

ЛЕКЦИЯ

- Основы атомной физики. Строение атома и атомного ядра. Радиоактивность.
- Старший преподаватель кафедры оптоэлектроники КубГУ
- Рудоман Н.Р.

ПОСТУЛАТЫ БОРА

Постулаты Бора — основные допущения, сформулированные Нильсом Бором в 1913 году для объяснения закономерности линейчатого спектра атома водорода и водородоподобных ионов и квантового характера испускания и поглощения света. Бор исходил из планетарной модели атома Резерфорда.



Нильс Бор
1885-1962

ПЕРВЫЙ ПОСТУЛАТ БОРА:

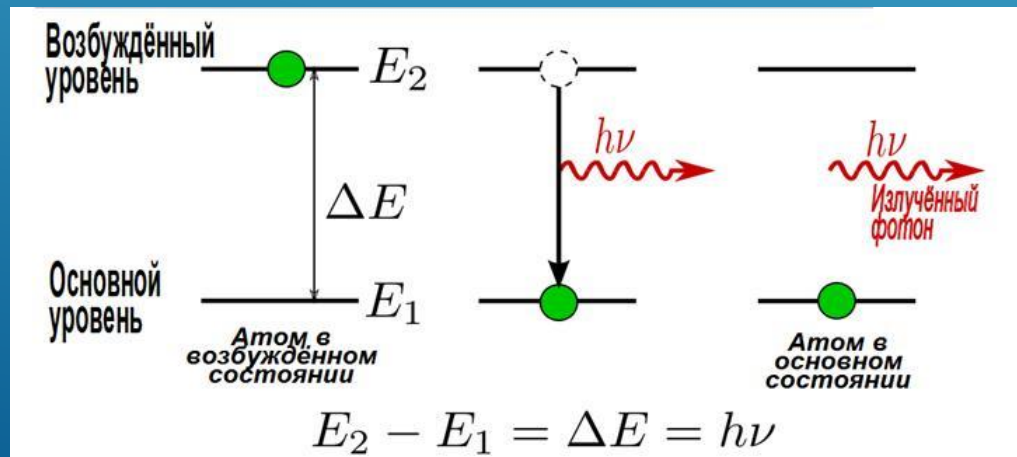
Атомная система может находиться только в особых стационарных, или квантовых, состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n . В стационарном состоянии атом не излучает.

Постулат находится в противоречии с классической механикой (Энергия движущихся электронов может быть любой), с электродинамикой Максвелла, т.к. допускает возможность ускоренного движения без излучения электромагнитных волн.

ВТОРОЙ ПОСТУЛАТ БОРА:

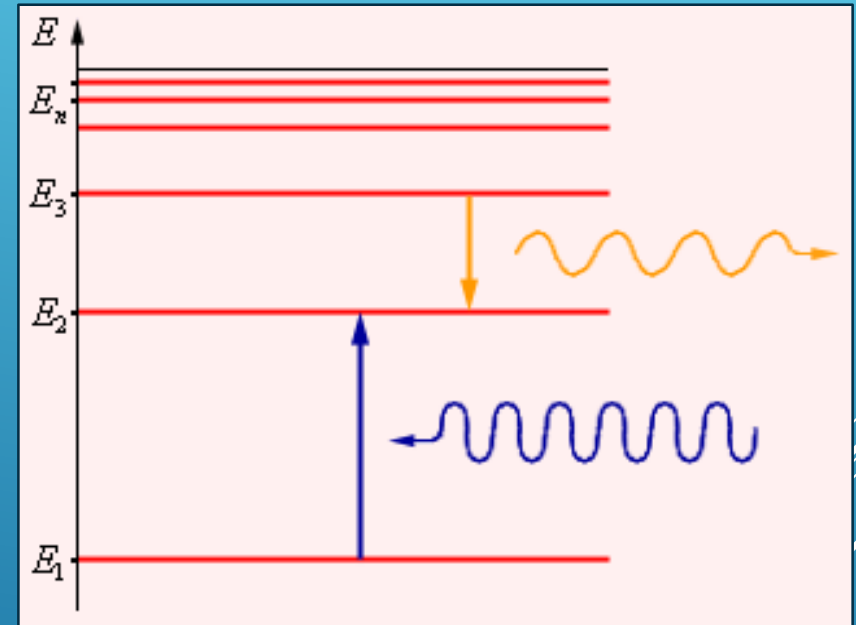
Излучение света происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_k в стационарное состояние с меньшей энергией E_n . Энергия излученного фотона равна разности энергий стационарных состояний.

