



# КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

## ЯДРО АТОМА

2

Состав ядра атома  
Строение ядра. Изотопы  
Ядерные силы  
Энергия связи ядер  
Ядерные реакции  
Радиоактивный распад  
Реакции деления и синтеза  
Управляемые реакции  
Ядерная энергетика  
Биологическое действие



Добродеев Н.А.  
Самоварщиков Ю.В.



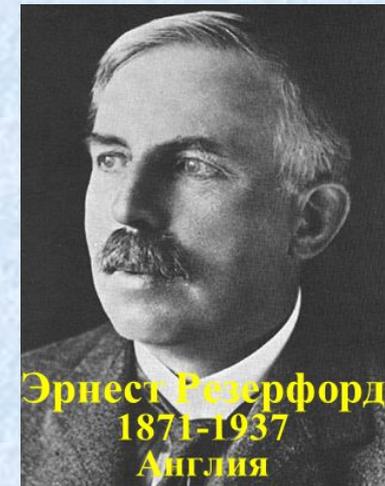
НИЯУ МИФИ Кафедра физики

# СОСТАВ ЯДРА АТОМА

В результате опытов Э. Резерфорда в 1911 году была создана **ядерная модель атома**.

## Основные положения ядерной модели :

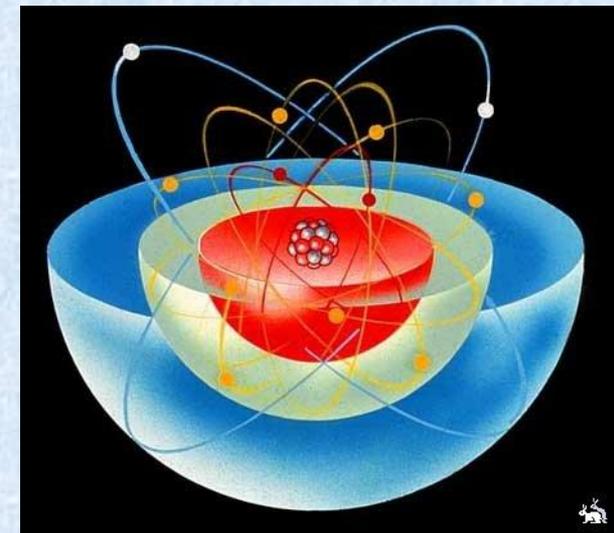
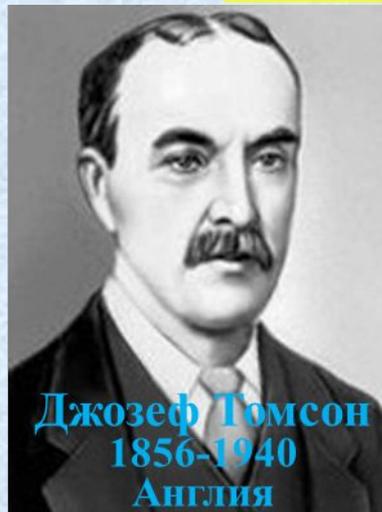
- ❖ В центре атома находится небольшое **атомное ядро**.  
Размер атома  $R_{\text{ат}} \sim 10^{-10} \text{ м}$ , размер ядра  $R_{\text{я}} \sim 10^{-15} \div 10^{-14} \text{ м}$   
(ядро меньше атома примерно в 100000 - 10000 раз);
- ❖ **Атомное ядро имеет положительный заряд  $q_{\text{я}} = +Ze$**   
 $Z$  – число **электронов** в атоме (атом в целом нейтрален)  
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  - элементарный электрический заряд;
- ❖ В **ядре** содержится практически вся **масса атома**:  
 $m_{\text{А}} \approx m_{\text{я}}$  **масса электронов** гораздо меньше **массы ядра**)



${}_{-1}^0e$

**Электрон** был открыт английским физиком Дж. Томсоном в 1897 г. при изучении катодных лучей.

- ✓ обладает наименьшим в природе зарядом  $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  ;
- ✓ масса электрона по сравнению с протоном ничтожно мала и составляет  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$  ;
- ✓ электрон стабилен, не имеется никаких данных о его внутренней структуре.



# СОСТАВ ЯДРА АТОМА

$\frac{1}{1}p$

**Протон** был открыт английским физиком Э. Резерфордом в 1913 г. при бомбардировке азота  $\alpha$ -частицами.

- ✓ обладает наименьшим в природе положительным зарядом  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл ;
- ✓ масса протона в 1836 раз больше массы электрона и равна  $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$  кг;
- ✓ протон стабилен, физически напоминает облако с размытой границей, состоящее из рождающихся и аннигилирующих частиц.

$\frac{1}{0}n$

**Нейтрон** был открыт английским физиком Э. Чедвиком в 1931 г. при бомбардировке бериллия  $\alpha$ -частицами.

- ✓ не обладает электрическим зарядом;
- ✓ масса нейтрона чуть больше массы протона и равна  $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$  кг;
- ✓ нейтрон в свободном состоянии нестабилен и распадается в среднем через 15 минут;
- ✓ нейтроны обладают огромной проникающей способностью.

