяжелые ядра среднего веса, представляет первый возможный путь выделения атомной энергии.** Чем тяжелее исходные ядра, тем больше энергии будет получаться.

Второй путь заключается в использовании реакций соединения очень легких ядер в более тяжелые ядра. Чем легче соединяющиеся ядра, тем больше энергии может быть получено при таких реакциях.

Рассмотрим, например, возможную реакцию слияния ядер дейтерия и трития, в результате которой получаются ядро гелия и один свободный нейтрон. Соответственно тому, что атомный вес дейтерия равен двум, а трития — трем, в этой реакции из 2 граммов дейтерия и 3 граммов трития образуется 4 грамма гелия и 1 грамм нейтронов. При этом выделяется около 100 миллионов килокалорий энергии на каждый грамм гелия. Действительно, удельная

энергия связи, как это видно из кривой рис. 14, для дейтерия равна 25, а для трития — 64 миллионам килокалорий. Следовательно, энергия, выделяющаяся при образовании 2 граммов дейтерия и 3 граммов трития, составит  $25 \cdot 2 + 64 \cdot 3 = 242$  миллиона килокалорий. Удельная энергия связи для гелия равна, как известно, 165 миллионам килокалорий. Следовательно, при образовании 4 граммов гелия из протонов и нейтронов выделится  $165 \cdot 4 = 660$  миллионов килокалорий. В случае же образования гелия из дейтерия и трития выделится  $660 - 242 = 418$  миллионов килокалорий, что и дает около 100 миллионов килокалорий на каждый грамм гелия.

\* \*  
\*

Указанные выше основные пути получения энергии атомных ядер ныне практически реализуются: **первый** — в реакции деления тяжелых ядер урана или плутония; **второй** — в термоядерной реакции с водородом.

## V. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

### I. На пути овладения ядерными реакциями

**К**ак известно из вышесказанного, ядерными реакциями называются превращения атомных ядер одного химического элемента в ядра какого-либо другого элемента.

От открытия ядерных реакций, самопроизвольно протекающих при радиоактивном распаде некоторых элементов в природе, до практического осуществления ядерных реакций с целью получения атомной энергии наука прошла почти полувековой путь.

Важным этапом здесь было изучение искусственных ядерных реакций, производимых по методу «ядерной» артиллерии. Обстреливая атомы различных элементов быстрыми частицами (альфа-частицами, протонами, дейтеронами и т. п.), ученым удалось осуществить в лабораторных условиях тысячи различных ядерных превращений в которых из одних химических элементов получались другие элементы.

Тем самым ученые XX века решили практически задачу, которую еще в годы открытия периодического закона поставил Д. И. Менделеев. Говоря о химических превра-

щениях (превращениях молекул), Менделеев указывал: «Все учение химии состоит в учении о свойствах элементов. Цель и задача — превратить один в другой — это будет дальше».

Над превращением элементов безуспешно бились средневековые алхимики, стремившиеся получить золото, серебро и другие драгоценные металлы из дешевых свинца, ртути и меди. Но только ученые XX века, изучив свойства атомов и их ядер и овладевая ядерными реакциями, научились осуществлять подобные превращения. И атомы ртути и свинца могут быть средствами современной физики превращены в атомы золота и серебра. В ядре, например, атома ртути 80 протонов. Можно выбить один из них. Мы получим тогда ядро с 79 протонами. Это будет ядро атома золота. Но только золото, добываемое подобным способом, обходится чрезвычайно дорого. Поэтому такой способ производства золота пока не имеет практического значения.

Для обстрела атомных ядер с целью вызвать их превращения нужны очень быстрые частицы. Длительное время единственным источником таких частиц были естественные радиоактивные вещества, испускающие альфа-частицы (ядра гелия). Но альфа-частицы, как и всякие ядра, имеют положительный электрический заряд. Поэтому при приближении к обстреливаемому ядру, также положительно заряженному, альфа-частица испытывает действие силы электрического отталкивания тем большее, чем больше заряд ядра.

Вследствие этого энергии альфа-частиц, испускаемых радиоактивными веществами, хватает лишь для расщепления ядер легких атомов. От более тяжелых ядер природные альфа-частицы отталкиваются, не проникая внутрь их.

Для увеличения скорости заряженных частиц-«снарядов» были созданы весьма сложные установки — **ускорители**, в которых альфа-частицы, протоны, дейтроны и другие частицы разгонялись до громадных скоростей и, значит, энергий.

Первые установки такого рода были созданы английскими физиками Кокрофтом и Уолтоном и советскими физиками Синельниковым и Вальтером, сумевшими получить с помощью их быстрые протоны.

Протоны в качестве «снарядов» для обстрела атомных ядер имеют серьезное преимущество перед альфа-части-

цами. Оно заключается в том, что заряд у протона в два раза меньше заряда альфа-частицы. Вследствие этого сила отталкивания, испытываемая протоном при его приближении к обстреливаемому ядру, будет в два раза меньше силы, которую испытывает альфа-частица. Поэтому протону легче проникнуть в ядро и вызвать его превращение. Обстреливая быстрыми протонами атомы лития, Синельников и Вальтер в СССР, Кокрофт и Уолтон в Англии осуществили в 1932 году расщепление его ядра на две альфа-частицы. Ядро лития с атомным весом 7, захватив попавший в него протон, возбуждается (так сказать «нагревается») и затем само распадается на две альфа-частицы (два ядра гелия), разлетающиеся в прямо противоположных направлениях с большой скоростью.

Освобождаемая в этой реакции ядерная энергия переходит в кинетическую энергию быстро движущихся альфа-частиц. Величина ее оказывается большой и составляет около 17,2 миллиона электрон-вольт на каждое ядро лития. Если бы можно было таким способом расщепить 1 грамм лития, то выделившаяся энергия составила бы около 56 миллионов килокалорий.

Расщепление лития быстрыми протонами было первой искусственной ядерной реакцией, в которой освободалось большое количество атомной энергии. Это указывало на принципиальную возможность получения атомной энергии с помощью искусственно вызываемых превращений атомных ядер.

Наиболее совершенные методы ускорения заряженных частиц разработаны советскими физиками Я. И. Терлецким и В. И. Векслером. На основе идей, предложенных В. И. Векслером, создан самый совершенный и мощный ускоритель из всех существующих в настоящее время. Это так называемый **космотрон**, позволяющий получать частицы, энергия которых во много раз больше, чем у альфа-частиц, испускаемых радиоактивными веществами. Космотрон — это сложное и огромное сооружение величиной с большой дом.

После открытия нейтронов они также были использованы в качестве «снарядов» для обстрела атомных ядер. Ввиду отсутствия у них электрического заряда нейтроны не отталкиваются ядрами атомов. Поэтому все нейтроны попадают в цель (в ядра атомов обстреливаемой мишени) без промаха, если только взять мишень достаточной тол-

ципы. К сожалению, у нас нет иных источников нейтронов, кроме самих атомных ядер, из которых их приходится выбивать, прибегая к обстрелу другими заряженными частицами.

Для обстрела атомов с научной целью широко используются космические лучи. Так физики называют потоки атомных ядер, непрерывно падающих к нам на Землю из мирового пространства с огромной скоростью, близкой к скорости света.

Большинство космических частиц обладает колоссальной энергией, измеряемой миллиардами и десятками миллиардов электрон-вольт. Насколько велика энергия таких частиц, показывает следующий пример. Если листочек свинца толщиной всего в 0,001 сантиметра полностью поглощает альфа-частицы, то для космических частиц не является препятствием и слой свинца толщиной в один метр. В космических лучах имеются и такие сверхбыстрые частицы, энергия которых еще в миллиарды раз больше. Чтобы получить наглядное представление о том, насколько велика их энергия, можно привести такой пример. Если сверхбыстрая космическая частица имела бы массу в один грамм, то при падении ее в Черное море вся вода в нем закипела бы. Но так как космические частицы ничтожно малы и общее число их невелико, то попадание их на Землю не вызывает заметного нагревания. Космические частицы оказываются превосходными «снарядами» для обстрела атомных ядер, в том числе ядер тяжелых элементов. Сталкиваясь с ядрами, космические частицы вызывают ряд интересных ядерных явлений. В 1942 году советский физик А. П. Жданов впервые наблюдал под действием космических лучей полное расщепление ядер атомов серебра и брома на составляющие их частицы.

Изучая ядерные процессы, вызываемые быстрыми частицами-«снарядами», ученые открыли значительное число ядерных реакций, в которых выделялось относительно большое количество атомной (ядерной) энергии. Таковы, в частности, реакции расщепления лития под действием протонов и дейтеронов, первая из которых рассмотрена выше.

Однако от установления факта выделения большого количества ядерной энергии до практического использования ее было еще далеко.