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n \quad \Rightarrow \quad \nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h}$$



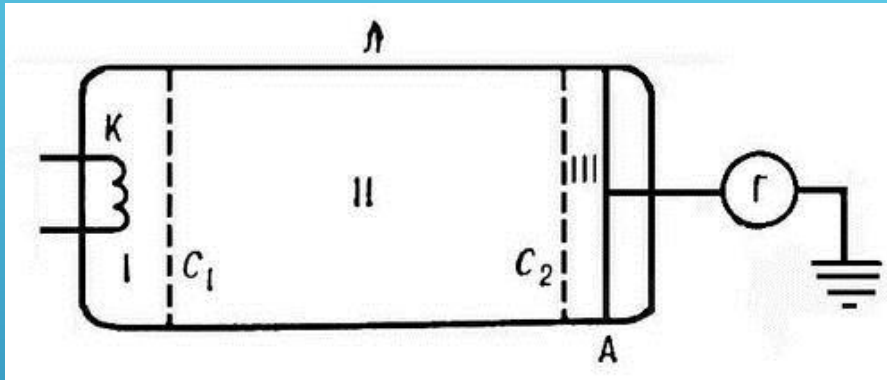
При поглощении света атом переходит из стационарного состояния с меньшей энергией в стационарное состояние с большей энергией, при излучении – из стационарного с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией.

Второй постулат противоречит электродинамике Максвелла, т.к. частота излученного света свидетельствует не об особенностях движения электрона, а лишь об изменении энергии атома.

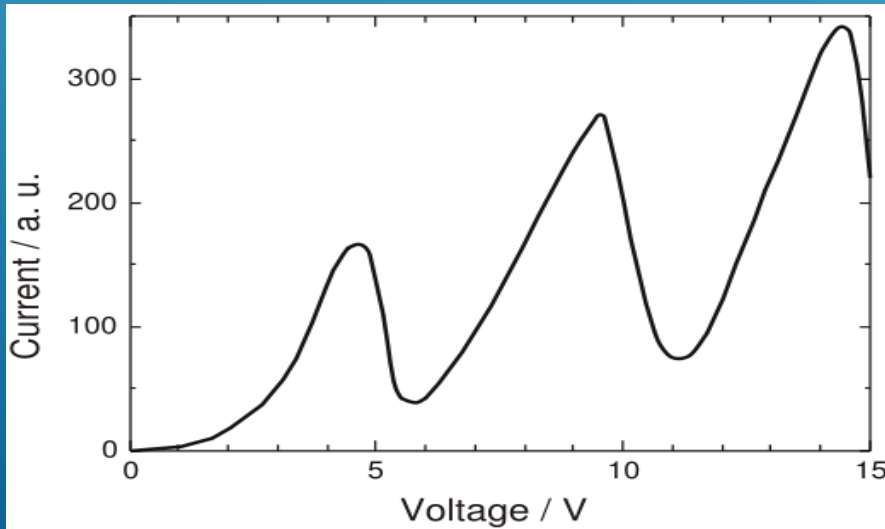


ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ

В 1914 году Франк и Герц поставили опыт, подтверждающий теорию Бора: атомы разреженного газа обстреливались медленными электронами с последующим исследованием распределения электронов по абсолютным значениям скоростей до и после столкновения. При упругом ударе распределение не должно меняться, так как изменяется только направление вектора скорости. Результаты показали, что при скоростях электронов меньше некоторого критического значения удары упруги, а при критической скорости столкновения становятся неупругими, электроны теряют энергию, а атомы газа переходят в возбуждённое состояние. При дальнейшем увеличении скорости удары снова становились упругими, пока не достигалась новая критическая скорость. Наблюдаемое явление позволили сделать вывод о том, что атом может или вообще не поглощать энергию, или же поглощать в количествах равных разности энергий стационарных состояний.