**Атомные ядра** состоит из **протонов и нейтронов**.  
**Протоны и нейтроны** имеют близкие по величине массы, поэтому их объединяют общим названием – **нуклоны**.

**Атомные ядра** называют также **нуклидами**.



# СТРОЕНИЕ ЯДРА



- Число протонов в ядре  $Z$  определяет заряд ядра и называется также зарядовым числом;
- Число протонов в ядре  $Z$  равно числу электронов в электронной оболочке атома и тем самым определяет химические свойства элемента и место элемента в периодической системе.
- Число нейтронов  $N$  в ядрах одного элемента может быть различным, полное число нуклонов  $A = Z + N$  – также может быть различным.

# СОСТАВ ЯДРА. ИЗОТОПЫ

Обозначают ядра:  ${}^A_ZX$ ,

где  $X$  – символ элемента по таблице Д. Менделеева.

❖ *Разновидности одних и тех же химически элементов, атомы которых различаются по массе, называют изотопами.*

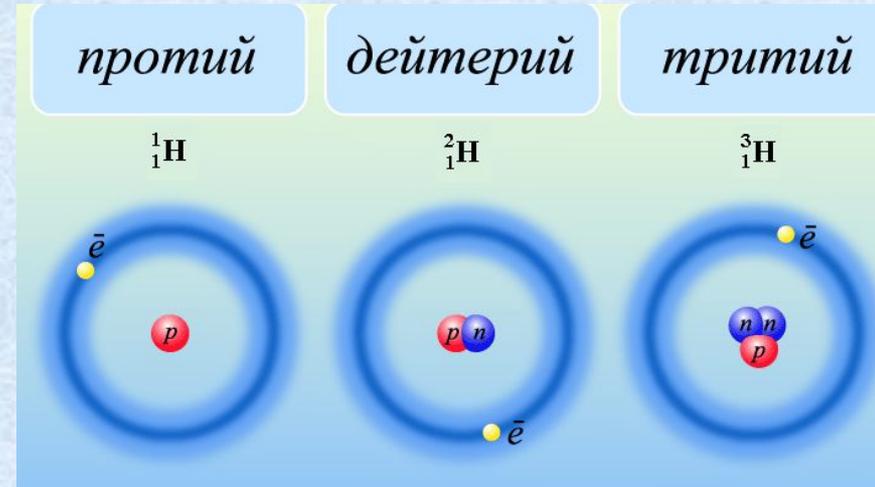
**Водород имеет три изотопа:**

${}^1_1\text{H}$  – обычный водород (протий)

${}^2_1\text{H}$  – тяжелый водород (дейтерий)

${}^3_1\text{H}$  – сверхтяжелый водород (тритий).

Последний изотоп в природе не существует и получен искусственно.



**Углерод в естественном состоянии имеет два изотопа:  ${}^{12}_6\text{C}$  и  ${}^{13}_6\text{C}$ .**

Масса атома изотопа  $\text{M}({}^{12}_6\text{C})$  принимается за основу **атомной единицы массы (а.е.м.):**

$$1 \text{ а. е. м.} = \frac{\text{M}({}^{12}_6\text{C})}{12} = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Масса протона равна  $m_p = 1,0073$  а.е.м., масса нейтрона равна  $m_n = 1,0087$  а.е.м.

$m_p$  и  $m_n$  в а.е.м. близки к единице, поэтому **целая часть массы ядра в а.е.м. равна числу нуклонов в ядре  $A = Z + N$ . Число  $A$  называют также **массовым числом.****

# ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ

МАССА ПРОТОНА ИЛИ НЕЙТРОНА  
В 1840 РАЗ БОЛЬШЕ МАССЫ ЭЛЕКТРОНА



ПОЭТОМУ ПРАКТИЧЕСКИ ВСЯ МАССА  
АТОМА СОСРЕДОТОЧЕНА В ЕГО ЯДРЕ

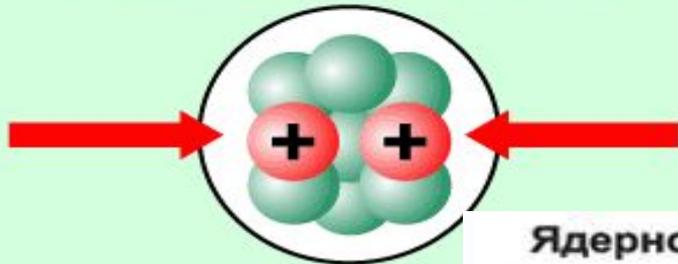
ПЛОТНОСТЬ ЯДЕРНОГО ВЕЩЕСТВА  
ОГРОМНА -  $100 \times 10^6$  ТОНН В  $1 \text{ см}^3$



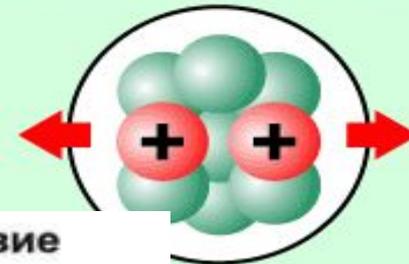
ШАР, СОСТОЯЩИЙ ИЗ ЯДЕРНОГО ВЕЩЕСТВА,  
ДИАМЕТРОМ 0,5 км РАВЕН ПО ВЕСУ ЗЕМНОМУ ШАРУ

## СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В ЯДРЕ

МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ, ВХОДЯЩИМИ В ЯДРО,  
ДЕЙСТВУЮТ ОСОБЫЕ СИЛЫ ВЗАИМНОГО  
ПРИТЯЖЕНИЯ - ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ



МЕЖДУ ПРОТОНАМИ ЯДРА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИ  
ОДНОИМЕННО ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ,  
ДЕЙСТВУЮТ СИЛЫ ВЗАИМНОГО ОТТАЛКИВАНИЯ



Ядерное взаимодействие  
нуклонов



Ядерные силы притяжения между  
любыми двумя нуклонами одинаковы

ПО СВОЕЙ ВЕЛИЧИНЕ ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ ВЗАИМНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ ОГРОМНЫ  
И ЗНАЧИТЕЛЬНО ПРЕВОСХОДЯТ СИЛЫ ВЗАИМНОГО ОТТАЛКИВАНИЯ ПРОТОНОВ

# ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ

## ЯДЕР

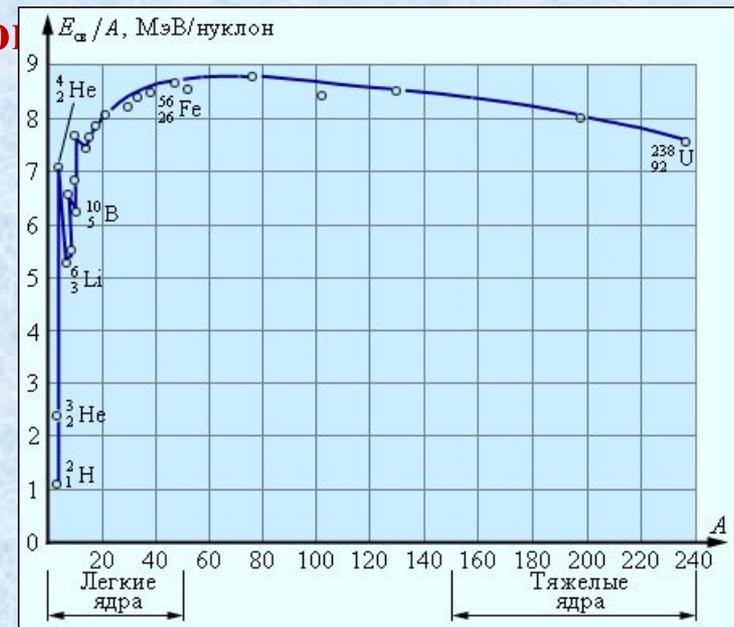
- ❖ Полная энергия системы частиц в связанном состоянии всегда меньше, чем энергия этих же частиц в свободном состоянии.

Причина состоит в том, что для разделения **связанной системы** на **свободные частицы** необходимо затратить некоторую **энергию**, чтобы преодолеть **силы притяжения** между связанными частицами..

- ❖ Энергия связи ядра – это минимальная энергия, которую необходимо затратить для разделения атомного ядра на все составляющие его

**нуклоны**. Силы притяжения возникают из-за ядерного взаимодействия между нуклонами, превышающего электрическое отталкивание между протонами.

- ❖ Удельная энергия связи ядра - это энергия связи, приходящаяся на один нуклон



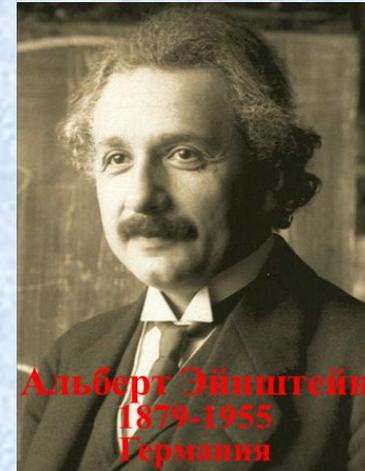
# ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ

## ЯДЕР

В 1905 году Эйнштейн показал, что **любая система с массой  $m$**  обладает **энергией покоя:**

$$E_0 = mc^2$$

$c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света



Альберт Эйнштейн  
1879-1955  
Германия

Если масса системы изменяется на величину  $\Delta m$ , то энергия покоя изменяется на величину:

$$\Delta E_0 = \Delta mc^2$$

Таким образом, **энергия связи  $E_{св}$**  атомного ядра может быть выражена через массы частиц:

$$E_{св} = (Zm_p + Nm_n - m_{я}) \cdot c^2,$$

где  $m_p$ ,  $m_n$  – массы протона и нейтрона;  
 $m_{я}$  – масса ядра.