Главная трудность, которую нужно было еще преодолеть, заключалась в том, что для освобождения ядерной

энергии необходимо было попасть частицей-«снарядом» в каждое атомное ядро. Между тем при обстреле атомов какой-либо мишени лишь ничтожная доля «снарядов» попадает в ядра ее атомов. В среднем лишь один снаряд из целого миллиона попадает в цель, то есть в ядро, и вызывает его превращение. Остальные 999 999 «снарядов» пролетают мимо цели и, растратив свою энергию на ионизацию атомов, теряют способность проникать в ядра. В результате такого положения на получение огромного количества «снарядов» затрачивается энергии значительно больше, чем ее получается при ядерных превращениях. Естественно, что такой способ освобождения ядерной энергии не может иметь практического значения.

Если бы для извлечения энергии топлива приходилось «поджигать» каждую молекулу его, то уголь, нефть и другие виды топлива не получили бы практического применения. К счастью, химическая реакция горения протекает совсем иначе. Если поджечь уголь в каком-либо месте, то при надлежащем доступе кислорода горение идет дальше самостоятельно, само себя поддерживая и охватывая все большую и большую массу угля. Молекулы углерода, из которых состоит уголь, сами «зажигаются» одна от другой, по цепочке. Такие саморазвивающиеся химические реакции, которые, будучи начаты, поддерживают себя дальше сами, называются цепными. Теорию цепных химических реакций разработал еще в 1928 году советский ученый Н. Н. Семенов.

Среди многочисленных ядерных реакций, о которых говорилось выше, не было ни одной, которая, будучи начата, развивалась бы дальше сама собой, по цепочке. В этих ядерных реакциях расщепление одного ядра не вызывает подобного же превращения других соседних ядер.

Положение коренным образом изменилось в 1939 году благодаря открытию ядерной реакции нового типа, названной реакцией деления тяжелых ядер, которая при определенных условиях может протекать, как цепная. Эта реакция была открыта при обстреле нейтронами урана — самого тяжелого из существующих на Земле элементов.

Используя цепную реакцию деления тяжелых ядер, ученым удалось осуществить тепловую ядерную реакцию с водородом, протекающую в форме взрыва. Эта реакция, называемая иначе термоядерной реакцией, происходит под

действием весьма высокой температуры, измеряемой миллионами и десятками миллионов градусов.

Деление тяжелых ядер и термоядерная реакция с водородом практически используются в настоящее время для получения атомной, или ядерной, энергии.

Как протекают эти ядерные реакции, каковы их особенности и рассказывается ниже.

## 2. Деление тяжелых ядер

Как известно из вышешложенного, путем обстрела быстрыми частицами можно сделать радиоактивными большое число химических элементов. Чрезвычайно эффективными «возбудителями» искусственной радиоактивности оказались нейтроны. Изучая воздействие нейтронов на ядра атомов урана, ученые ряда стран открыли много интересных и на первых порах загадочных явлений. Одним из таких открытий, явившемся, без сомнения, одним из выдающихся достижений физики, было открытие в 1939 году вызываемого нейтронами «деления» урана. Как установили Ган и Штрассман, после захвата нейтроном ядра урана получаются два новых ядра, принадлежащих атомам элементов, стоящих в середине периодической таблицы Менделеева. Усилиями многих физиков было доказано, что эти новые ядра получаются в результате деления ядра урана, захватившего нейтрон; при этом масса и заряд исходного ядра распределяются (делятся) между новыми ядрами — «осколками» деления.

Теорию деления тяжелых ядер разработал в том же году советский физик Я. И. Френкель на основе «капельной» модели ядра.

В ядре урана, содержащем 92 протона, электрические силы отталкивания между одноименно заряженными протонами весьма велики и лишь немного уступают ядерным силам притяжения. Вследствие этого ядра урана не отличаются большой прочностью (устойчивостью). Поэтому нейтрон, попадающий в такое ядро, легко возбуждает («нагревает») его, делая еще менее устойчивым. В результате ядро теряет свою сферическую форму, вытягивается, образуя перетяжку, и затем делится на два ядра («осколка») среднего веса; при этом делящееся ядро выбрасывает несколько новых (вторичных) быстрых нейтронов. Схема деления ядра урана приведена на рис. 15.

Ядра-«осколки» разлетаются в разные стороны с огромной скоростью. Как показал Ф. Жолио-Кюри, «осколки», несмотря на их сравнительно большую величину, способны пробегать в воздухе до 2,1 сантиметра, что свидетельствует о наличии у них огромной энергии. Сталкиваясь с атомами окружающей среды, ядра-«осколки» передают им свою кинетическую энергию, вследствие чего происходит сильное нагревание среды. Общее количество энергии, выделяющейся при делении одного ядра урана, составляет в среднем около 200 миллионов электрон-вольт. Это огромная энергия. В расчете на 1 грамм урана это дает знакомую нам величину<sup>1</sup> в 21 миллион килокалорий, что в 3 миллиона раз больше, чем химическая энергия, получаемая при сжигании 1 грамма хорошего каменного угля (7 000 калорий).

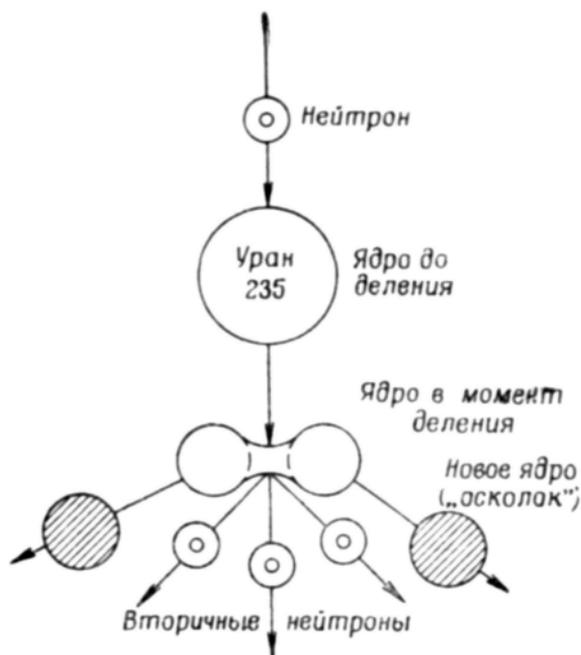


Рис. 15. Деление ядра урана 235.

Заметим, что полный запас внутриядерной энергии в 1 грамме урана составляет около 21 миллиарда килокалорий. Отсюда следует, что при делении ядер урана освобождается около одной тысячной доли всей той энергии, которая заключена в них.

Природный уран представляет собою смесь в основном двух изотопов: изотопа с атомным весом 238 (уран 238) и изотопа с атомным весом 235 (уран 235). Главную массу (99,3%) составляет уран 238; на долю урана 235 приходится около 0,7%.

Свойства изотопов урана в отношении деления, вызываемого нейтронами, несколько различны. Это сказыв-

<sup>1</sup> См. стр. 45.

ваются в том, что энергия, которую нужно сообщить ядру для того, чтобы вызвать в нем достаточно сильное возбуждение, ведущее к делению, составляет 5,2 миллиона электрон-вольт для урана 235 и 5,9 миллиона электрон-вольт для урана 238. Эту энергию обычно называют **критической энергией возбуждения**.

С другой стороны, энергия, сообщаемая ядру попадающим в него медленным (тепловым)<sup>1</sup> нейтроном, также имеет разную величину для различных изотопов урана. Критические энергии возбуждения и соответствующие энергии, сообщаемые ядрам урана тепловыми нейтронами, представлены ниже для удобства обозрения в таблице.

Ядро	Критическая энергия возбуждения (в миллионах электрон-вольт)	Энергия, сообщаемая тепловым нейтроном (в миллионах электрон-вольт)
Уран 235 . . . .	5,2	6,8
Уран 238 . . . .	5,9	5,3

Как видим, тепловой нейтрон сообщает ядру урана 235 энергию в 6,8 Мэв. Это различие объясняется тем, что нейтрон вносит в ядро не только кинетическую энергию (в обоих случаях одинаковую), но и свою энергию связи с ядром, которая для урана 235 составляет большую величину, чем для урана 238.

С другой стороны, из таблицы видно, что энергия, приносимая ядру тепловым нейтроном, значительно больше критической энергии в случае урана 235 (6,8 против 5,2) и заметно меньше в случае урана 238 (5,3 против 5,9). Отсюда следует, как это имеет место на практике, что ядра атомов урана 235 могут делиться как быстрыми, так и тепловыми нейтронами, в то время как ядра урана 238 делятся лишь весьма быстрыми нейтронами. Как показали советские физики Г. Н. Флёрв и К. А. Петржак, деление ядер урана 238 могут вызывать только нейтроны, имеющие скорость свыше 14 тысяч километров в секунду. Такие же нейтроны, которые имеют меньшую скорость, ядрами этого урана захватываются без деления. В последующем ядра

<sup>1</sup> Медленными, или тепловыми, нейтронами называют обычно такие нейтроны, скорость которых составляет около 2,4 км/сек, то есть имеет примерно такую же величину, что и скорости молекул газа в их непрерывном тепловом движении.