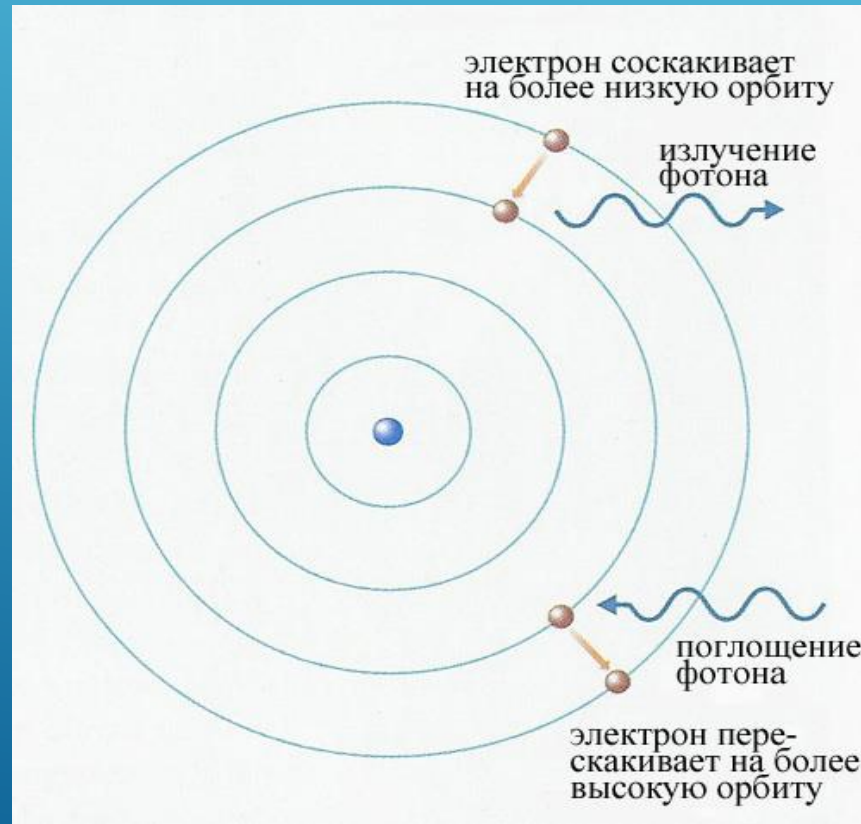


- Схема электровакуумной трубки, использованной в эксперименте



- Зависимость тока от напряжения. Видны острые периодические пики соответствующие ионизации атомов.

Поглощение света – процесс, обратный излучению. Атом, поглощая свет, переходит из низших энергетических состояний в высшие. При этом он поглощает излучение той же самой частоты, которую излучает, переходя из высших энергетических состояний в низшие.



МОДЕЛЬ АТОМА ВОДОРОДА ПО БОРУ

Бор рассматривал простейшие круговые орбиты.

$W_p = -\frac{e^2}{r}$ - потенциальная энергия взаимодействия электрона с ядром в абсолютной системе единиц. e – модуль заряда электрона, r – расстояние от электрона до ядра.

Произвольная постоянная, с точностью до которой определяется потенциальная энергия, принята равной нулю.

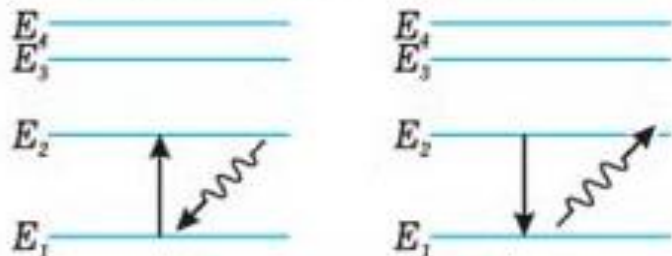
$W_p < 0$, так как взаимодействующие частицы имеют заряды противоположных знаков.

