

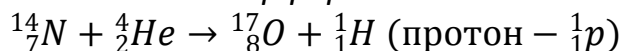
РАЗДЕЛ-4**БЛОК - 13****БЛОК-13****ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА**

Содержание опорного конспекта	Стр. №	Параграфы учебника	Лист - 13
ОК – 11.13.62	17	§102,103,112	1 - 11
1.Строение атомного ядра			
2.Изотопы			
ОК – 11.13.63	18	§104,105,106	12 - 27
1.Ядерные силы			
2.Энергия связи атомных ядер			
3.Ядерные реакции			
ОК – 11.13.64	19	§107,108	28 - 33
1.Деление ядер урана			
2.Цепная ядерная реакция			
ОК – 11.13.65	20	§109,110,111	34 - 41
1.Ядерный реактор			
2.Термоядерные реакции			
ОК – 11.13.66	21	§113	42 - 47
1.Биологическое действие радиоактивных излучений			
2.Доза излучения			
ОК – 11.13.67	22	§114,115	48 - 62
1.Элементарные частицы			
2.Типы взаимодействия			

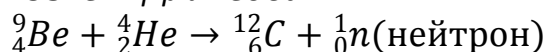
ОК – 11.13.62

СТРОЕНИЕ АТОМНОГО ЯДРА

1. Открытие протона – 1919г. – Э.Резерфорд



2. Открытие нейтрона – 1932г. – Дж.Чедвик



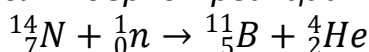
Нейтрон: - нестабильная частица ($n \rightarrow p + e + \text{нейтрино}$) – 15мин

- q отсутствует

- $m = 2,5m_e$

- не ионизирует воздух

- «могучее оружие» для ядерных реакций



3. Строение атомного ядра – 1932г.

Д.Иваненко и В.Гейзенберг – протонно-нейтронная модель

Ядро = Нуклоны = Протоны + нейтроны

$$\mathbf{A = N + Z;}$$

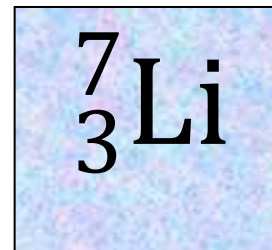
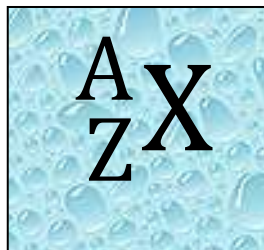
A – массовое число

Z – число протонов (порядковый номер)

N – число нейтронов ($N=A-Z$)

$$M_{\text{я}} = Zm_p + Nm_n$$

$$q_{\text{я}} = Zq_p$$



4. Изотопы – одинаковые Z , различны N и A

q – одинаковый – одинаковые химические свойства

N – разное – разные физические свойства

Имеются у всех элементов

Примеры:

1. Кислород – 3

2. Свинец – 10

3. Уран – 10

4. Водород – 3

5. Золото – 37

Применение в медицине:

1. Исследование обмена веществ

2. Исследование кровообращения

3. Лечение базедовой болезни

4. Лечение раковых заболеваний

Получают в атомных реакторах и на ускорителях

1. Искусственное превращение ядер

Первое искусственное превращение ядер было осуществлено Резерфордом **в 1919г.** Резерфорд обнаружил, что для разрушения или преобразования ядер нужна большая энергия. Наиболее подходящими носителями большой энергии в то время были α -частицы.

Первым ядром, подвергшимся искусственному превращению, было ядро азота. При бомбардировке Резерфорд обнаружил появление протонов - ядер атома водорода. При этом ядро азота превращалось в ядро изотопа кислорода.

Другими учеными были обнаружены превращения под влиянием α -частиц - ядер фтора, натрия, алюминия и других.

Ядра элементов конца таблицы Менделеева не испытывали превращений, большой электрический заряд не позволял - частице приблизиться к ядру.

В 1920г. Резерфорд высказал предположение, что должна существовать частица с массой, равной массе протона, но не имеющая электрического заряда. Но обнаружить такую частицу Резерфорду не удалось.

Спустя 10 лет немецкие ученые Боте и Беккер заметили, что при бомбардировке α -частицами бериллия возникают какие-то лучи с огромной проникающей способностью, они проходили сквозь толстые слои свинца, почти не ослабляясь. Боте и Беккер решили, что обнаружили очень жесткие лучи (предположили, что это γ -лучи).

В 1932г. Фредерик и Ирен Жолио-Кюри решили изучить это излучение и обнаружили, что эти лучи почти не ионизируют воздух, через который они проходят.

2. Открытие нейтрона

В 1932г. английский ученый Чедвик (сотрудник лаборатории Резерфорда) выдвинул гипотезу, согласно которой вылетают не γ -лучи, а поток особых частиц, лишенных электрических зарядов и по размеру и массе близких к протонам. Эти частицы он назвал **нейтронами**.

Нейтрон при прохождении через вещество не теряет своей энергии на ионизацию атомов этого вещества. *Этим объясняется огромная проникающая способность.*

По этой же причине нельзя непосредственно обнаружить нейтроны в камере Вильсона. Но если нейтрон столкнется с ядром атома, например, с протоном, то последний при этом получит большую кинетическую энергию, а значит, способность ионизировать атомы. Таким образом, и был обнаружен нейтрон.

Нейтрон нестабильная частица: свободный нейтрон за 15 мин распадается на протон, электрон и нейтрино-частицу, лишенную массы покоя.

Нейтрон не имеет электрического заряда. Его масса больше массы протона на 2,5 электронной массы.

Нейтроны могут быть использованы для превращения элементов. Таким образом, ученые получили в руки новое «могучее оружие» воздействия на ядра атомов.

3. Строение ядра атома

В 1932г. после открытия нейтрона, советские ученые Иваненко и Гапон, и немецкий физик Гейзенберг предложили протонно-нейтронную модель ядра атома. Согласно этой модели:

- ядра всех элементов состоят из протонов и нейтронов,
- масса ядра равна сумме масс протонов и нейтронов,
- заряд ядра обусловлен только протонами,
- число протонов в ядре равно порядковому номеру элемента,
- число нейтронов равно разности между атомной массой и числом протонов.

4. Изотопы

Изучение радиоактивности показало, что в природе встречаются атомные ядра с одинаковыми зарядами **Z**, но с различными массовыми числами **A**. Английский ученый Содди предложил называть ядра с одинаковыми **Z** и различными **A** изотопами.