урана 238, поглотившие нейтрон, превращаются в результате радиоактивного распада в ядра атомов химического элемента плутония. Плутоний имеет атомный вес 239 и занимает в таблице Менделеева 94-е место. На Земле плутоний практически отсутствует.

### 3. Цепная реакция деления тяжелых ядер. Атомный взрыв

Как указано выше, при делении ядра урана получается несколько (в среднем 2—3) новых свободных нейтронов, называемых **вторичными**. Эта особенность деления ядер урана, обнаруженная в 1939 году Ф. Жолио-Кюри и затем подтвержденная другими физиками, имеет исключительно важное значение. Благодаря испусканию вторичных нейтронов реакция деления может протекать при определенных условиях самостоятельно, сама собой, стоит только ее начать. Такая саморазвивающаяся ядерная реакция, которая, будучи начата (инициирована), поддерживает себя сама, и есть **цепная**.

Для того, чтобы реакцию деления ядер урана 235 осуществить как цепную, нужно только взять достаточно большой кусок чистого урана 235.

Как показали в 1940 году Г. Н. Флёрв и К. А. Петржак, небольшое число ядер урана делится с испусканием нейтронов самопроизвольно. Самопроизвольные деления происходят редко, в одном грамме урана наблюдается всего несколько сот делений в час. Но получающихся в результате этого свободных нейтронов будет достаточно для того, чтобы начать («зажечь») цепную реакцию в куске урана. В результате деления какого-либо ядра урана одним из блуждающих нейтронов, всегда имеющихся в уране и около него, появятся новые нейтроны и притом в большем количестве. Эти нейтроны вызовут новые деления, вследствие чего число делящихся ядер и число нейтронов будет само лавинообразно увеличиваться. Таким образом, один нейтрон даст начало целой цепочке делений, причем количество ядер, подвергающихся делению, нарастает чрезвычайно быстро. Схема цепной реакции приведена на рис. 16. Заштрихованные кружки изображают ядра среднего веса, получающиеся при делении («осколки» деления). В большом куске урана процесс деления большинства ядер осуществляется всего за 2—3 миллионные доли

секунды, в течение которых в весьма малом объеме выделяется огромное количество ядерной энергии. В результате получится взрыв колоссальной силы, называемый атомным взрывом.

Количество энергии, которое может выделиться при атомном взрыве 1 килограмма урана 235, при делении всех ядер приблизительно равно энергии взрыва 20 000 тонн обычного взрывчатого вещества — тротила (тола). Однако

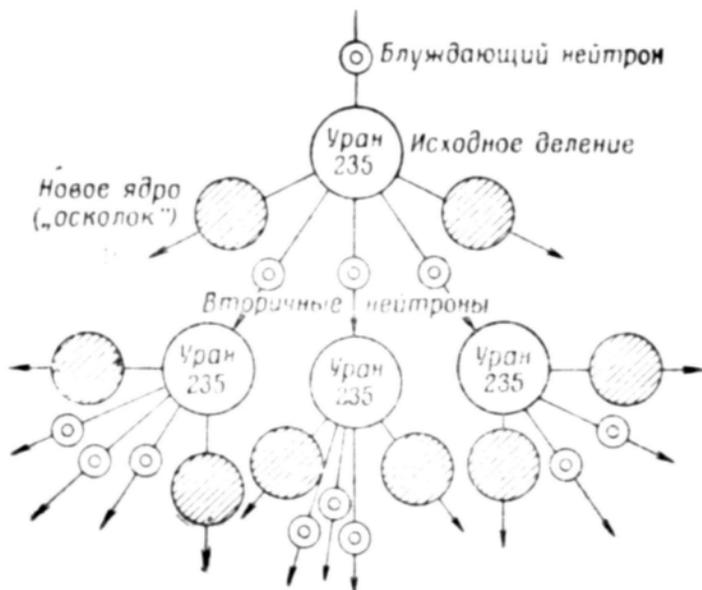


Рис. 16. Схема цепной реакции деления ядер урана 235.

вследствие того, что не весь уран успевает при взрыве прореагировать и часть его разбрасывается, фактически энергии выделяется меньше.

Около 80% энергии атомного взрыва выделяется в виде тепла, что является физической причиной чрезвычайно высокой температуры в месте взрыва. Если атомный взрыв происходит в воздухе, то в месте взрыва образуется светящийся огненный шар, температура в центре которого в момент взрыва измеряется миллионами градусов. По истечении 0,0001 секунды шар увеличивается в поперечнике до 25 метров, температура его поверхности в этот момент составляет примерно 300 000 градусов. Яркость его в это мгновение при наблюдении с расстояния в 9 километров примерно в 100 раз больше, чем яркость Солнца в ясный летний день. Мощное световое излучение огненного шара

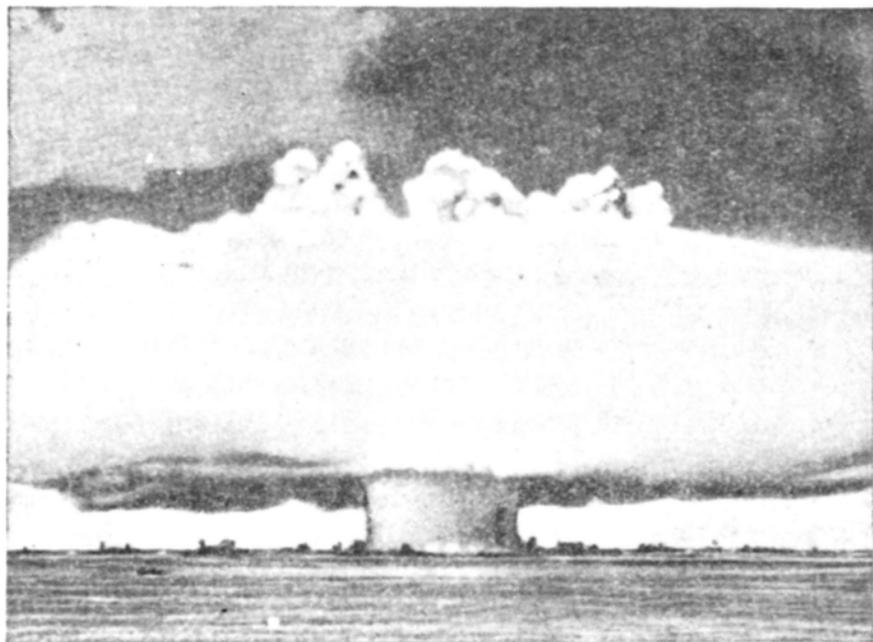
способно зажигать и обугливать различные предметы. Но так как огненный шар, увеличиваясь в размерах, быстро остывает, то свечение его прекращается через несколько секунд.

Высокая температура в огненном шаре обуславливает повышение давления в нем до величины порядка миллионов атмосфер. Высокое давление, образовавшееся в огненном шаре, распространяется во все стороны в виде мощной ударной волны, производящей механические разрушения на своем пути.

Кроме светового излучения и ударной волны, атомный взрыв является источником радиоактивного излучения и проникающей радиации. Радиоактивное излучение, состоящее преимущественно из бета- и гамма-лучей, испускается «осколками» деления, а также за счет искусственной радиоактивности веществ окружающей среды, возбуждаемой нейтронами, получающимися при делении ядер атомов урана 235. Поток нейтронов и гамма-лучей, образующихся в процессе деления атомных ядер, обладающий большой



**Рис. 17.** Общий вид района взрыва атомной бомбы с самолета. На снимке видны образующееся грибовидное облако и волна, распространяющаяся кольцевым фронтом по поверхности моря от места взрыва.



**Рис. 18.** Столб воды и облако взрыва в первый момент их образования при подводном атомном взрыве. Видны кораблямишени.

проникающей способностью, представляет собой **проникающую радиацию (излучение)**. Около 20% энергии атомного взрыва приходится на долю радиоактивного излучения и проникающей радиации.