$E = E_{кин} + W_p$ – полная энергия атома.

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{r}$$

$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{r}$ - центростремительное ускорение по второму закону Ньютона сообщает электрону на орбите кулоновская сила.

Поглощение и излучение квантов света атомами



$$h\nu = E_n - E_m$$



АТОМ ВОДОРОДА

$$\frac{m_e v^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad m_e v r = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2 n^2}{m_e e^2}, \quad V_{nm} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

ПРАВИЛО КВАНТОВАНИЯ

Из первого постулата Бора энергия может принимать только определенное значение E_n .

Электрон движется по круговой орбите, то

$$\left. \begin{array}{l} mv - \text{модуль импульса } \bar{e} \\ r - \text{радиус орбиты} \end{array} \right\} \text{не меняются}$$

mvr – момент импульса в механике

$$[\hbar] = \text{Дж} \cdot \text{с} - \text{Постоянная Планка.}$$

$$\text{Бор} \Rightarrow [mvr] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \cdot \text{м} = \text{Дж} \cdot \text{с} = [\hbar]$$

Бор предположил, что произведение модуля импульса на радиус орбиты кратно постоянной Планка.

$$mvr = n\hbar, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots - \text{правило квантования}$$

РАДИУСЫ ОРБИТ

$$\left. \begin{array}{l} mrv^2 = e^2 \\ mrv = n\hbar \end{array} \right\} \Rightarrow r_n = \frac{\hbar^2 n^2}{me^2} - \text{радиусы орбит}$$

Радиусы боровских орбит меняются дискретно с изменением числа n .

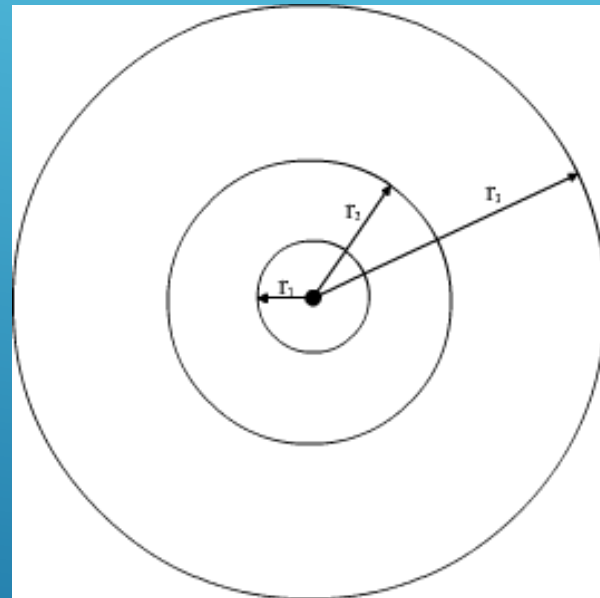
Значения электронных орбит определяют: \hbar ; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ г}$; e

Наименьший радиус орбиты:

r_1 , где $n = 1$

$$r_1 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ см} - \text{радиус атома водорода.}$$

Размеры атома определяются квантовыми законами (радиус пропорционален квадрату постоянной Планка). Классическая теория не может объяснить, почему атом имеет размеры порядка 10^{-8} см .