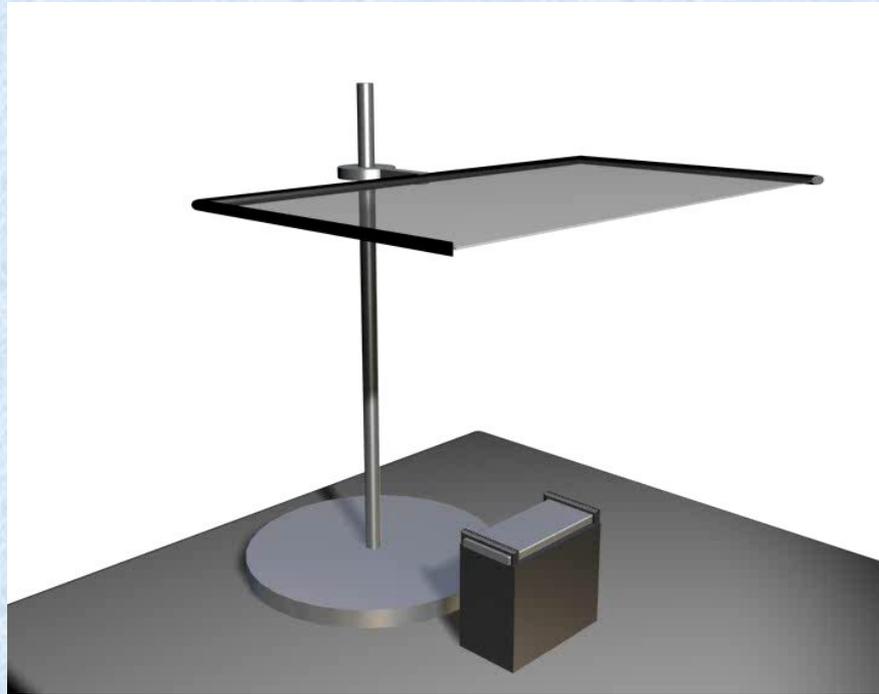
❖ **Дефектом массы ядра называется величина  $\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{я}$ . Эта величина всегда больше нуля**

При объединении протонов и нейтронов в атомное ядро за счет работы сил ядерного притяжения выделяется энергия, равная по модулю энергии связи ядра.

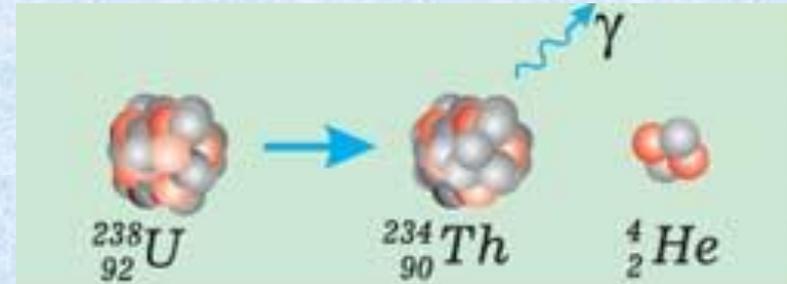
# РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД

- Ядра некоторых элементов могут самопроизвольно распадаться, превращаясь в ядра других элементов путем испускания одной или нескольких легких частиц.
- Такие ядра называются **нестабильными** или **радиоактивными**.

*Различают три основных вида радиоактивности:*



- ❖ **альфа-распад** – атомное ядро испускает  **$\alpha$ -частицу** (ядро атома гелия  ${}^4_2\text{He}$ ), превращаясь в ядро **другого** элемента.



- ❖ **бета-распад** – атомное ядро испускает электрон  ${}^0_{-1}\text{e}$  и еще одну легкую частицу, превращаясь в ядро **другого** элемента.

# РАДИОАКТИВНЫЙ

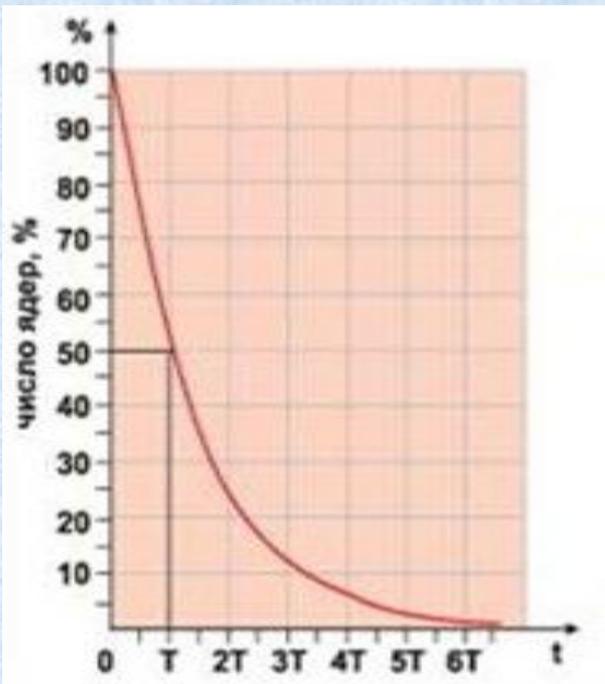
❖ **Гамма-излучение** – испускание ядром гамма-квантов, т.е. фотонов с большой энергией и малой длиной волны



Радиоактивный распад – процесс статистический (как и все процессы в микромире), т.е. нельзя предсказать, когда именно распадется конкретное нестабильное ядро. Характеристикой этого процесса является **период полураспада  $T$** .

# ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

- ◆ Период полураспада  $T$  — это время, в течение которого число радиоактивных ядер уменьшается в два раза.



- Активность радиоактивного вещества — ожидаемое число элементарных радиоактивных распадов в единицу времени.
- За единицу активности излучения принимается **1 Беккерель (Бк)**, определяемый как 1 распад за 1 секунду ( $1 \text{ с}^{-1}$ ).

# ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

❖ Ядерные реакции – это превращения ядер под действием легких частиц большой энергии –  $\alpha$ -частиц, протонов, нейтронов ...

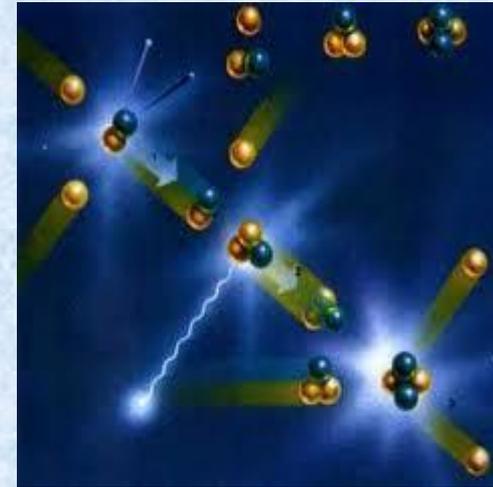
● Первая реакция была проведена Э. Резерфордом при бомбардировке  $\alpha$ -частицами атомов азота. Реакция позволила получить протоны  ${}^1_1\text{p}$  (ядра атома водорода) большой энергии:



● При бомбардировке  $\alpha$ -частицами атомов бериллия Э. Чедвик получил свободные нейтроны  ${}^1_0\text{n}$ :



- При ядерных реакциях выполняются условия сохранения заряда и числа нуклонов.
- При ядерных реакциях необходимо сблизить частицу с ядром на очень малое расстояние, чтобы произошел захват частицы ядерными силами.
- Притяжение при действии ядерных сил возникает на очень коротких расстояниях  $R \lesssim 10^{-15}$  м. Такое сближение происходит при больших кинетических энергиях частиц.



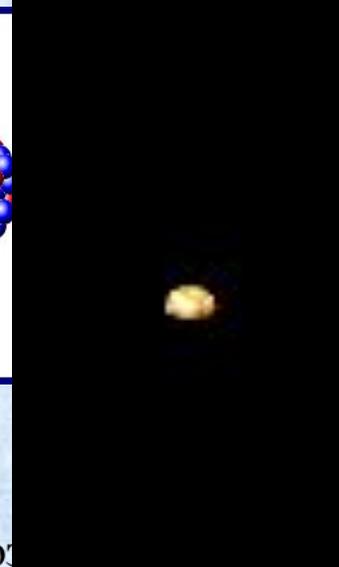
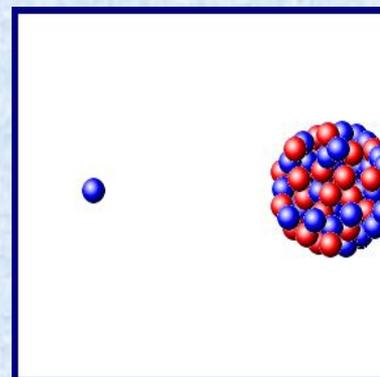
# ДЕЛЕНИЕ

## ЯДЕР

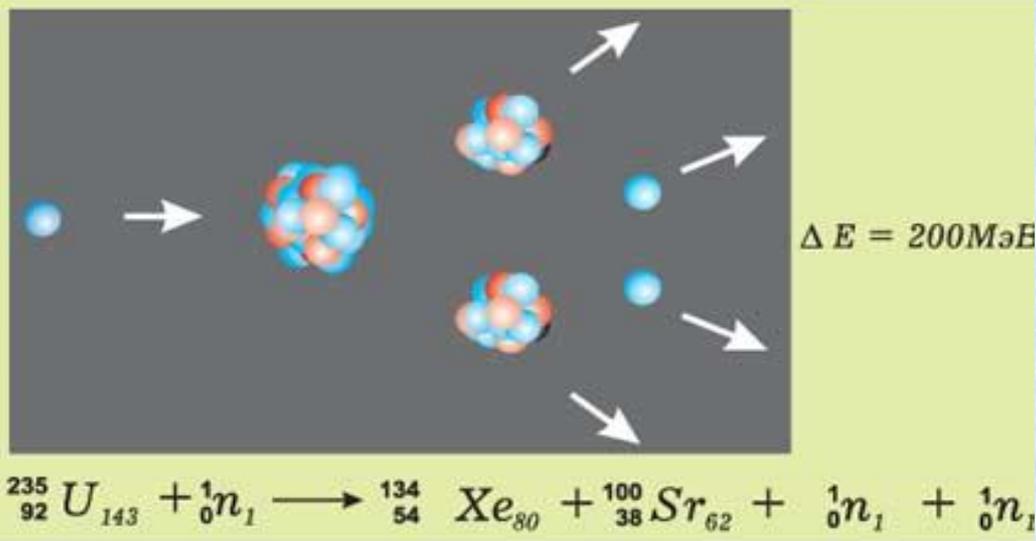
Большое практическое значение имеют реакции деления тяжелых ядер (уран, плутоний и т. д.) при взаимодействии с нейтронами.