Эти элементы помещают в одну и ту же клетку таблицы Менделеева. В 1912г. Томсон, исследуя лучи в трубке, заполненной неоном обнаружил атомы неона двух типов. Это доказывало, что изотопы могут быть не только у радиоактивных веществ.

Из-за одинакового заряда ядра - атомы разных изотопов одного химического элемента имеют одинаковое строение электронных оболочек (число электронов у них одинаково) и поэтому они обладают *одинаковыми химическими свойствами*.

Из-за разного числа нейтронов - ядра различных изотопов одного химического элемента обладают разными массами и могут отличаться *по физическим свойствам*, например, по способности к радиоактивному распаду.

Дальнейшие исследования показали, что изотопы имеются у всех химических элементов.

Например:

1) у кислорода имеется три стабильных изотопа,

2) у олова - десять стабильных изотопов,

3) изотопы есть у самого тяжелого в природе элементов урана. Изучение их свойств позволило осуществить практическое использование ядерной энергии. Наиболее важны изотопы урана-235 и урана-238. Добываемый из руды уран в основном состоит из смеси двух этих изотопов, причём на долю урана-238 приходится около 99,3%, а на долю второго - 0,7%.

4) изотопы есть и у самого легкого элемента - водорода. Кроме изотопа водорода ${}^1_1\text{H}$ существует тяжелый водород, атомные ядра которого состоят из одного протона и одного нейтрона. Атом с таким ядром получил название **дейтерий** ${}^2_1\text{D}$. Вода, в молекуле которой вместо атома водорода находится дейтерий, называется **тяжелой водой** D_2O .

Небольшое число молекул D_2O всегда имеется в природной воде (0,01%). Температура кипения тяжелой воды **101°C**, а отвердевания **3,8°C**

Биологические процессы в тяжелой воде протекают, иначе, чем в обычной, поэтому она не пригодна для питания. На организм действует угнетающе, в больших дозах вызывает гибель. Выделение тяжелой воды представляет довольно трудную задачу.

Применяется тяжелая вода в ядерных реакторах, как замедлитель нейтронов и одновременно как теплоноситель.

Имеется и третий изотоп водорода - **тритий** ${}^3_1\text{T}$, ядро которого состоит из двух протонов и двух нейтронов. Тритий *бета* - радиоактивен с периодом полураспада около 12 лет.

5) известны 37 изотопов золота с массовыми числами от 169 до 206. Единственным стабильным изотопом является ${}^{197}_{79}\text{Au}$. Таким образом, природное золото является практически изотопно-чистым элементом. Изотоп ${}^{197}_{79}\text{Au}$ является самым долгоживущим из радиоактивных изотопов золота с периодом полураспада 186 суток.

Получение и применение радиоактивных изотопов

С помощью ядерных реакций получены радиоактивные изотопы всех химических элементов. Приготавливаются радиоактивные изотопы в атомных реакторах и на ускорителях элементарных частиц.

Широкое применение радиоактивные изотопы нашли в медицине.

1) Одно из применений это исследование обмена веществ. Было доказано, что за сравнительно короткое время организм подвергается почти полному обновлению. Слагающие его атомы заменяются новыми. Лишь железо является исключением. Железо входит в состав гемоглобина. При введении в пищу радиоактивных атомов железа было обнаружено, что они почти не поступают в кровь. Только в том случае, когда запасы железа в организме иссякают, железо начинает усваиваться организмом.

2) Радиоактивный натрий, вводимый в небольших количествах в кровь, используется для исследования кровообращения.

3) Йод интенсивно отлагается в щитовидной железе особенно при базедовой болезни. Наблюдая с помощью счетчика за отложением радиоактивного йода, можно быстро поставить диагноз.

Большие дозы радиоактивного йода вызывают частичное разрушение аномально развивающихся тканей и поэтому радиоактивный йод используется для лечения базедовой болезни.

4) Интенсивное *гамма* - излучение кобальта используется при лечении раковых заболеваний.

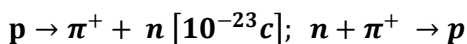
ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ

ОК – 11.13.63

-силы, действующие между протонами и нейтронами в ядре и обеспечивающие существование устойчивых ядер

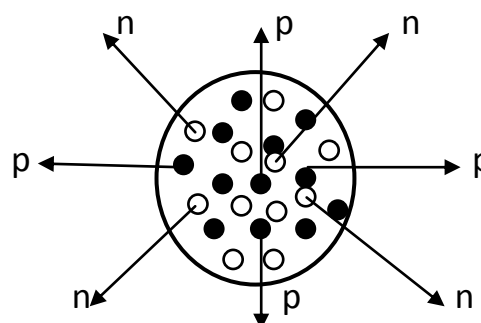
Свойства ядерных сил: - 1. в 100 раз больше кулоновских,
2. проявляются на расстоянии 10^{-15} м,
3. велика энергия взаимодействия (ядерная).

Механизм:



ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР

Энергия связи – энергия необходимая для расщепления ядра на отдельные нуклоны или энергия, выделяющаяся при образовании ядер из нуклонов



Мерой энергии связи является – **дефект массы** (1905г. – А.Эйнштейн)

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}$$

$$\Delta E = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}) c^2$$

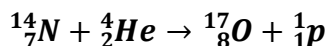
ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

- изменение атомных ядер при взаимодействии с элементарными частицами.

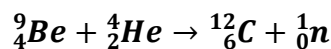


«Исторические» реакции

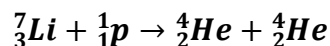
1. 1919г. Резерфорд



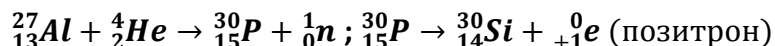
2. 1932г. Чедвик



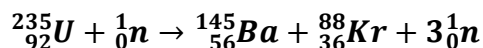
3. 1932г. Использование протонов



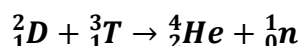
4. 1932г. Ф. Жоли-Кюри



5. 1938г. Ган, Штрассман



6. Синтез



Расчёт энергетического выхода ядерной реакции.

Для этого необходимо определить:

1. Массу ядер и частиц m_1 до реакции,
2. Массу ядер и частиц m_2 после реакции,
3. Изменение массы $m_1 - m_2$
4. Рассчитать изменение энергии $E=mc^2$

Пояснения к ОК-11.13.63

1. Ядерные силы

В состав ядра входят протоны и нейтроны, и электростатические силы отталкивания протонов должны бы их растолкнуть, но этого не происходит.