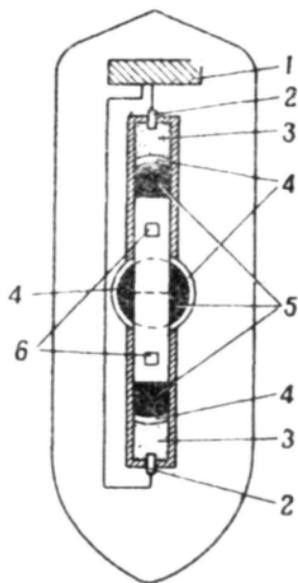
#### **4. Атомная бомба**

В малом куске урана  $^{235}\text{U}$  цепная реакция невозможна, и если даже ее начать, то она все равно тотчас же затухнет, так как большая часть вторичных нейтронов вылетит за пределы куска урана, не успев вызвать новые деления. К тому же часть нейтронов поглощается (захватывается) ядрами атомов примесей и самого урана без деления.

Если размеры куска урана, в котором происходит деление, увеличивать, то относительная потеря нейтронов за счет выхода их наружу уменьшается и при некотором объеме куска наступает момент, когда начавшаяся реакция будет развиваться дальше самостоятельно. **Наименьшее количество урана или плутония, при котором возможна цепная реакция, называется критической массой.** При этой массе один из вторичных нейтронов каждого делящегося ядра обязательно вызывает новое деление. По-

этому-то реакция и сможет протекать в этом случае самостоятельно с постоянной скоростью. При бóльшей массе урана бóльшее число вторичных нейтронов будет вызывать новые деления. Реакция развивается в этом случае весьма эффективно с нарастающей скоростью.

В кусках с массой меньше критической цепная реакция невозможна. Но если взять несколько таких небольших кусочков и соединить в один кусок с массой, превышающей



**Рис. 19.** Принципиальная схема устройства атомной бомбы:

1 — взрывающее устройство, 2 — капсуля-детонатор, 3 — заряд обычного взрывчатого вещества, 4 — отражатель нейтронов, 5 — атомное (ядерное) ВВ, 6 — источник нейтронов.

критическую, то в то же мгновение под действием одного из блуждающих нейтронов начнется цепная реакция и произойдет взрыв. Отсюда нетрудно понять устройство атомной бомбы, принципиальная схема которой представлена на рис. 19. Уран 235 (5) или какое-либо другое ядерное взрывчатое вещество (ядерное ВВ), ядра атомов которого способны делиться под воздействием нейтронов, находится в бомбе в виде нескольких (например, трех) отдельных кусков. Масса каждого куска должна быть меньше критической. Чтобы вызвать взрыв, необходимо быстро соединить все куски урана в единую компактную массу, превышающую критическую. Для этой цели в бомбе имеется специальное взрывающее устройство дистанционного, или ударного, действия 1, которое осуществляет в нужный момент времени с помощью капсулей-детонаторов 2 взрыв обычного взрывчатого вещества 3. Силой этого взрыва

все куски ядерного ВВ быстро соединяются в один кусок, и в тот же момент происходит взрыв атомной бомбы. Чтобы лучше использовать вторичные нейтроны для новых делений, ядерное ВВ в бомбе окружено веществом 4, отражающим нейтроны, вылетающие за пределы заряда ядерного ВВ обратно в зону ядерной реакции. Отражатель нейтронов может быть сделан из графита или легкого металла бериллия. Применением его удастся значительно уменьшить критические размеры заряда ядерного ВВ. Оболочка

атомной бомбы задерживает на некоторое время разлет продуктов цепной реакции, предохраняя части заряда ядерного ВВ от преждевременного разбрасывания, способствуя его использованию в реакции и увеличивая тем самым разрушительное действие бомбы. Кроме того, оболочка отражает нейтроны в зону реакции. Величина критической массы зависит также от формы заряда ядерного ВВ. Наименьшую величину она имеет при шаровой форме, имеющей наименьшую поверхность при заданном объеме.

Для обеспечения безотказности взрыва бомбы в нужный момент времени и возможно более быстрого развития цепной реакции в бомбу можно поместить один или несколько небольших источников нейтронов б.

Атомный заряд из ядерного ВВ с описанным здесь взрывающим устройством может быть использован в минах, торпедах, в артиллерийских снарядах и водородных бомбах.

В качестве ядерного ВВ в атомной бомбе применяются в настоящее время уран 235, плутоний 239 и уран 233, ядра которых способны делиться как под действием быстрых, так и медленных нейтронов.

Уран 235, содержащийся в природном уране в количестве 0,7%, отделяется от основного изотопа урана 238 весьма сложными физическими способами. Процесс разделения изотопов урана отличается большой трудоемкостью и дороговизной. Это объясняется тем, что оба изотопа урана (уран 235 и уран 238) обладают одинаковыми химическими свойствами, и поэтому их разделение простыми химическими методами невозможно. Плутоний 239 получается из основного изотопа урана 238 искусственным путем в так называемых атомных, или ядерных, реакторах (котлах).

Уран 233 также получается с помощью ядерных реакторов.

## 5. Атомный (ядерный) реактор

Выше мы рассказали о том, как получается атомная энергия при делении ядер урана 235. Цепная ядерная реакция с чистым ураном 235, плутонием 239 или с ураном 233 происходит в виде взрыва, при котором вся энергия выделяется в течение миллионных долей секунды. Такой взрыв может быть использован как в военном деле, так и в народном хозяйстве при строительстве каналов и

дорог, добыче каменного угля, руды и других полезных ископаемых открытым способом и в ряде других случаев. Однако для использования атомной энергии в промышленных целях необходимо в большинстве случаев, чтобы энергия выделялась не сразу, а постепенно, с изменяемой по желанию скоростью. Такая управляемая цепная реакция осуществляется в так называемых атомных (ядерных) реакторах, называемых часто «атомными котлами».

Если скорости быстрых нейтронов, образующихся при делении урана 235, уменьшить до тепловых (около 2,4 км/сек), то их способность производить новые деления ядер этого урана резко возрастает. К тому же такие медленные нейтроны почти не захватываются ядрами урана 238. Наличие таких свойств у тепловых нейтронов делает возможным осуществление цепной реакции в природном уране без разделения его изотопов. Для этого необходимо блоки (кирпичики) урана расположить вперемежку с слоями какого-либо легкого вещества, при столкновении с ядрами которого нейтроны замедлялись бы (но не поглощались бы). Медленные нейтроны в большинстве своем будут двигаться в природном уране до тех пор, пока не столкнутся с ядром урана 235 и не произведут его деление. При этих условиях медленные нейтроны обеспечат развитие цепной реакции деления урана 235, несмотря на то, что этого изотопа в уране содержится почти в 140 раз меньше, чем основного изотопа 238. Те же нейтроны, которые все же будут поглощены ураном 238, вызовут превращение его в плутоний 239. Схема цепной реакции с замедлителем в неразделенном уране приведена на рис. 20.

В качестве замедлителя нейтронов применяют тяжелую воду, производство которой дорого, или чистый графит, значительно более доступный и дешевый материал. Скорость реакции с замедлением нейтронов можно регулировать. Для этого применяют так называемые «управляющие стержни» из веществ, хорошо поглощающих нейтроны (металлический кадмий, бористая сталь). Вдвигая или выдвигая такие стержни внутрь объема, занятого ураном с замедлителем, можно изменять число нейтронов, производящих деление, и тем самым замедлять или ускорять ход ядерной реакции.

Такое устройство, в котором практически осуществляется управляемая ядерная реакция с замедлителем, и представляет собой атомный (ядерный) реактор.

Принципиальная схема ядерного реактора, в котором в качестве замедлителя используется графит, представлена на рис. 21. В средней части реактора внутри массы графита 1 расположены стержни из природного урана 2, являющегося ядерным «горючим». Графит с урановыми стержнями окружен отражателем 3, то есть веществом,