ЭНЕРГИЯ СТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ

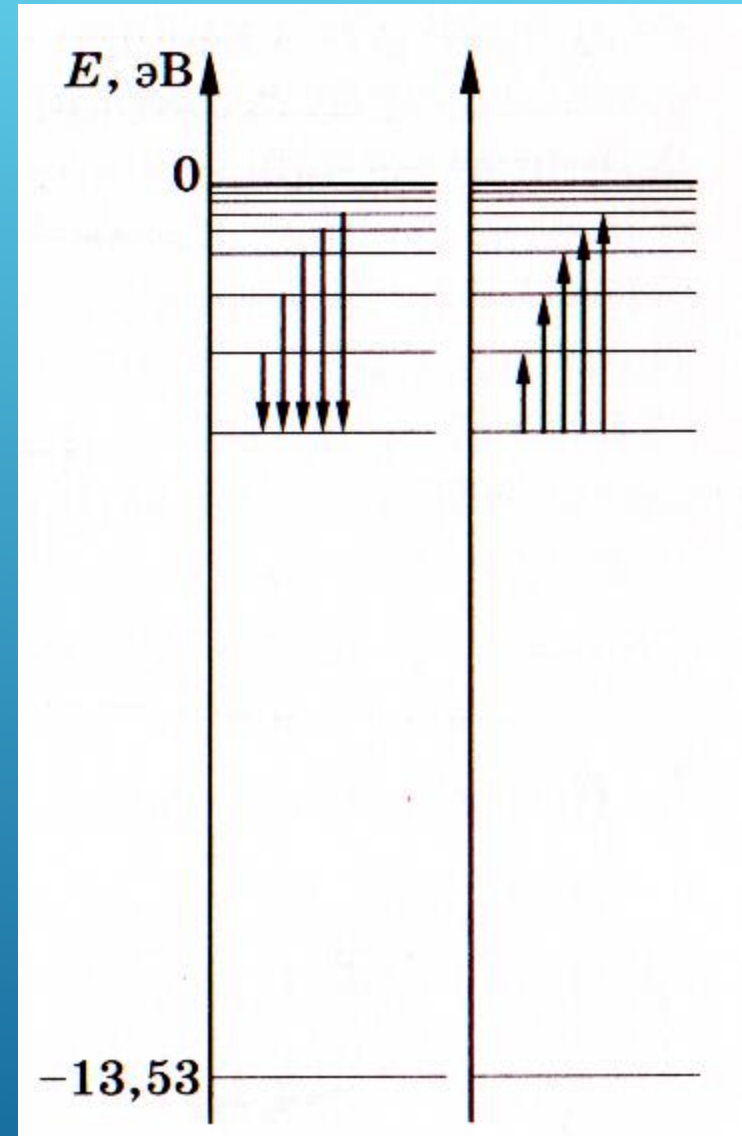
$$r_n = \frac{\hbar^2 n^2}{me^2} - \text{радиус орбит.}$$

$$E = -\frac{e^2}{2r} - \text{энергия}$$

$$E = -\frac{e^2 me^2}{2\hbar^2 n^2} = -\frac{me^4}{2\hbar^2 n^2}$$

- дискретные
(прерывистые)
значения

энергий стационарных состояний атома
(энергетические уровни).



НИЗШЕЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

$$n = 1; \quad E_1 = -\frac{me^4}{2\hbar^2} = -2,168 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = -13,53 \text{ эВ}$$

Атом может находиться сколь угодно долго.

Чтобы ионизировать атом водорода, ему нужно сообщить энергию 13,53 эВ – энергия ионизации.

Возбуждающий атом: $n=2, 3, 4, \dots$

$\tau = 10^{-8}$ с – время жизни в возбужденном состоянии. За время τ электрон успевает совершить около ста миллионов оборотов вокруг ядра.

ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕТА

Возможные частоты излучения атома водорода:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

где $R = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3}$ - постоянная Ридберга $R = 109737,316 \text{ см}^{-1}$.

Теория Бора приводит к количественному согласию с экспериментом для значений частот, излучаемых атомом водорода. Все частоты излучений атома водорода образуют ряд серий, каждому из которых соответствует определенное значение числа n и различные значения $k > n$.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ СЕРИИ ВОДОРОДА