Дело в том, что между протонами и нейтронами существуют силы, превосходящие электростатические. Эти силы получили название *ядерных сил*, т.е. сил, действующих между протонами и нейтронами.

1. Ядерные силы в 100 раз превосходят электростатические силы. Это самые мощные силы из всех, которыми располагает природа.
2. Ядерные силы проявляются лишь на расстояниях 10^{-15} м, но на расстоянии 10^{-14} м они уже ничтожно малы.
3. У них велика энергия взаимодействия, она называется *внутриядерной или ядерной*.

Механизм сильного взаимодействия состоит в том, что в ядре постоянно происходит превращение протона в нейтрон и нейтрона в протон.

Протон излучает элементарную частицу **пи-плюс- мюзон** и через 10^{-23} с сам превращается в нейтрон. Нейтрон, захватив **пи-плюс-мюзон**, превращается в протон. Через 10^{-23} с процесс происходит в обратном направлении и т.д.

Внутриядерное превращение нейтрона в протон приводит к захвату "блуждающего" электрона. Обратное превращение - к уходу из оболочки самого электрона.

2. Энергия связи атомных ядер

Энергия связи (отрицательна по знаку) – энергия необходимая для расщепления ядра на отдельные нуклоны или энергия, выделяющаяся при образовании ядер из нуклонов.

Для того, чтобы удалить нуклон из ядра, надо совершить большую работу, т.е. сообщить ядру большую энергию.

Согласно закону сохранения энергии, энергия равна той энергии, которая выделяется при образовании ядра из отдельных частиц.

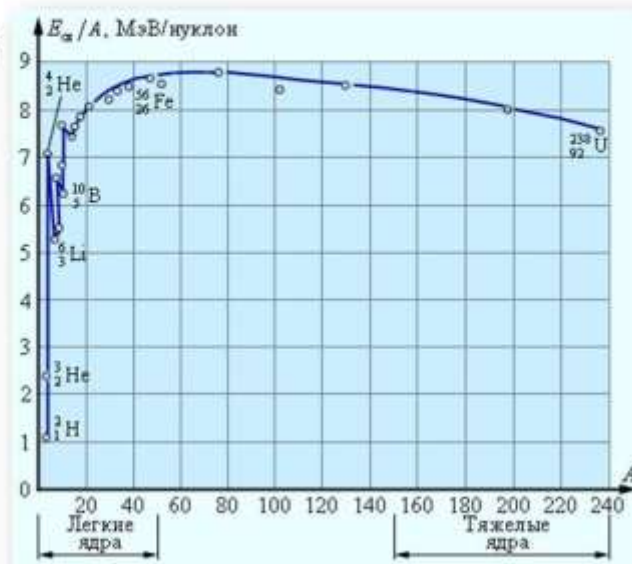
Важную информацию о свойствах ядер содержит *зависимость удельной энергии связи (энергия связи на один нуклон) от массового числа*.

Не считая самых легких ядер, удельная энергия связи примерно постоянна и равна 8 МэВ/нуклон. Максимальную удельную энергию связи 8,6 МэВ/нуклон имеют элементы с массовыми числами от 50 до 60, т.е. железо и близкие к нему элементы. Ядра этих элементов наиболее устойчивы.

По мере перегрузки ядер нейтронами, удельная энергия связи убывает. Для ядер расположенных в конце таблицы Менделеева (например, для урана) удельная энергия связи равна 7,6 МэВ/нуклон.

График удельной связи нуклонов в ядре

- Максимальную энергию связи (8,6 МэВ/нуклон) имеют элементы с массовыми числами от 50 до 60.
- Ядра этих элементов наиболее устойчивы.



Например, в 1кг гелия имеется $1,5 \cdot 10^{26}$ атомов. При сложении его из ядер дейтерия должна выделиться энергия $3,5 \cdot 10^{26}$ МэВ.

Чтобы получить такую энергию обычным путем, нужно сжечь 13600 тонн бензина.

Другой пример. Полная энергия связи ядра атома урана -235, состоящего из 235 нуклонов, равна 1780 МэВ.

При делении всех ядер 1 кг урана-235 выделится энергия, которую можно получить лишь при сжигании 180 тонн бензина или 3000 тонн каменного угля.

Таким образом, при реакции слияния ядер легких элементов на 1кг реагирующего вещества высвобождается примерно в 80 раз больше энергии, чем при реакции деления ядер тяжелых элементов.

Дефект массы

Измерения масс ядер показывают, что масса покоя ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс покоя слагающих его протонов и нейтронов.

$$M_{\text{я}} < Z \cdot m_p + N \cdot m_n$$

Существует, так называемый **дефект масс**, который является мерой энергии связи атомного ядра.

Дефект массы равен разности между суммарной массой всех нуклонов ядра в свободном состоянии и массой ядра:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_{\text{я}}$$

Например, у гелия масса ядра на 0,75% меньше масс двух протонов двух нейтронов.

$$\Delta E = \Delta m c^2 \quad \text{энергия связи ядра атома}$$

Уменьшение массы при образовании ядра означает, что при этом уменьшается энергия системы нуклонов. *Но куда девается эта энергия и масса?*

Дело в том, что при образовании ядра из частиц, которые за счёт ядерных сил устремляются с огромным ускорением друг к другу.

Излучаемые при этом гамма-кванты как раз обладают энергией и массой.

3. Расчет энергии связи

1. В ядерной физике массу частиц выражают в а.е.м. (атомная единица массы)

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

2. Энергию в ядерной физике принято выражать в э.В. (электрон-вольт)

$$1 \text{ э.В.} = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\text{тогда } \frac{1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2}{1,6019 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ}} = 931 \text{ МэВ} \left(E = \frac{mc^2}{e} \right)$$

$$\text{т.е. } \Delta E = \Delta m \cdot 931 \text{ МэВ}$$

3. Подсчитаем энергию связи ядра атома гелия ${}^4_2\text{He}$

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

$$M_{\text{я}} = 4,002603 \text{ а.е.м.}$$

$$2m_n = 2,01730 \text{ а.е.м.}$$

$$2m_p = 2,015650 \text{ а.е.м.}$$

$$\hline = 4,032980 \text{ а.е.м.}$$

$$\Delta m = 4,032980 - 4,002603 = 0,030377$$

$$\Delta E = 0,030377 \text{ а.е.м.} \cdot 931 = 28,2 \text{ МэВ}$$

4. Подсчитаем удельную энергию связи

$$\frac{\Delta E}{4} = \frac{28,2 \text{ МэВ}}{4} = 7 \text{ МэВ (на нуклон)}$$

4. Ядерные реакции

Ядерными реакциями называются процессы, результатом которых является перестройка атомных ядер.