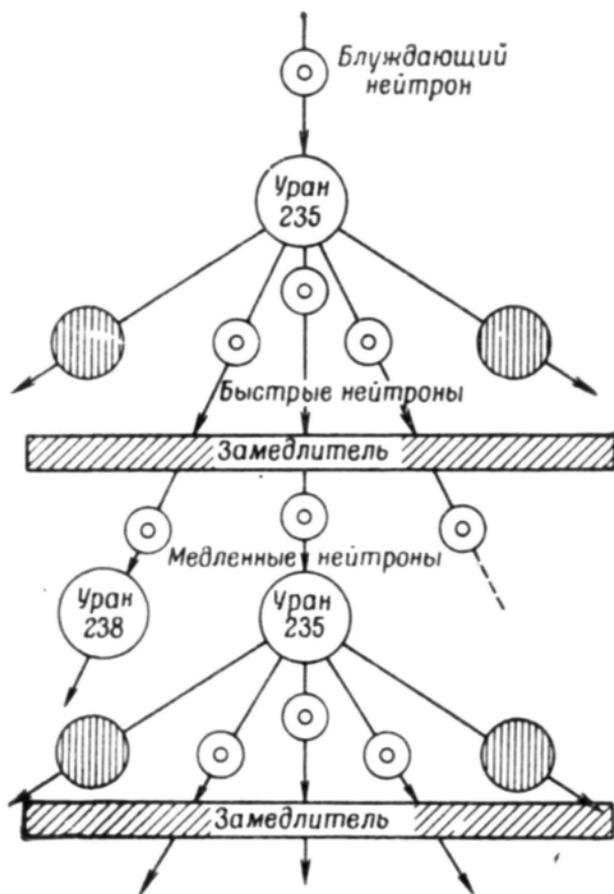


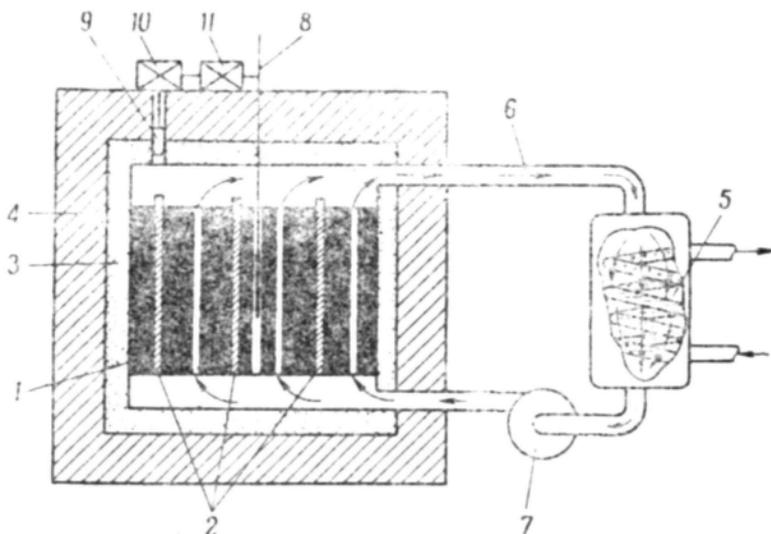
Рис. 20. Схема цепной реакции с замедлителем нейтронов в неразделенном уране.

отражающим нейтроны, движущиеся наружу, и уменьшающим поэтому необходимые для развития цепной реакции «критические» размеры котла. Котел окружен защитной бетонной стенкой 4, предохраняющей обслуживающий персонал от вредного действия радиоактивных излучений.

Так как в результате деления ядер урана 235 в реакторе выделяется огромное количество атомной энергии, превращающейся в теплоту, то для того, чтобы котел не

расплавился, необходимо выделяющееся тепло отводить наружу в теплообменник, или нагреватель, 5.

Для вывода тепла из реактора можно применить воду 6 при давлении 10—15 атмосфер, прогоняя ее насосом 7 по специальным каналам, или какой-либо газ (гелий, углекислый газ и т. п.), или жидкий металл (калий, натрий, свинец и т. д.).



**Рис. 21.** Принципиальная схема атомного (ядерного) реактора:

1 — графит, 2 — уран, 3 — отражающая оболочка, 4 — защитная бетонная стенка, 5 — теплообменник, 6 — вода или газ, 7 — насос, 8 — управляющий стержень, 9 — ионизационная камера, 10 — усилитель тока ионизационной камеры, 11 — электромоторы.

Применение для отвода тепла газов или расплавленных металлов позволяет получать в теплообменнике более высокую температуру. Чем выше температура в теплообменнике, тем больше будет коэффициент полезного действия установки, использующей тепло реактора. Современные реакторы работают при температуре 250—600 градусов.

Управление работой атомного реактора, то есть ускорение либо замедление протекающей в нем цепной реакции, производится управляющими стержнями 8 автоматически. Контроль за работой реактора осуществляется с помощью особой ионизационной камеры 9, снабженной соответствующим усилителем 10. Когда в реакторе образуется нейтронов больше, чем нужно, и реакция начинает ускоряться, камера сама включает электромоторы 11, ко-

торые выдвигают управляющие стержни. Реакция начинает идти медленнее. Если реакция начинает протекать медленнее, чем нужно, стержни автоматически выдвигаются.

Время от времени уран из реактора удаляется и из него выделяется накопившийся там плутоний 239, который может быть использован для цепной реакции взрывного типа. Остановка реактора, необходимая для этого, осуществляется с помощью тех же управляющих стержней, путем их полного введения внутрь реактора, или дополнительных таких же стержней, специально предназначенных для этой цели (аварийных, или стоп-стержней).

Выводимое из реактора тепло может быть использовано в нагревателе для образования пара высокого дав-

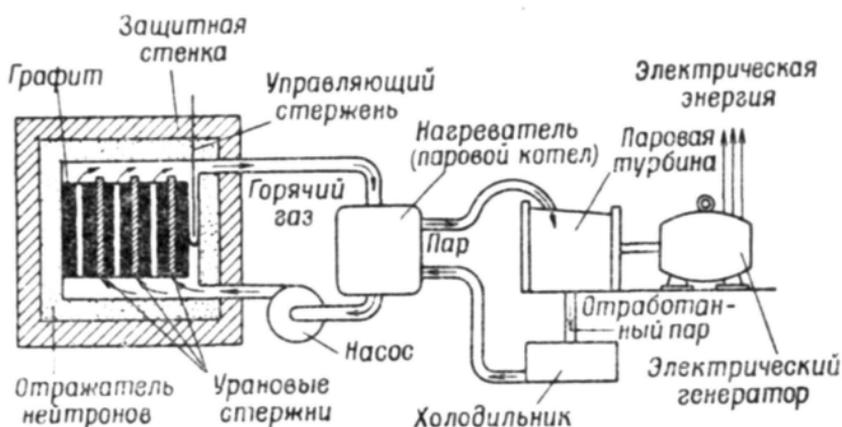


Рис. 22. Принципиальная схема атомной электростанции.

ления, силой которого приводится в движение турбина, вращающая электрический генератор. По описанной здесь схеме атомная энергия используется на атомной электростанции (рис. 22). Атомный реактор, в котором делилось бы в сутки около 400 граммов урана 235, способен развивать мощность около 400 000 киловатт, что примерно равно мощности Днепровской гидроэлектростанции. Коэффициент полезного действия силовых установок с атомным реактором достигает, судя по литературным данным, 30%. Первая в мире атомная электростанция мощностью в 5 тысяч киловатт успешно работает в Советском Союзе с лета 1954 года.

На рис. 23 показано устройство французского атомного реактора с тяжелой водой в качестве замедлителя. Этот

реактор построен в 1948 году под руководством Ф. Жолио-Кюри. Он представляет собой большой сосуд, наполненный тяжелой водой. В воду опущены урановые стержни. Тяжелая вода является в этом реакторе замедлителем и служит в то же время для отвода тепла из реактора в теплообменник, где она нагревает обычную воду.

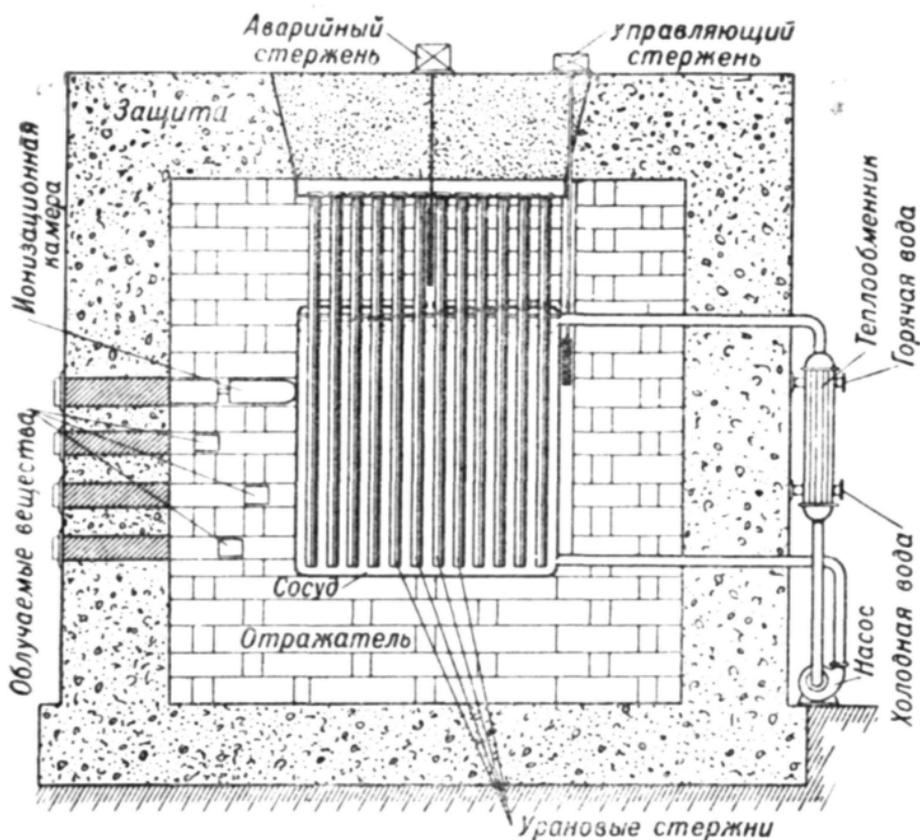


Рис. 23. Схема устройства атомного реактора с тяжелой водой.