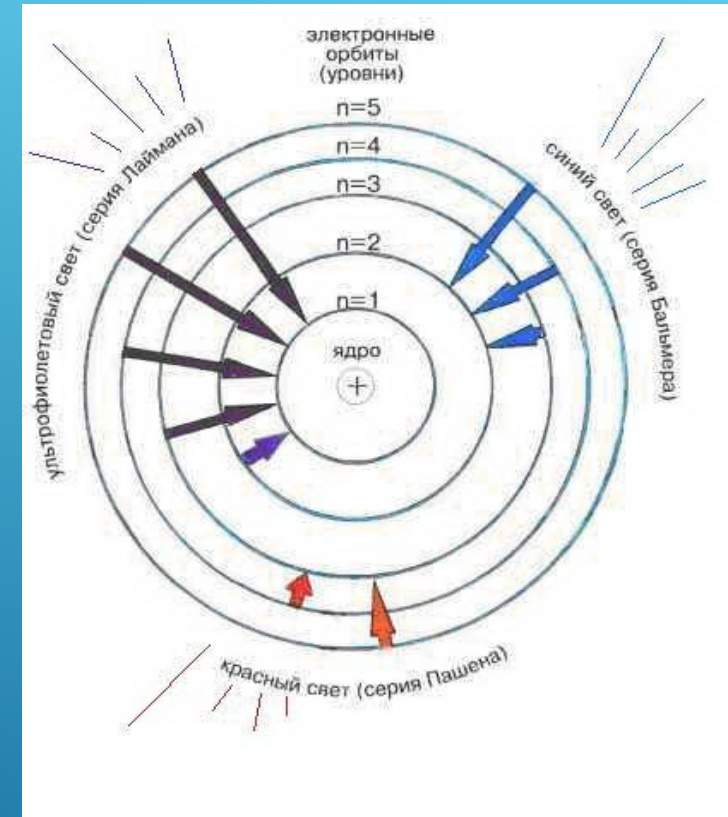
Серия Лаймана – открыл в 1906 г. Теодор Лайман.

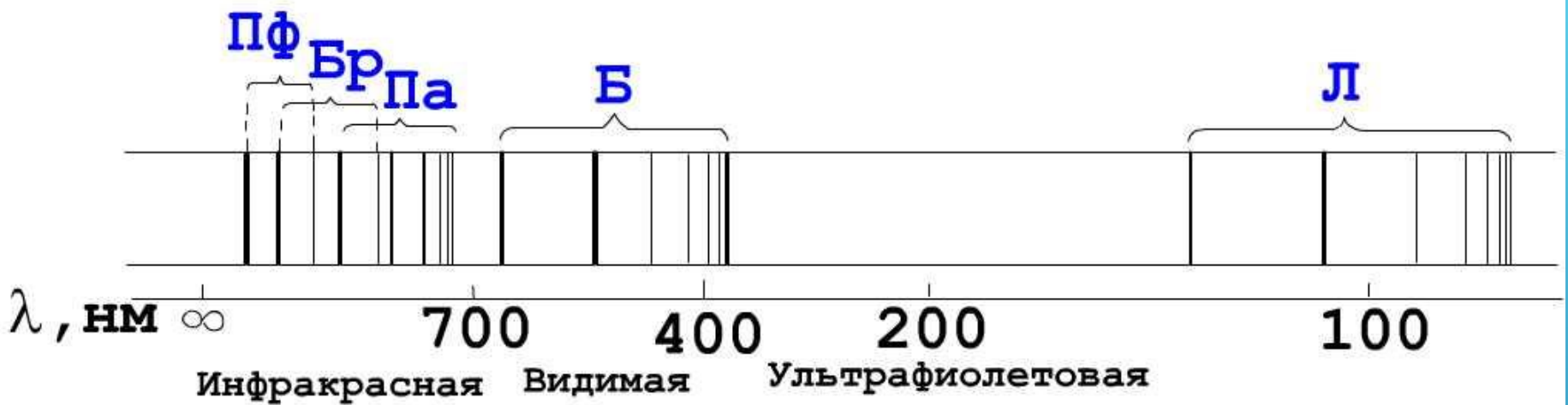
Данная серия образуется при переходах электронов с возбуждённых энергетических уровней на первый в спектре излучения и с первого уровня на все остальные при поглощении.

Серия Бальмера – открыл в 1885 г. Иоганн Бальмер. Данная серия образуется при переходах электронов с возбужденных энергетических уровней на второй в спектре излучения и со второго уровня на все вышележащие уровни при поглощении.

Серия Пашена – открыл в 1908 г. Фридрих Пашен.