Ядерные реакции происходят в соответствии с законами сохранения. Соблюдаются законы сохранения электрического заряда, энергии, импульса и числа нуклонов (массового числа).

Не соблюдаются закон сохранения массы покоя, потому что они протекают с дефектом массы.

Ядерные реакции могут происходить **с выделением энергии или поглощением.**

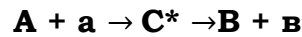
Ядерная реакция протекает с выделением энергии, когда суммарная масса ядер и частиц, образовавшихся при ядерной реакции, меньше массы исходных ядер и частиц. Освобождающаяся энергия равна разности между суммарной энергией связи образовавшихся ядер и суммарной энергией связи исходных ядер и называется **энергетическим выходом реакции.**

Ядерная реакция протекает с *поглощением энергии*, когда суммарная масса ядер и частиц, образовавшихся при ядерной реакции, больше массы исходных ядер частиц.

Согласно теории Бора, ядерная реакция протекает в два этапа.

На первом этапе ядро **A** сливается с частицей **a**, образуя новое ядро **C***, которое находится в возбужденном состоянии.

На втором этапе возбужденное ядро распадается на конечные продукты ядерной реакции **B** и **v**



Рассмотрим несколько ядерных реакций, ставших историческими.

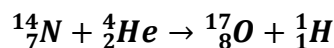
1. Первое превращение ядра - 1919г. - Резерфорд.
2. Открытие нейтрона - 1932г. - Чедвик.
3. Первое использование ускоренных протонов - 1932г.
4. Первое искусственное получение радиоактивного элемента и открытие позитрона - 1932г.
5. Реакция деления урана - 1938г. - Ган, Штрассман.
6. Реакция синтеза.

5. Пример расчета энергетического выхода ядерной реакции

Для этого необходимо определить:

1. массу ядер и частиц m_1 до реакции,
2. массу ядер и частиц m_2 после реакции,
3. изменение массы $m_1 - m_2$
4. рассчитать изменение энергии $E = mc^2$.

Рассмотрим в качестве примера расчёт первой (*исторически первой*) ядерной реакции.



До реакции: ${}^{14}_7\text{N} - 14,003242$ а. е. м.
 ${}^4_2\text{He} - 4,002603$ а. е. м.

$$m_1 = 18,005845 \text{ а. е. м.}$$

После реакции: ${}^{17}_8\text{O} - 16,999134$ а. е. м.
 ${}^1_1\text{H} - 1,007825$ а. е. м.

$$m_2 = 18,006959 \text{ а. е. м.}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 18,005845 - 18,006959 = -0,001114 \text{ а. е. м.}$$

Изменение энергии будет равно:

$$\Delta E = -0,001114 * 931 = -1,04 \text{ МэВ}$$

Знак «минус» говорит о том, что реакция происходит с поглощением энергии

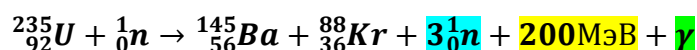
ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА

1.Ядерная реакция на нейтронах.

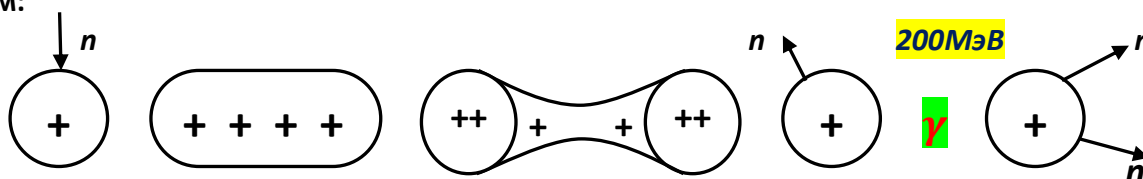
1942г. Э.Ферми – не только быстрые нейтроны, но и медленные – **эффективнее!**

Быстрые «n» надо замедлять – замедлитель – вода (${}^1_1H + {}^1_0n \rightarrow$ интенсивная передача энергии)

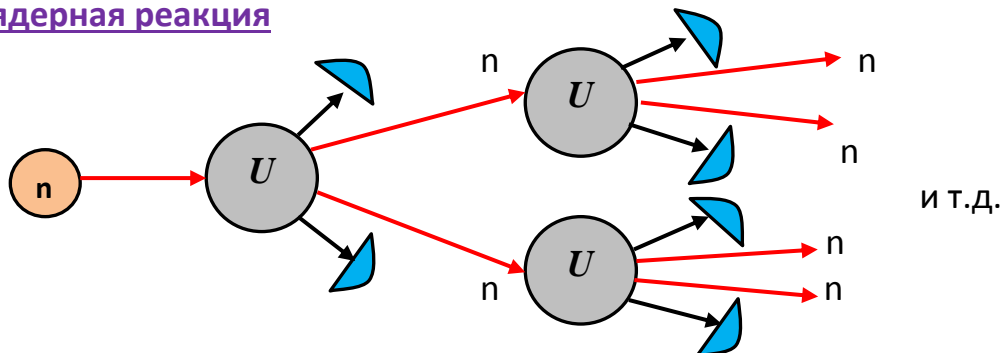
2.Деление ядер урана - 1938г. Ган, Штрассман (нем.)



Механизм:



3.Цепная ядерная реакция



k – коэффициент размножения

$k < 1$ – реакция затухает,

$k > 1$ – «атомный взрыв»,

$k = 1$ – стационарная реакция.

1г. урана $\rightarrow 2,3 \cdot 10^4$ кВт * ч \rightarrow 3т. угля

Условия протекания цепной ядерной реакции:

1. Скорость нейтронов должна быть достаточной, чтобы вызвать деление ядер урана,
2. Должны отсутствовать примеси, поглощающие нейтроны,
3. Критическая масса для U^{235} – **50 кг**, а при наличии замедлителя (вода или графит) и отражателя «n» (Ве или графит) – **250 г**.

1942г. - Ферми – США

1946г. – Курчатов - СССР

*Пояснения к ОК-11.13.64***1. Ядерные реакции на нейтронах**

Так как нейтроны лишены заряда, то они свободно проникают в атомные ядра и вызывают их превращения.