Ядро  $^{235}_{92}\text{U}$  при захвате одного **нейтрона** делится на **два дочерних ядра** примерно равной массы, 2 или 3 **новых нейтрона** и большого количества  **$\gamma$ -квантов**. Все осколки деления обладают огромной кинетической энергией.

Вновь образовавшиеся нейтроны взаимодействуют с другими ядрами урана, процесс лавинообразно нарастает - **возникает цепная реакция**.



Реакция деления ядра урана



Цепная реакция возможна, если количество делящегося вещества (урана, плутония) больше некоторой критической величины. Для  $^{235}_{92}\text{U}$  **критическая масса** равна примерно **50 кг**.

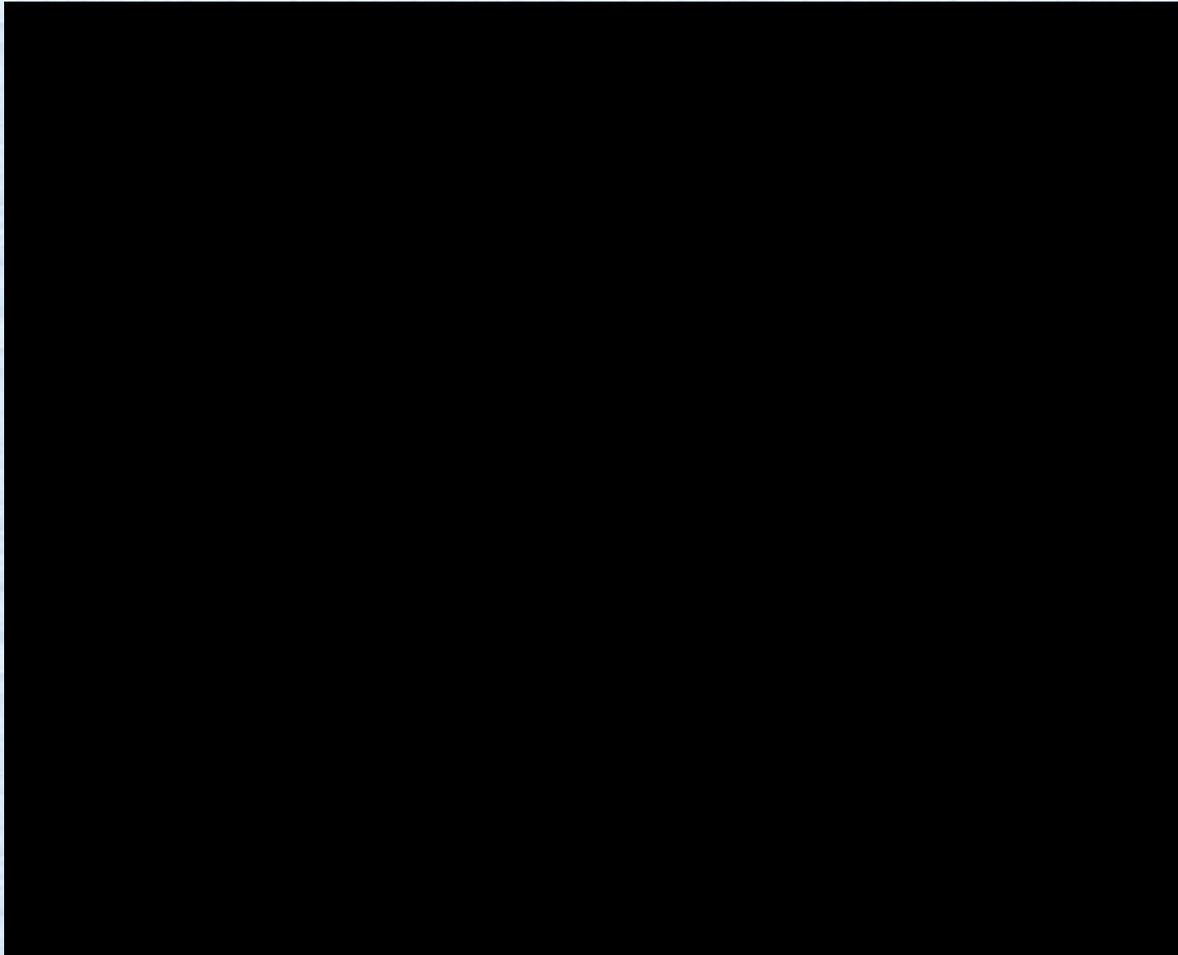
Если две половинки шара, изготовленного из  $^{235}_{92}\text{U}$  **радиусом 5 см** соединить, то произойдет **ядерный взрыв**.

Этот принцип лежит в основе неуправляемой цепной реакции деления, которая используется в ядерном оружии.

# УПРАВЛЯЕМОЕ ДЕЛЕНИЕ

**ЯДЕР** В атомном реакторе осуществляется управляемая цепная реакция. Для этого нужно поддерживать число нейтронов постоянным. В этом случае равномерно выделяется энергия, которая используется для полезных целей.