Ядерный реактор может служить не только для получения атомной энергии, но и для производства искусственных радиоактивных веществ. Радиоактивные изотопы химических элементов средней части периодической системы Менделеева получаются в реакторах в результате деления ядер урана. Кроме того, если в защитной стенке реактора сделать каналы и помещать в них различные вещества (облучаемые вещества на рис. 23), то в результате облучения нейтронами многие из них также становятся радиоактивными.

Одновременно с этим урановый реактор может служить также для производства плутония из урана 238. Если в качестве горючего для реактора взять уран с более богатым содержанием изотопа 235, чем это имеется у природного урана, то в процессе работы реактора количество образующегося плутония может превзойти количество расходуемого урана 235. В результате общее количество материала, способного делиться (расщепляться), будет в таком реакторе увеличиваться.

Реактор используется также для производства урана 233. Металлический торий, вводимый в реактор, превращается под действием нейтронов в уран 233.

## 6. Термоядерная реакция. Водородная бомба

С помощью термоядерной реакции с водородом реализуется второй возможный путь получения атомной (ядерной) энергии. В этой реакции осуществляется слияние ядер водорода в более тяжелые ядра гелия.

Как известно<sup>1</sup>, ядерные силы притяжения имеют огромную величину лишь на очень малых расстояниях между ядерными частицами. Максимальное расстояние, на котором ядерные силы еще оказывают свое действие, составляет величину порядка  $7 \cdot 10^{-13}$  сантиметров. С уменьшением расстояния ядерные силы резко возрастают и становятся во много раз больше сил электрического отталкивания между одноименно заряженными частицами. Поэтому если два легких ядра сблизить настолько, чтобы расстояние между ними стало меньше этой величины, то ядерные силы, преодолевая электрическое отталкивание, заставят ядра сблизиться дальше до полного слияния и образования нового, более тяжелого ядра.

Как заставить ядра сблизиться настолько тесно, чтобы ядерные силы вступали в действие и образовывали более тяжелые ядра?

Для этого можно воспользоваться извечным тепловым движением частиц вещества. Тепловым движением называется непрерывное и беспорядочное по направлению и скорости движение частиц вещества (молекул, атомов, ядер, электронов и т. д.). Чем выше температура вещества, тем больше скорость частиц его, тем чаще сталкиваются

<sup>1</sup> См. стр. 37.

частицы между собой. При обычных температурах, при которых мы живем, средняя скорость теплового движения молекул азота воздуха составляет 0,5 км/сек, водорода — около 1,8 км/сек.

При таких температурах сближение атомных ядер до слияния невозможно. Это объясняется исключительно тем, что энергии теплового движения ядер при таких скоростях недостаточны для преодоления сил электрического отталкивания между ядрами.

Чтобы преодолеть электрическое отталкивание, необходимы значительно более высокие скорости, чего можно достичь нагреванием вещества. При температуре 30 000 градусов скорость молекул водорода достигает приблизительно 18 км/сек, а при температуре 3 миллиона градусов — 180 км/сек.

Начиная с температуры в 400 тысяч градусов отдельные ядра водорода будут обладать скоростями, достаточными для слияния. При температуре, измеряемой миллионами и десятками миллионов градусов, уже большинство столкновений между ними ведет к тесному соприкосновению и ядерным превращениям. Еще более высокая температура потребуется для осуществления слияния атомных ядер более тяжелых элементов, имеющих больший электрический заряд. Это объясняется тем, что с увеличением заряда ядер возрастает сила электрического отталкивания между ними.

Как видим, для осуществления термоядерных реакций нужны чрезвычайно высокие температуры. Поэтому практическое осуществление термоядерных реакций стало возможным лишь после овладения цепными реакциями деления тяжелых ядер. **Необходимые для начала термоядерной реакции сверхвысокая температура и давление получают с помощью атомного взрыва.** Атомный взрыв вызывает (инициирует) термоядерную реакцию с водородом, протекающую в форме так называемого **теплового взрыва.** Заряд атомного взрывчатого вещества (урана или плутония) является здесь как бы капсюлем-детонатором для водородного заряда.

Осуществление термоядерной реакции облегчается тем, что при температуре, измеряемой миллионами градусов, атомы оказываются полностью ионизированными. Поэтому водород при такой температуре состоит из атомных ядер, лишенных электронной оболочки, и свободных элек-

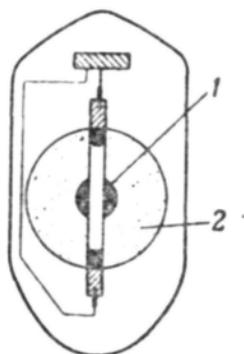
тронов, находящихся в интенсивном тепловом движении. В этих условиях частицы водорода не расходуют своей энергии на ионизацию и могут при достаточном сближении сразу вступать в ядерные реакции.

Тепловые взрывы в случае химических процессов были изучены Н. Н. Семеновым еще более двух десятков лет тому назад. Такие взрывы происходят в некоторых химически сложных веществах, в которых скорость реакции, сопровождающейся значительным выделением тепла, сильно увеличивается с ростом температуры. Примером таких веществ являются различные пороха, смесь паров бензина с воздухом при сильном сжатии и т. п. В таких веществах с началом химической реакции и выделением первых порций тепла начинает повышаться температура. Это ведет к ускорению реакции: количество выделяющегося тепла возрастает, а следовательно, возрастает и температура. Процесс настолько быстро развивается, что происходит взрыв, который называют тепловым взрывом.

Аналогично этому протекает и термо-ядерная реакция с водородом. Атомный взрыв дает начало реакции синтеза ядер гелия из водорода. От этого в свою очередь выделяется теплота и повышается без того высокая температура. Скорость термо-ядерной реакции и количество выделяющегося тепла резко увеличиваются, что в свою очередь ведет к дальнейшему лавинообразному ускорению реакции.

В конечном счете происходит взрыв водородного заряда.

Подобным образом действует водородная бомба, принципиальная схема которой представлена на рис. 24. В центре корпуса бомбы помещается атомный заряд *1*, окруженный водородом *2*, со всеми приспособлениями для взрыва его<sup>1</sup>. Атомный заряд состоит из нескольких кусков ядерного взрывчатого вещества, каждый из которых имеет величину меньше критической. Если взорвать этот заряд в нужный момент времени, то произойдет атомный взрыв, в результате которого получится высокая температура.



**Рис. 24.** Принципиальная схема устройства водородной бомбы:

*1* — атомный заряд с взрывающим устройством,  
*2* — водород (дейтерий и тритий).

<sup>1</sup> См. стр. 58.

Под действием этой температуры начинается термоядерная реакция синтеза гелия из водорода.

Величина водородного заряда ничем принципиально не ограничена: она может быть малой и сколь угодно большой. Для водородного заряда не существует критических размеров и критической массы.

Для эффективного протекания термоядерной реакции, кроме высокой температуры, требуется также высокая плотность водорода. Чем больше водорода заключено в данном объеме, тем больше в нем будет атомов и тем чаще, следовательно, будут сталкиваться ядра между собой, тем чаще будут образовываться ядра гелия с выделением соответствующей энергии.

При температурах порядка миллионов градусов, создаваемых атомным взрывом, синтез гелия происходит наиболее эффективно из тяжелого и сверхтяжелого водорода (дейтерия и трития). Ядра дейтерия и трития, сталкиваясь

между собой, образуют новое и притом возбужденное ядро, которое тотчас же превращается обычно в ядро гелия, испуская нейтрон. Схема подобного процесса образования ядер гелия из водорода представлена на рис. 25.

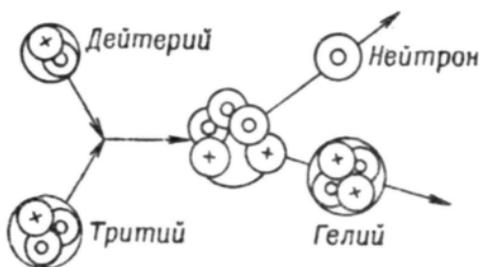


Рис. 25. Образование ядра гелия из ядер водорода (дейтерия и трития).