Итальянский физик Энрико Ферми (под его руководством в декабре 1942г. в США был запущен первый ядерный реактор) обнаружил, что ядерные превращения вызываются не только быстрыми нейтронами, но и медленными - это даже эффективнее.

Поэтому быстрые нейтроны надо замедлять. Замедление происходит в обыкновенной воде, т.к. вода содержит большое число протонов (ядра водорода), масса которых почти равна массе нейтронов. При столкновении одинаковых "шаров" происходит интенсивная передача энергии.

2. Деление ядер урана

Деление ядер урана было открыто в 1938г. немецкими учеными Ганон и Штрассманом.

Выяснилось, что делиться могут только ядра некоторых тяжелых элементов.

1)ядро урана-235 имеет форму шара,

2)поглотив лишний нейтрон, ядро возбуждается и начинает деформироваться,

3)ядро растягивается до тех пор, пока силы отталкивания между половинками не начинают преобладать над силами притяжения,

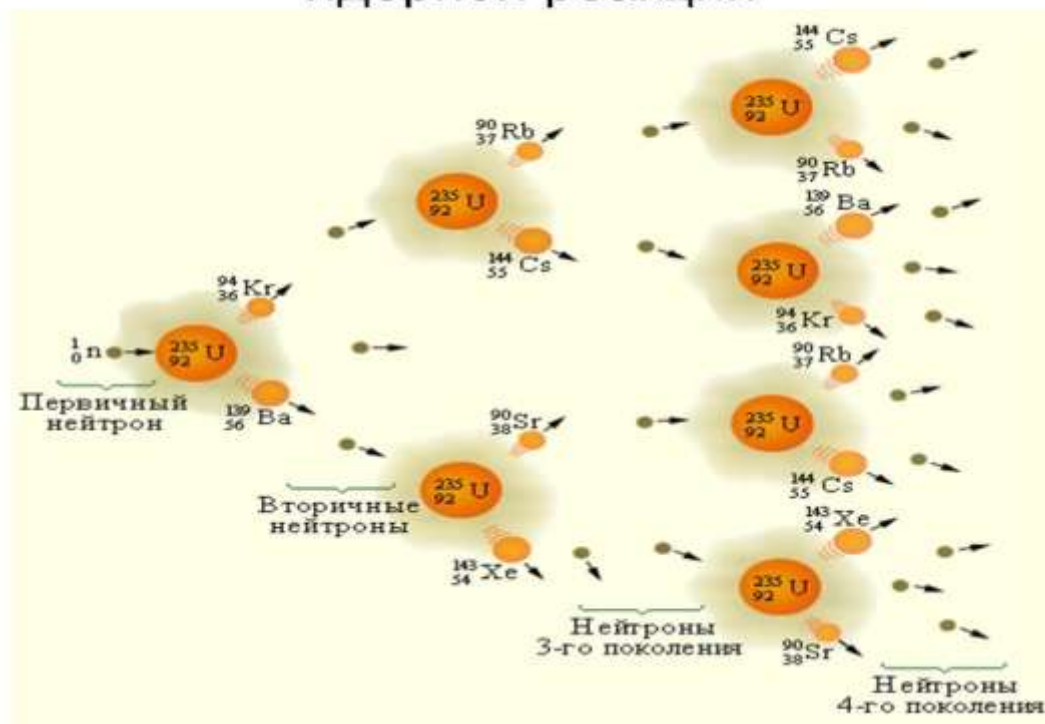
4) после этого ядро разрывается на две части,

5) под действием кулоновских сил отталкивания эти осколки разлетаются со скоростью $1/30$ скорости света,

б)самое важное в реакции деления - это появление двух-трех нейтронов.

У возникающих при делении осколков число нейтронов оказывается больше, чем это допустимо. В результате несколько нейтронов покидает ядро.

Механизм протекания цепной ядерной реакции



3. Цепные ядерные реакции

Цепная ядерная реакция это процесс, в котором определенная реакция вызывает последующие реакции такого же типа.

При делении ядра урана, образовавшиеся нейтроны могут вызвать следующие деления ядер, при этом число нейтронов быстро растет.

Число нейтронов в одном акте деления к числу таких нейтронов в предыдущем акте называется коэффициентом размножения нейтронов.

При $k < 1$ - реакция затухает, т.к. число поглощенных нейтронов больше числа вновь образовавшихся.

При $k > 1$ - даже при $k=1,01$ почти мгновенно происходит взрыв.

При $k = 1$ - идёт стационарное течение цепной реакции.

Цепная реакция сопровождается выделением огромной энергии. При полном сгорании всех ядер 1г. урана выделяется $2,3 \cdot 10^4$ кВт*ч энергии. Это эквивалентно энергии получаемой при сгорании 3 тонн угля или 2,5 тонн нефти.