Для регулирования потока нейтронов используются **замедлители** (вода, графит), **отражатели** (бериллий) и **поглотители** (бор)



# ЯДЕРНАЯ

**ЭНЕРГЕТИКА** На десяти атомных электростанциях Российской Федерации эксплуатируется 31 энергоблок установленной мощностью 23,2 ГВт

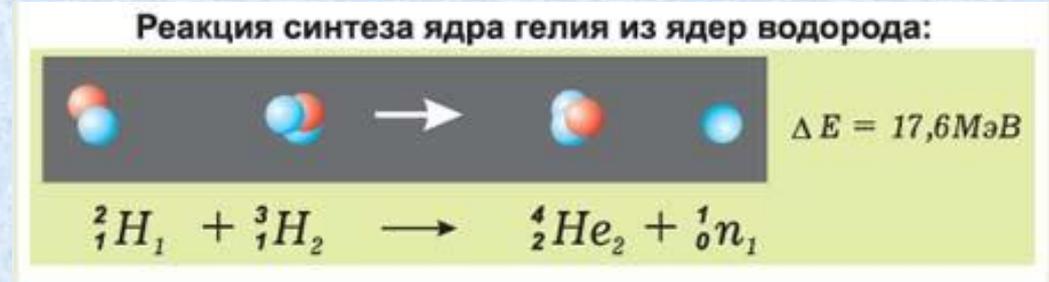
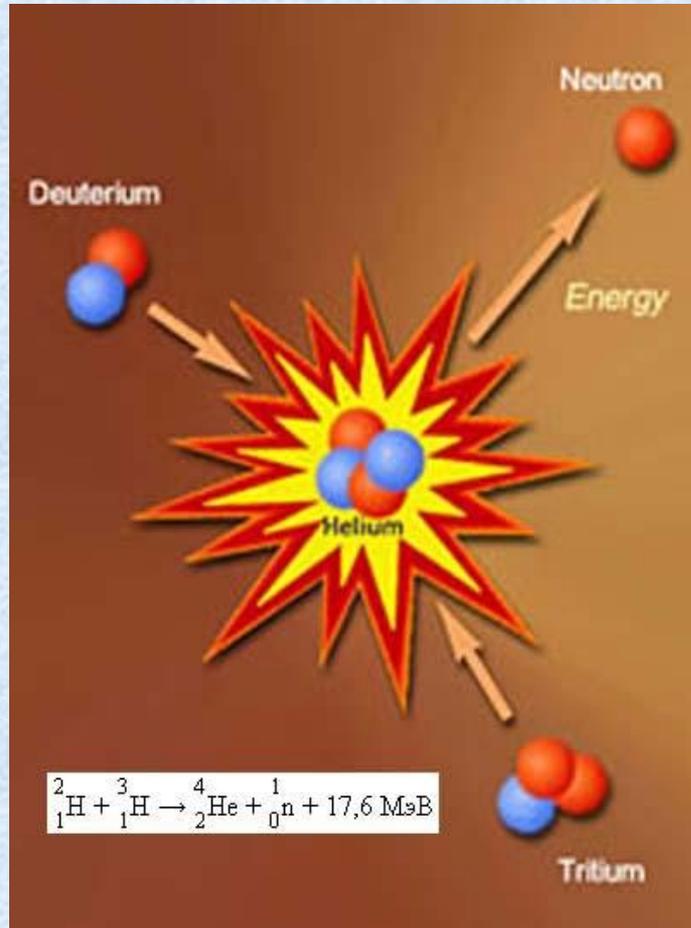


Атомные электростанции вырабатывают значительное количество электро-энергии в разных странах – в среднем по миру - 16 %, в России – 15%, во Франции – 75 %. Без их вклада уже не обойтись, хотя их работа создает большие экологические проблемы. Они связаны с радиоактивным заражением местности во время аварий, с хранением отработанного ядерного топлива – в общем, с действием радиоактивных излучений на человека. От любых радиоактивных излучений необходима защита.

# СИНТЕЗ

## ЯДЕР

Пример реакции синтеза – это реакция слияния ядер дейтерия и трития с образованием ядра гелия и нейтрона



Подобные реакции называют **термоядерными** реакциями. Чтобы такая реакция могла произойти, необходимо, чтобы при столкновениях ядра приближались друг к другу **на малые расстояния** порядка  $10^{-15}$  м, когда начинают действовать ядерные силы притяжения.