Данная серия образуется при переходах электронов с возбужденных энергетических уровней на третий в спектре излучения и с третьего уровня на все вышележащие уровни при поглощении.



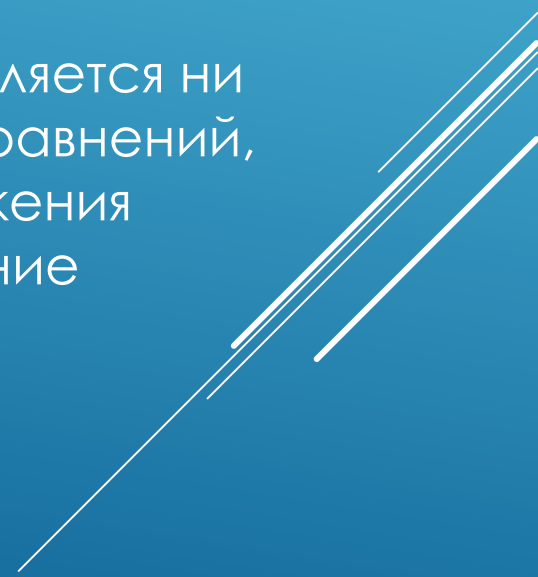


Серии: Пф - Пфунда;
 Бр - Бреккета;
 Па - Пашена;
 Б - Бальмера;
 Л - Лаймана;
 серия Бр перекрывается
 сериями Пф и Па.

ДОСТОИНСТВА ТЕОРИИ БОРА

1. Объяснила дискретность энергетических состояний водородоподобных атомов.
 2. Теория Бора подошла к объяснению внутриатомных процессов с принципиально новых позиций, стала первой полуквантовой теорией атома.
 3. Эвристическое значение теории Бора состоит в смелом предположении о существовании стационарных состояний и скачкообразных переходов между ними. Эти положения позднее были распространены и на другие микросистемы.
- 

НЕДОСТАТКИ ТЕОРИИ БОРА

1. Не смогла объяснить интенсивность спектральных линий.
 2. Справедлива только для водородоподобных атомов и не работает для атомов, следующих за ним в таблице Менделеева.
 3. Теория Бора логически противоречива: не является ни классической, ни квантовой. В системе двух уравнений, лежащих в её основе, одно — уравнение движения электрона — классическое, другое — уравнение квантования орбит — квантовое.
- 

ОТКРЫТИЕ НЕЙТРОНА. СТРОЕНИЕ АТОМНОГО ЯДРА.

Открытие нейтрона.

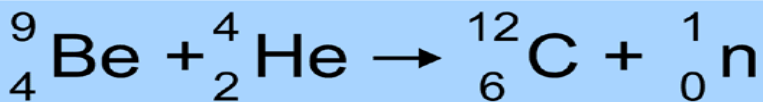
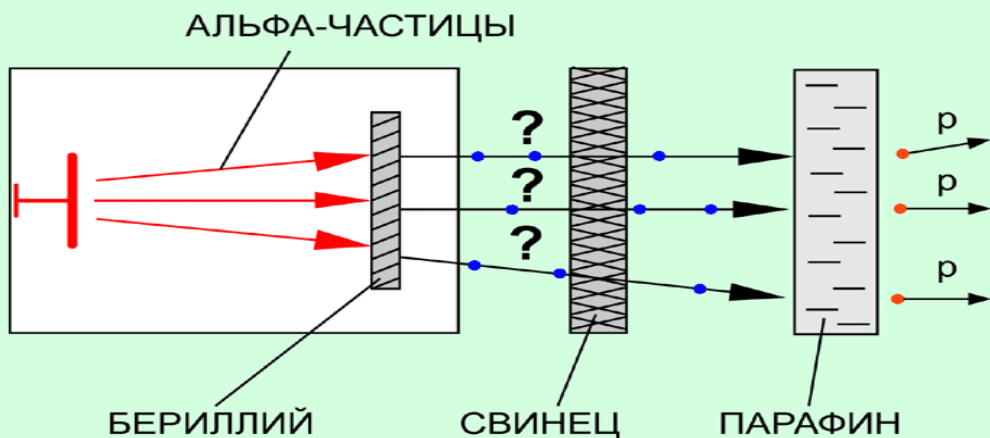
- При бомбардировке бериллия α -частицами обнаруживалось какое-то сильно проникающее излучение, способное преодолеть такую преграду, как свинцовая пластина в 10-20 см толщиной.
- Ирен Жолио-Кюри и Фредерик Жолио-Кюри предложили, что излучение бериллия выбивает из парафиновой пластины протоны.