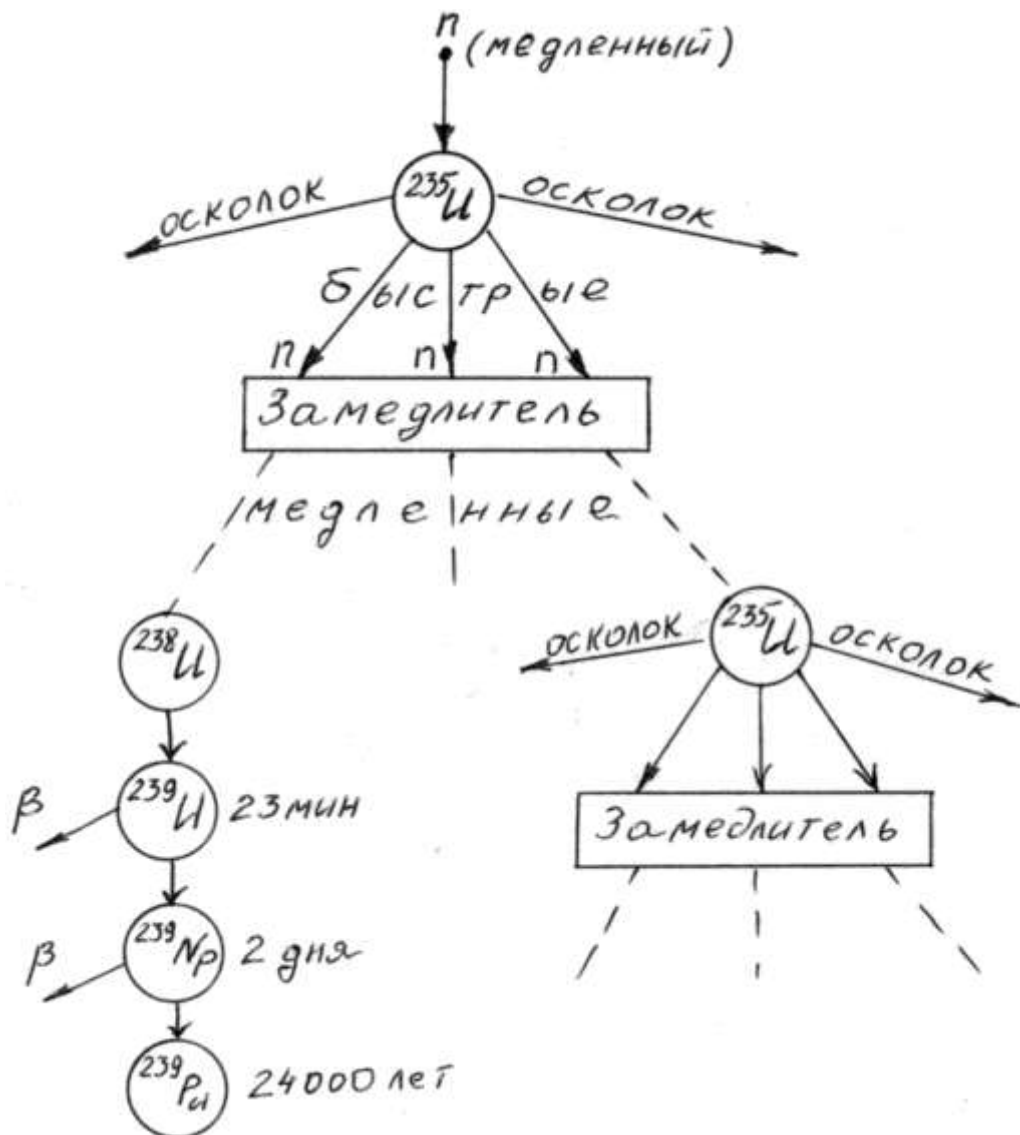
Для осуществления цепной реакции нельзя использовать любые ядра, делящиеся под влиянием нейтронов.

Естественный уран состоит из двух изотопов урана-235 и урана-238. Но изотопы урана-235 составляют всего 0,7%. Ядра урана-238 могут делиться лишь под влиянием нейтронов с большой энергией. Такую энергию имеют 60% нейтронов, появляющихся при делении. Но примерно один из пяти нейтронов вызовет деление урана-238, остальные нейтроны захватываются этим изотопом, не произведя деления.

Условия протекания ядерной реакции цепной реакции в уране-235

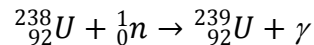
1. Скорость нейтронов должна быть достаточной, чтобы вызвать деление ядер урана.
2. Должны отсутствовать примеси, поглощающие нейтрон.
3. Необходимо иметь минимальное количество вещества, нужное для осуществления ядерной реакции, называемой критической массой, иначе при малых размерах велика утечка нейтронов.

Первая управляемая цепная ядерная реакция была осуществлена в США 1942г.- Ферми. В СССР такая реакция была получена под руководством И.В.Курчатова в 1946г.

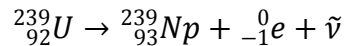


Воспроизводство ядерного горючего.

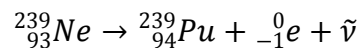
В реакторе, работающем на природном уране, часть вторичных нейтронов захватывается ядром урана-238, превращаясь в уран-239:



Изотоп урана-239 радиоактивен с периодом полураспада 23,5 мин. В результате β - распада он превращается в изотоп нептуния:



В свою очередь, претерпевая β - распад, ядро нептуния превращается в ядро плутония-239:



Изотоп плутония имеет период полураспада 24 тыс.лет и по своей способности к делению не уступает урану – 235. Он может быть использован в ядерных реакторах в качестве горючего.

При делении одного ядра урана – 235 в среднем освобождается 2,5 нейтрона. На поддержание цепной реакции расходуется один нейтрон, а 1,5 нейтрона идет на образование ядер плутония.

Таким образом, при делении ядер урана-235 реактор одновременно производит ядерное горючее в количестве, превосходящем израсходованное.

ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

ОК – 11.13.65

устройство для осуществления управляемой ядерной реакции ($k=1$)

1942г. – первый ядерный реактор - США – Э.Ферми

1946г. - первый в СССР реактор – И.В.Курчатов

27 июня 1954 – СССР – г.Обнинск – первая в мире АЭС (5МВт)

Основные элементы ядерного реактора:

1. Горючее – U^{235} , U^{238} , Pu^{239}

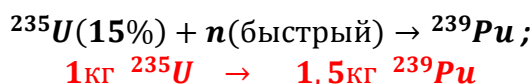
2. Замедлитель нейтронов (тяжёлая вода, графит)

3. Теплоноситель (вода, жидкий натрий)

4. Устройство для регулировки реакции (кадмий, бор)

5. Защита (оболочка из бетона, железа)

Реакторы на быстрых нейтронах – размножители.



Атомная бомба

горючее – ${}^{235}\text{U}$, ${}^{233}\text{U}$, ${}^{239}\text{Pu}$
критическая масса – 10 – 20кг ($\rho = 18,7 \text{ г/см}^3$)
ШАР R = 4-6см



1945г. – Япония (Хиросима и Нагасаки)

Преимущества АЭС:

- ядерные реакторы не потребляют кислород и органическое топливо
- отсутствует загрязнение окружающей среды
- биосфера защищена от радиоактивного воздействия при нормальной эксплуатации АЭС

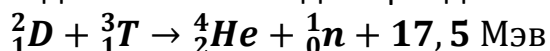
Недостатки АЭС:

- проблема захоронения радиоактивных отходов и демонтажа оборудования
- радиоактивное загрязнение в случае аварии
- опасность экологических катастроф (1986г. – авария на Чернобыльская АЭС)

ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

синтез лёгких ядер

Главное условие – необходима высокая T для преодоления $F_{\text{отт.}}$



$$1\text{г } {}^4_2\text{He} \rightarrow 1,17 \cdot 10^5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \rightarrow 10000 \text{ кг бензина}$$

Неуправляемая термоядерная реакция – **водородная бомба!**

1953г. – СССР – первая в мире водородная бомба

Управляемая термоядерная реакция – **проблема!**

«Токамак-10» - 13 млн.К

Пояснения к ОК-11.13.65

1. Ядерные реакторы

Первая управляемая цепная ядерная реакция была осуществлена в США 1942г.- Ферми. В СССР такая реакция была получена под руководством И.В.Курчатова в 1946г.