Для этого ядра должны обладать большими скоростями, что возможно в смеси газов при высоких температурах - выше миллиона градусов и при достаточно большой плотности

Неуправляемые термоядерные реакции осуществлены в водородной бомбе. Термоядерные реакции являются источниками энергии в Солнце и звездах

# БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ

## ИЗЛУЧЕНИЯ

- Основное действие радиоактивных излучений на вещество состоит в **ионизации** атомов или молекул этого вещества..
- **Ионизацию** могут вызывать все заряженные частицы, а также нейтроны и  $\gamma$ -кванты.
- Действие ионизирующих излучений характеризуется **поглощенной дозой**: она равна отношению **поглощенной энергии** ионизирующего излучения к **массе** поглощающего вещества:

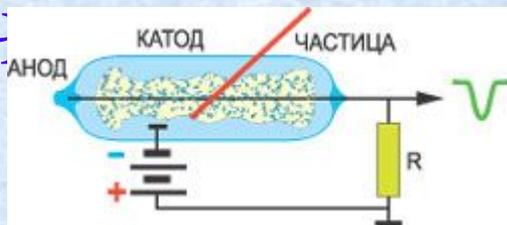
$$D = \frac{E}{m}$$

• За единицу поглощённой дозы облучения принимается **1 Грей (Гр)**, определяемый как 1 джоуль энергии на килограмм массы (**1 Дж/кг**).

• За единицу эквивалентной дозы облучения принимается **1 Зиверт (Зв)**, доза любого вида ионизирующего излучения, поглощённая 1 кг биологической ткани и приносящая такой же биологический эффект (вред), как и поглощённая доза гамма-излучения в **1 Грей**

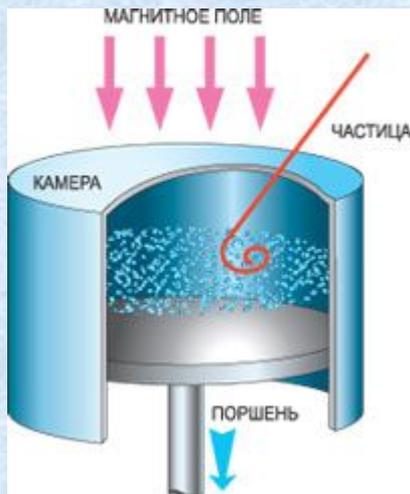
• Обычно за год от естественных природных излучений человек получает дозу **2 мЗв**. Допустимая годовая доза лиц, работающих с источниками не должна превышать **50 мЗв**. Смертельная доза составляет величину **6 Зв**, полученную за короткий период.

# МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ



**Счетчик Гейгера** состоит из стеклянной трубки, покрытой изнутри металлическим слоем – **катода** и тонкой металлической нити по центру – **анода**. Трубка заполнена газом (аргоном).

- Заряженная частица, пролетая в газе, ионизирует молекулы аргона, образуя новые заряженные частицы. Возникает лавина ионов, через счетчик проходит ток, который регистрируется прибором (в наушнике раздается щелчок).
- Из-за повышения напряжения на сопротивлении  $R$  уменьшается напряжение на самом счетчике и разряд прекращается. Точно так же регистрируется следующая частица.



**Камера Вильсона** – представляет собой емкость со стеклянной крышкой и поршнем в нижней части заполненную насыщенными парами воды, спирта или эфира.

- Когда поршень опускается, то за счет адиабатического расширения пары охлаждаются и становятся пересыщенными.

- Заряженная частица, проходя сквозь камеру, оставляет на своем пути цепочку ионов. Пар конденсируется на ионах, делая видимым след частицы.





**Помни! Какой бы дозиметр ни нашелся**  
**В грубом приближении можно принять, что:**  
**1 Зиверт = 1 Грей = 100 Рад = 100 Бэр = 100 Рентген**

# КВАНТОВЫЕ

## ИСПОЛЬЗОВАЕМЫЕ РЕСУРСЫ:

1. Физика. Учебник для 9 класса общеобразовательных учреждений. Коллектив авторов. Под редакцией А.А. Пинского и В.Г.Разумовского. 4-е издание. Москва. «Просвещение». 2005г.
2. Квантовая физика. Электронный каталог учебных таблиц / [http://www.posobiya.ru/SREDN\\_SKOOL/PHISIC/N131/index.html](http://www.posobiya.ru/SREDN_SKOOL/PHISIC/N131/index.html)
3. Мякишев, Г.Я. и др. Физика. 11 класс [Текст]: учебник для общеобразовательных школ / учебник для общеобразовательных школ Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев . –" Просвещение ", 2009.
4. Ядро. - Словари и энциклопедии на Академике [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_philosophy/1799/ЯДРО](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_philosophy/1799/ЯДРО)
5. КЛАСС!ная физика для любознательных. Структура атома. <http://class-fizika.narod.ru/at5.htm>
6. Открытая физика [текст, рисунки] / <http://www.physics.ru>
7. Полный комплект цветных таблиц по физике. Весь курс средней школы 100 таблиц формата А1. . Издательство ВАРСОН / [http://www.varson.ru/physics\\_ser9kvant.html](http://www.varson.ru/physics_ser9kvant.html)
8. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов / <http://school-collection.edu.ru/>
9. Атом водорода. Линейчатые спектры. Геометрический портал. / [http://neive.by.ru/bestsoft/9\\_3.htm](http://neive.by.ru/bestsoft/9_3.htm)
10. Школьная физика от Шептикина А.С. <http://physik.ucoz.ru/>
11. Федеральный институт педагогических измерений. КИМ Физика [Электронный ресурс] <http://fipi.ru/view/sections/92/docs/>
12. РОСАТОМ. Студентам и школьникам <http://www.rosatom.ru/wps/wcm/connect/rosatom/rosatomsite/education/>