Высокая плотность реагирующей смеси может быть достигнута либо путем применения сильно сжатых газов, либо использованием химических соединений изотопов водорода с другими веществами. Последний путь представляется более вероятным. Наиболее простым и доступным соединением водорода является тяжелая и сверхтяжелая вода, в виде которой можно вводить в бомбу дейтерий и тритий. У тяжелой воды молекулы построены по обычной формуле химии из двух атомов дейтерия и одного атома кислорода, у сверхтяжелой воды — из двух атомов трития и также одного атома кислорода.

Водород может вводиться в бомбу также в виде твердого соединения с металлом — в виде, например, гидрида лития либо гидрида урана или плутония.

Необходимый для водородной бомбы дейтерий содержится в природном водороде в количестве от 0,01 до 0,02%. Выделение дейтерия из природных соединений водорода освоено и является сравнительно простым делом. Тритий в достаточных количествах в природе отсутствует и получается искусственным путем в ядерных реакторах. Производство трития является сложным и дорогим процессом.

Реакция синтеза гелия из дейтерия и трития отличается большой скоростью и при температуре в 20 миллионов градусов протекает меньше чем за одну миллионную долю секунды. Величина выделяющейся при этой реакции энергии выше подсчитана<sup>1</sup>. Она равна 100 миллионам килокалорий на каждый грамм гелия, что примерно в 5 раз больше той энергии, которая выделяется при полном делении грамма урана или плутония.

Если учесть, что вес заряда ядерного ВВ водородной бомбы ничем принципиально не ограничен, потому что водородное ядерное горючее не имеет критической массы, как плутоний или уран, то нетрудно будет понять, что мощность взрыва водородной бомбы может оказаться в тысячи раз большей, чем мощность взрыва атомной бомбы.

Возможен синтез гелия из водорода, связанный с так называемым углеродно-азотным циклом Бёте. Цикл, то есть цепь реакций, последовательно протекающих одна за другой, начинается реакцией углерода с протонами и ведет в конечном счете к образованию одного ядра гелия из четырех протонов с испусканием двух позитронов. На последнем этапе этого цикла углерод вновь возрождается полностью.

Такого типа термоядерные реакции происходят, по данным современной науки, в центре Солнца и многих звезд. Для этого там имеются все необходимые условия. Температура в центре, например, Солнца достигает 20 миллионов градусов, давление — около 100 миллиардов атмосфер. Водорода в составе Солнца много, не менее одной трети (по весу), имеется также и углерод (около 1%).

Синтез гелия из водорода в недрах Солнца и звезд происходит очень медленно, но в грандиозных масштабах. Именно поэтому Солнце излучает огромное количество

---

<sup>1</sup> См. стр. 45—46.

энергии на протяжении многих миллиардов лет. Каждую секунду Солнце излучает столько энергии, сколько ее может выделиться при полном сгорании 12 000 000 миллиардов тонн угля.

Термоядерные реакции с водородом, непрерывно происходящие внутри Солнца и большинства звезд, служат основным источником энергии этих светил. Таким образом, энергия солнечного света, являющаяся источником всей жизни на Земле, представляет собой прямой результат освобождения атомной (ядерной) энергии.

## 7. Атомный электрический элемент

Расскажем в заключение еще об одной возможности получения атомной энергии, связанной с использованием радиоактивных веществ, получающихся в большом количестве в атомных реакторах.

Радиоактивные изотопы, испускающие альфа- или бета-частицы, могут быть использованы для создания атомных электрических элементов, то есть источников электрической энергии, в которых атомная энергия распадающихся ядер частично превращается непосредственно в электрическую. Атомный реактор оказывается в этом случае излишним.

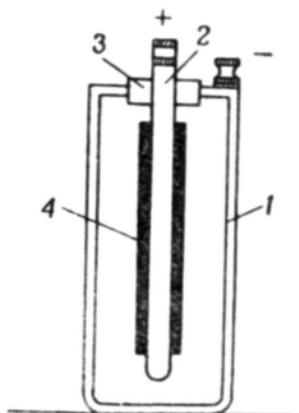


Рис. 26. Схема устройства атомного электрического элемента:

1 — металлический корпус, 2 — внутренний электрод, 3 — изолятор (кварц или янтарь), 4 — радиоактивный изотоп.

Устройство такого элемента можно представить себе следующим образом (рис. 26). Внутри металлического корпуса 1 вводится электрод 2, изолированный кварцем или янтarem 3 и покрытый тонким слоем какого-либо радиоактивного изотопа 4. Воздух из такого устройства выкачивается. Если изотоп испускает, на-

пример, бета-частицы, то внутренний электрод 2, теряя отрицательный заряд, будет заряжаться положительно, а внешний электрод (корпус) — отрицательно. По мере накопления зарядов на электродах такого элемента напряжение будет увеличиваться и достигнет большой величины. Сила тока, даваемого одним таким элементом, очень

мала и имеет величину порядка миллиардных долей ампера. Но так как сила тока пропорциональна количеству изотопа в элементе, то, взяв большое количество изотопа и соединив несколько таких элементов параллельно в батарею, можно получить от нее значительно больший ток.

Такие высоковольтные батареи могут найти применение для питания маломощных высоковольтных цепей в различной радиотехнической аппаратуре, где для этой цели обычно применяют довольно сложные и громоздкие установки.

Интересно отметить, что такая батарея может действовать без зарядки (без смены радиоактивного изотопа) длительное время, измеряемое в некоторых случаях десятками лет.

---

---

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**М**ы рассказали о том, как в настоящее время получается атомная энергия. Сырьем для ее получения служат уран, торий и водород. Расчеты показывают, что запасы урана и тория на Земле могут дать энергии примерно в 20 раз больше, чем все известные мировые запасы нефти, каменного угля и природных горючих газов, вместе взятые. Если к этому прибавить практически безграничные запасы водорода для термоядерных реакций, то станет понятным, какое обилие энергии для нужд человека может быть создано на основе использования энергии атомного ядра. Именно поэтому овладение атомной энергией раскрывает человечеству невиданные ранее возможности грандиозного роста производительных сил и общественного богатства.

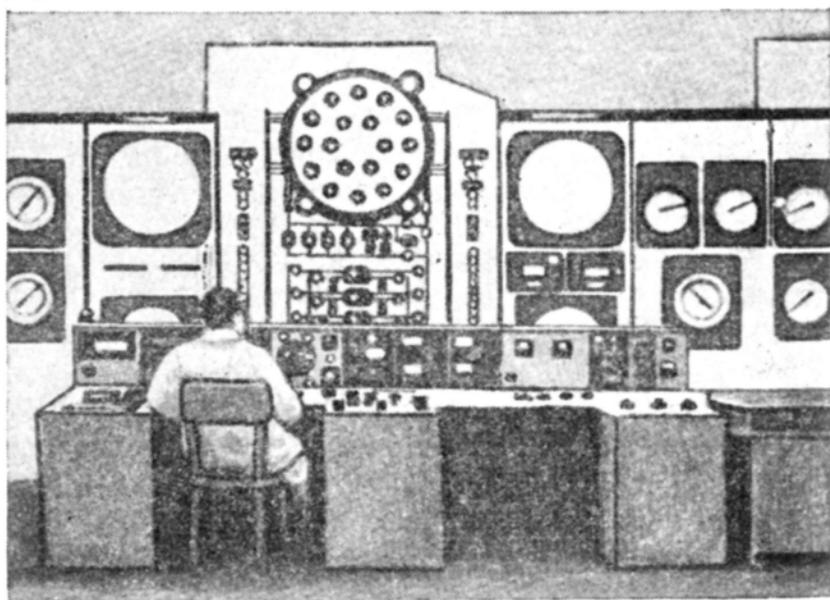
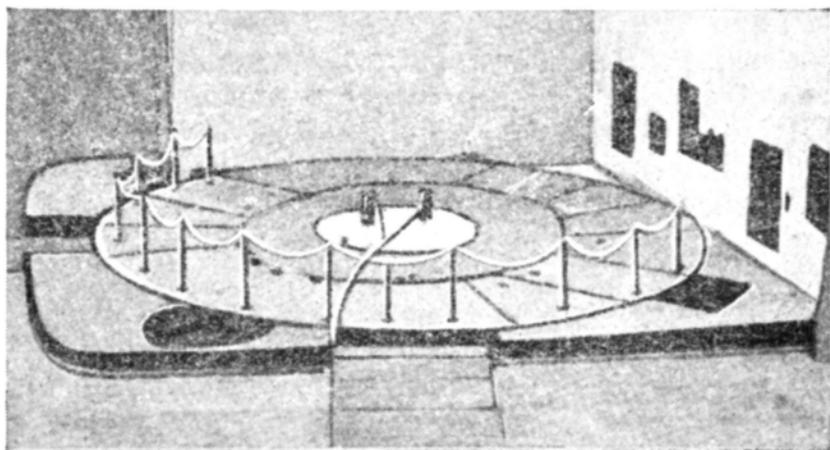
Однако эти огромные возможности по-разному используются в Советском Союзе и в капиталистических странах. Правящие круги капиталистических стран направляют усилия ученых на разработку средств массового уничтожения людей, рассматривая разбойничью, захватническую войну как самое доходное предприятие для получения капиталистическими монополиями максимальных прибылей.