Ядерным реактором называется устройство, в котором осуществляется управляемая реакция деления ядер ($k=1$). Основные элементы ядерного реактора:

1. Ядерное горючее уран-235, уран-238, плутоний-239.
2. Замедлитель нейтронов (тяжелая вода, графит)
3. Теплоноситель (вода, жидкий натрий).
4. Устройство для регулировки реакции (кадмий, бор).
5. Защита (оболочка из бетона, железа).

Первая атомная станция в СССР была запущена 27 июля 1954г. в городе Обнинске (100 км. от Москвы, Калужская область).

2. Реакторы на быстрых нейтронах

Это реакторы, работающие без замедлителя на быстрых нейтронах. Они не могут работать на естественном уране.

Реакцию можно поддерживать лишь в обогащенной смеси, содержащей не менее 15% урана-235.

Преимущество таких реакторов в том, что образуется большое количество плутония, который можно затем использовать в качестве горючего. Такие реакторы называются *реакторы - размножители*.

Существуют реакторы с коэффициентом воспроизводства до 1,5кг. Это значит, что в реакторе при делении 1кг урана-235 получается 1,5кг плутония.

Атомная бомба - является особым реактором на быстрых нейтронах, в котором происходит неуправляемая цепная реакция с большим коэффициентом размножения. Ядерном топливом служит уран-235, уран-233, плутоний-239.

Критическая масса составляет 10-20кг при плотности равной $18,7\text{г/см}^3$ и занимает объем шара радиусом 4-6см.

Вначале масса делится на две части, а затем с помощью взрывателя они соединяются.

Первая атомная бомба была создана американцами в 1945г. А испытали они её на живых людях - 6 и 9 августа с лица Земли были снесены два города в Японии - Хиросима и Нагасаки.

3. Преимущества АЭС

- ядерные реакторы не потребляют кислород и органическое топливо,
- отсутствует загрязнение окружающей среды золой и другими вредными для человека продуктами органического топлива,
- биосфера надежно защищена от радиоактивного воздействия при нормальном режиме эксплуатации АЭС.

4. Недостатки АЭС:

- проблема захоронения радиоактивных отходов и демонтажа отслуживших срок реакторов,
- радиоактивное загрязнение местности при аварийных выбросах,
- опасность экологических катастроф (1986г. авария на Чернобыльской АЭС).

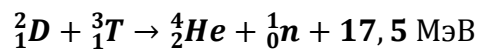
5. Термоядерные реакции

Ядерная энергия освобождается не только при делении тяжелых ядер, но и при синтезе (слиянии) легких ядер.

Для синтеза одноименно заряженных протонов необходимо преодолеть кулоновские силы отталкивания, что возможно при достаточно больших скоростях сталкивающихся частиц. Необходимые условия для синтеза ядер гелия из протонов имеются в недрах Солнца и других звезд. В центре Солнца достигается температура в 13млн.градусов. В состав Солнца и многих звезд входит 80% водорода и 20% гелия.

На Земле термоядерная реакция синтеза осуществлена при экспериментальных взрывах.

Синтез гелия из легкого изотопа водорода происходит при температуре около **10⁸К**, а для синтеза гелия из тяжелых изотопов водорода-дейтерия и трития - требуется нагревание примерно до $5 \cdot 10^7$ К. При синтезе 1г.гелия из дейтерия и трития выделяется энергия $4,2 \cdot 10^{11}$ Дж.Такая энергия выделяется при сжигании 10 тонн бензина.



Управляемую термоядерную реакцию синтеза гелия из тяжелых изотопов водорода путем нагревания предполагается осуществить путем пропускания электрического тока через плазму. Для удержания нагретой плазмы от соприкосновения со стенками камеры применяется магнитное поле. На экспериментальной установке "Токамак-10" (ток,камера,магнит) удалось нагрет плазму до температуры 13млн.К. До более высоких температур водород может быть нагрет с помощью лазерного излучения. Для этого световые пучки от нескольких лазеров должны быть сфокусированы на стеклянном шарике, внутри которого заключена смесь тяжелых изотопов дейтерия и трития. В таких экспериментах была получена плазма в несколько десятке миллионов градусов.

Неуправляемая термоядерная реакция была осуществлена в СССР в 1953г. в водородной бомбе, где происходит самоподдерживающаяся термоядерная реакция взрывного характера. Взрывчатым веществом являлась смесь дейтерия и трития. Необходимая для протекания реакции высокая температура была получена за счет взрыва обычной атомной бомбы.

ОК – 11.13.66

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Радиоактивные излучения – сильное действие на живые организмы.

Механизм – ионизация атомов и молекул – изменения химической активности.

Действия – ядра клеток, которые быстро делятся (костный мозг, пищев.тракт и др.)

Польза – подавление раковой опухоли γ – лучами.

Доза излучения – воздействие излучений на живые организмы.

1.Поглощенная доза излучения – отношение поглощенной энергии E ионизирующего излучения к массе m облучаемого вещества

$$D = \frac{E}{m} = \frac{1\text{Дж}}{1\text{кг}} = 1\text{Гр(Грэй)}$$

1 Гр равен поглощённой дозе излучения, при которой облучённому веществу массой **1 кг** передаётся энергия ионизирующего излучения **1 Дж**

Естественный фон за год $2 \cdot 10^{-3}$ Гр на человека.

Для специалистов за год $5 \cdot 10^{-2}$ Гр

Доза 3-10 Гр –СМЕРТЬ!

2.Коэффициент качества (k) – характеризует различие видов излучения.

За единицу принимается значение у α – частиц.

Коэффициент относительной биологической эффективности для различных видов излучений

Вид излучения	Коэффициент k , Зв/Гр
<u>Рентгеновское</u> и <u>γ-излучение</u>	1
<u>β-излучение(электроны, позитроны)</u>	1
<u>Нейтроны</u> с <u>энергией</u> меньше 20 <u>кэВ</u>	3
<u>Нейтроны</u> с <u>энергией</u> 0,1-10 <u>МэВ</u>	10
<u>Протоны</u> с <u>энергией</u> меньше 10 <u>МэВ</u>	10
<u>α-излучение</u> с <u>энергией</u> меньше 10 <u>МэВ</u>	20!

3.Эквивалентная доза поглощенного излучения (H) – для оценки действия излучения

$$H = D k - 1 \text{ Зв (зиверт)}$$

При $H \geq 0,5 \text{ Зв}$ – поражение организма, нарушается деление клеток и образование новых

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Элементарные частицы – это первичные, неразложимые далее частицы, из которых построена вся материя.

Все элементарные частицы превращаются друг в друга, и эти взаимные превращения – главный факт их существования. Лишь *фотон, электрон, протон, нейтрон* сохраняют свою неизменность .

Каждая частица имеет античастицу. Частица и античастица имеют одинаковые массы, но они противоположны по знаку заряда (электрон e^- ; позитрон e^+).

Все частицы способны взаимодействовать друг с другом. Различают четыре типа фундаментальных взаимодействий: *гравитационное, электромагнитное, сильное, слабое*.

Механизм всех взаимодействий – обменный, т.е. силы, действующие между двумя частицами, осуществляются в результате их обмена промежуточной частицей – переносчиком взаимодействия.

1. Гравитационное взаимодействие проявляется в виде сил всемирного тяготения между телами Вселенной. Переносчиками являются гравитоны, которые на сегодняшний день не найдены.

2. Электромагнитное взаимодействие характерно для электрически заряженных частиц, которые обмениваются фотонами. Ядра и электроны взаимодействуют друг с другом посредством электромагнитного поля, квантами которого являются фотоны.

3. Сильное взаимодействие свойственно мезонам и барионам. Взаимодействие между протонами и нейтронами осуществляется π – мезонами и квантами ядерного поля. Согласно современным воззрениям – все сильновзаимодействующие элементарные частицы – мезоны и барионы – построены из кварков – истинно элементарных частиц. Кварки были обнаружены внутри протонов и нейтронов, но не найдены в свободном состоянии. При сильном взаимодействии обмен между кварками происходит за счёт *глюонов*.

4. Слабое взаимодействие характерно для всех частиц, кроме фотонов. Слабое взаимодействие также свойственно лептонам и кваркам. Взаимодействие между кварками и лептонами осуществляется слабым взаимодействием W^+ ; W^- ; Z^0 – бозонами.

Сегодня общее число элементарных частиц вместе с античастицами превышает 350. Их них более 30 стабильных частиц с временем жизни не менее 10^{-17} с и более 200 короткоживущие – резонансы, с временем жизни 10^{-23} с.

Повторим теорию!**ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА**

1. Запишите первую искусственную реакцию по превращению атомных ядер.
2. В чём заключалась гипотеза Резерфорда?
3. Запишите реакцию получения нейтронов.
4. Какими свойствами обладает нейтрон?
5. Для каких целей используют нейтроны?
6. В чём сущность протонно-нейтронной модели атома?
7. Что называют изотопами?
8. Почему изотопы имеют одинаковые химические свойства и разные физические свойства?
9. Как называются изотопы водорода? Где используются эти изотопы?
10. Где получают радиоактивные изотопы?
11. Приведите примеры использования радиоактивных изотопов.
12. Какие силы называют ядерными? Какими свойствами обладают ядерные силы?
13. Каков механизм возникновения ядерных сил?
14. Что называют энергией связи атомного ядра?
15. Что называют дефектом массы? Напишите формулу дефекта массы.
16. Какова причина появления дефекта массы при образовании ядра?
17. Напишите формулу для расчёта энергии связи атомных ядер.
18. Что называют удельной энергией связи?
19. Ядра каких химических элементов обладают максимальной удельной энергией связи?
20. Что называют ядерными реакциями?
21. Напишите ядерную реакцию по получению протонов. Кто и когда осуществил эту реакцию?
22. Напишите ядерную реакцию по получению нейтронов. Кто и когда осуществил эту реакцию?
23. Напишите ядерную реакцию по использованию протонов. Когда была осуществлена эта реакция?
24. Напишите ядерную реакцию по получению позитрона. Кто и когда осуществил эту реакцию?
25. Напишите ядерную реакцию деления урана. Кто и когда осуществил эту реакцию?
26. Напишите ядерную реакцию синтеза лёгких ядер.
27. Что называют энергетическим выходом ядерной реакции? Как рассчитать энергетический выход?
28. Почему нейтрон используется для осуществления ядерной реакции деления тяжёлых ядер?
29. Какие нейтроны эффективнее и почему?
30. Опишите механизм деления ядер урана.
31. Что называют цепной ядерной реакцией?
32. Что называют коэффициентом размножения нейтронов?
33. Перечислите условия протекания цепной ядерной реакции в уране – 235.
34. Что называют ядерным реактором? Назовите основные элементы ядерного реактора.
35. Расскажите о превращении внутриядерной энергии в электрическую на АЭС.
36. В чём особенность реакторов на быстрых нейтронах?
37. В чём преимущества и недостатки АЭС?

Повторим теорию!
ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА
(продолжение)

38. Какие реакции называют термоядерными?
39. Чем объяснить, что при синтезе лёгких ядер выделяется энергия?
40. Каковы условия осуществления ядерной реакции синтеза?
41. Приведите примеры термоядерных реакций и напишите их примеры?
42. Какое воздействие производит радиоактивное излучение на живой организм?
43. Что называют поглощённой дозой излучения? Какая формула выражает смысл этого понятия? Какова единица измерения?
44. Какая существует внесистемная единица измерения дозы излучения?
45. Что называют коэффициентом качества излучения?
46. Что называют эквивалентной дозой поглощенного излучения?
47. Какие меры принимаются для защиты организмов от излучения?
48. Что такое элементарные частицы?
49. Каков главный факт существования элементарных частиц?
50. Перечислите все стабильные элементарные частицы.
51. Все ли элементарные частицы имеют античастицу? Чем отличается античастица от частицы?
52. Какие типы фундаментальных взаимодействий вы знаете?
53. Что общего можно сказать о механизме всех фундаментальных взаимодействий?
54. Что является переносчиком гравитационного взаимодействия?
55. Посредством чего осуществляется электромагнитное взаимодействие между заряженными частицами и что является переносчиком взаимодействия?
56. За счёт чего осуществляется взаимодействие между протонами и нейтронами при сильном взаимодействии?
57. Что такое кварки?
58. За счёт чего происходит обмен между кварками при сильном взаимодействии?
59. В чём заключается природа слабого взаимодействия?
60. Что является переносчиком слабого взаимодействия?
61. Согласно теории слабых взаимодействий опишите распад нейтрона на электрон и антинейтрино.
62. Какие частицы называются частицами-резонансами?