Факты показывают, что правящие круги США не только поставили атомную энергию на службу военным целям, но и занялись разработкой конкретных планов подготовки атомной войны. Провокационными разговорами о мнимой «советской опасности» они рассчитывают отвлечь внимание американского народа, и особенно народов Западной Европы, от действительной опасности.

которую несут им авантюристические планы атомной войны. Под фальшивой ширмой «защиты западной цивилизации» они ставят под угрозу само существование западноевропейских стран с их малой территорией, густым населением и крупными промышленными центрами, а также подвергают серьезной опасности и Соединенные Штаты.

Советский Союз последовательно борется за то, чтобы навсегда избавить человечество от опасности атомной войны и открыть путь для самого широкого использования атомной энергии в мирных целях. Хотя Советский Союз в целях защиты мирного труда и жизни своих народов должен был обеспечить себя атомным и водородным оружием, советские ученые и инженеры настойчиво работают над тем, чтобы заставить атомную энергию служить мирным целям. В результате их самоотверженной работы в июне 1954 года в Советском Союзе была пущена в эксплуатацию первая промышленная электростанция на атомной энергии, которая дала электрический ток для промышленности и сельского хозяйства прилегающих районов. Советский Союз намного опередил все страны мира в деле мирного использования атомной энергии, что свидетельствует о высоком уровне развития советской науки и техники.

Стремясь содействовать развитию международного сотрудничества в области использования атомной энергии в мирных целях, Советское правительство выразило 15 января 1955 года готовность передать другим странам соответствующий научно-технический опыт, накопленный в Советском Союзе о работе первой промышленной атомной электростанции. 18 января 1955 года было объявлено, что Советское правительство решило оказать научно-техническую и производственную помощь другим государствам в создании научно-экспериментальных баз для развития исследований в области ядерной физики и использования атомной энергии для мирных целей. Советское правительство в апреле 1955 года подписало Соглашения с Китайской Народной Республикой, Польской Народной Республикой, Чехословацкой Республикой, Румынской Народной Республикой и Германской Демократической Республикой об оказании им всесторонней помощи в проектировании, поставке оборудования, постройке экспериментальных атомных котлов и ускорителей эле-



---

---

**Рис. 27.**

В Советском Союзе с 27 июня 1954 года действует первая промышленная электростанция на атомной энергии полезной мощностью 5000 киловатт. Пуском этой электростанции, спроектированной советскими учеными и инженерами, был сделан первый реальный шаг в деле использования атомной энергии.

В здании Атомной электростанции Академии наук СССР (снимок сверху) установлен атомный котел (реактор), где происходит расщепление ядер атомов урана.

Как видно по диаметру верхней части атомного котла (снимок в центре), он имеет небольшие размеры. Атомный котел расположен за мощной бетонной защитой, предохраняющей персонал станции от воздействия радиоактивного излучения. Впервые промышленная турбина работает не за счет сжигания угля и других видов топлива, а за счет атомной энергии.

Управление атомным котлом и всеми другими агрегатами станции производится с общего пульта управления (на снимке внизу — центральная часть пульта управления).

ментарных частиц. Этим странам будет выделено необходимое количество расщепляющихся материалов для атомных котлов и для научно-исследовательских работ.

Научно-техническая и производственная помощь Советского Союза этим государствам в деле развития исследований по использованию атомной энергии для мирных целей даст им возможность широко развернуть научно-исследовательскую работу в области ядерной физики, получать на экспериментальных атомных котлах достаточное количество радиоактивных изотопов для использования их в медицине, биологии и различных областях науки и техники.

Ученые и инженеры этих стран будут иметь возможность ознакомиться с научно-исследовательскими работами, проводимыми в СССР в области использования атомной энергии в мирных целях.

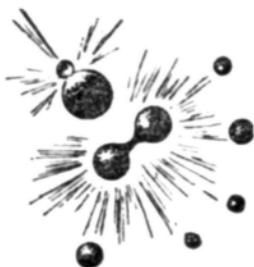
Советское правительство приняло решение о расширении круга стран, которым СССР также сможет оказать содействие и помощь в развитии научно-экспериментальных работ в области мирного использования атомной энергии.

Таким образом, в использовании атомной энергии с предельной отчетливостью выявились две политики, два пути. Один путь — это опасный путь подготовки атомной войны. По этому пути идут правящие круги США, ведущие бешеную гонку атомных вооружений. Другой путь прокладывает Советский Союз. Это путь мира и использования атомной энергии в мирных целях, для всестороннего развития экономики и культуры народов. В отличие от американского правительства, предпочитающего отделяться словесными заявлениями о мирном использовании атомной энергии, а на деле готовиться к атомной войне, Советское правительство конкретными практическими мерами содействует использованию атомной энергии в мирных целях. Советский Союз является родиной атомной электростанции и «атомного света», тогда как родиной атомной бомбы являются США.

Народы всего мира решительно отвергают авантюристические планы атомной войны, подготовляемые американской военщиной. Народы всего мира единодушно поддерживают благородную борьбу Советского Союза за запрещение атомного и водородного оружия, борьбу за то, чтобы овладеть могучей энергией атомного ядра и поста-

вить ее на службу миру и прогрессу, во имя блага и счастья человека.

Мирный труд советского народа, строящего коммунизм, надежно охраняют воины Советской Армии и Военно-Морского Флота, успешно овладевающие новейшей военной техникой и новым оружием. Советское государство обеспечивает свои Вооруженные Силы всеми видами современного вооружения и боевой техники, что является грозным предупреждением всякому агрессору, который попытается развязать новую войну против Советского Союза.



## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение . . . . .	3
I. Атом и атомное ядро . . . . .	7
1. Что такое атом . . . . .	—
2. Размеры и вес атома . . . . .	8
3. Великий закон природы . . . . .	9
4. Строение атома . . . . .	11
II. Радиоактивность . . . . .	15
1. Что такое радиоактивность . . . . .	—
2. Свойства радиоактивных излучений . . . . .	16
3. Природа радиоактивности . . . . .	19
4. Основной закон радиоактивного распада . . . . .	22
5. Измерение радиоактивных излучений . . . . .	26
III. Строение атомного ядра . . . . .	33
1. Состав атомного ядра . . . . .	—
2. Атомы-изотопы . . . . .	36
3. «Капельная» модель ядра . . . . .	37
IV. Атомная энергия . . . . .	38
1. Закон сохранения материи и ее движения . . . . .	—
2. Что такое атомная энергия . . . . .	41
3. Возможные пути получения атомной энергии . . . . .	42
V. Ядерные реакции . . . . .	46
1. На пути овладения ядерными реакциями . . . . .	—
2. Деление тяжелых ядер . . . . .	51
3. Цепная реакция деления тяжелых ядер. Атомный взрыв . . . . .	54
4. Атомная бомба . . . . .	57
5. Атомный (ядерный) реактор . . . . .	59
6. Термоядерная реакция. Водородная бомба . . . . .	65
7. Атомный электрический элемент . . . . .	70
Заключение . . . . .	72

## К ЧИТАТЕЛЯМ!

Военное Издательство просит присылать свои отзывы и замечания на книги «Научно-популярной библиотеки солдата и матроса» по адресу: Москва, 104, Тверской бульвар, 18, Управление Военного Издательства

**Виктор Александрович Михайлов**  
«Физические основы получения атомной энергии»

Редактор *Я. М. Кадер*

Консультанты издательства доцент, кандидат технических наук *М. Г. Мкртычев*

и кандидат технических наук *И. А. Науменко*

Художественный редактор *А. М. Голикова*

Обложка художника *С. А. Митрофанова*

Технический редактор *Н. З. Левинская*

Корректор *Л. А. Болдина*

Сдано в набор 19.2.55 г.

Подп. к печати 13.5.55 г.

Формат бумаги  $84 \times 108 \frac{1}{32}$  — 2,5 печ. л. = 4,1 усл. печ. л. + 1 вклейка

$\frac{1}{8}$  печ. л. = 0,205 усл. печ. л. 3,963 уч.-изд. л.

Г-14534

Военное Издательство Министерства Обороны Союза ССР  
Москва, Тверской бульвар, 18.

Изд. № 1/7251.

Зак. 174.

7-я типография Управления Военного Издательства  
Министерства Обороны Союза ССР

Цена 1 руб. 20 коп.