Ирен
Жолио-Кюри
(1897-1956)



Фредерик
Жолио-Кюри
(1900-1958)



- Они с помощью камеры Вильсона обнаружили эти протоны и по длине пробега оценили их энергию.
- Если протоны ускорились в результате столкновения с γ -квантами, то их энергия должна быть около 55 МэВ.

- Дж. Чедвик наблюдал в камере Вильсона треки ядер азота, испытавших столкновение с бериллиевым излучением.
- По его оценке, энергия γ -квантов должна была составлять 90 МэВ. Наблюдение ядер отдачи аргона привели к цифре – 150 МэВ.



- 1) Предположение об излучении бериллием γ -квантов, т. е. частиц, лишенных массы покоя, несостоятельно. Из бериллия под действием α -частиц вылетают какие-то достаточно тяжелые частицы, так как только при столкновениях с тяжелыми частицами протоны или ядра азота и аргона могли получить ту энергию, которая наблюдалась.
- 2) Так как частицы обладали большой проникающей способностью и непосредственно не ионизовали газ, то они были **электрически нейтральными.**



Джон Чедвик
(1920-1998)

Новая частица была названа нейтроном.

Из закона сохранения энергии и импульса к соударениям нейтронов с атомными ядрами:

$$v_{\text{я}} = \frac{2m_n}{m_n + M_{\text{я}}} v_n;$$

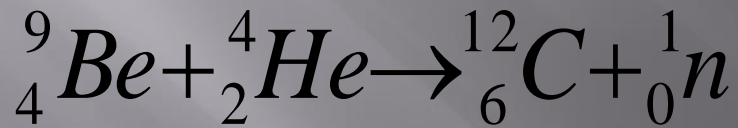
где m_n - масса нейтрона;
 v_n – скорость нейтрона до соударения;
 $M_{\text{я}}$ – масса ядра отдачи.

Отношение скоростей ядер отдачи азота и водорода:

$$\frac{v_N}{v_H} = \frac{m_n + M_H}{m_n + M_N}$$

где M_H и M_N – массы ядер водорода и азота.

При попадании α -частиц в ядра бериллия происходит следующая реакция:



${}^1_0\text{n}$ - символ нейтрона.

Строение атомного ядра.

Советский физик Д. Д. Иваненко и В. Гейзенберг предложили **протонно-нейтронную модель ядра: ядра состоят из элементарных частиц двух сортов: протонов и нейтронов.**

- Число протонов в ядре равняется числу электронов в атомной оболочке, так как атом в целом нейтрален.
- Протон и нейтрон – два зарядовых состояния ядерной частицы, называемых нуклоном.



Дмитрий Дмитриевич
Иваненко
(1904-1994)



Вернер Карл
Гейзенберг
(1901-1976)

Характеристики нуклонов	Протон (p)	Нейтрон (n)
Электрический заряд	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл	0
Масса	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг	$1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса в m_e	1836	1839

Характеристика	Обозначение	Определение
Зарядовое число	Z	Равно числу протонов в ядре, совпадает с порядковым номером химического элемента в Периодической системе элементов
Массовое число	$A=Z+N$	Равно числу нуклонов в ядре (числу протонов Z и нейтронов N)
Заряд ядра	$+Ze$	Так как атом нейтрален, то заряд ядра определяет и число электронов в атоме
Символическая запись ядер	${}^A_Z X$	

Размеры атомных ядер

- Так как для ядер существенны квантовые законы поведения, то они не имеют четко определенных границ.
- Можно говорить только о некотором среднем радиусе ядра.
- Этот радиус определяется экспериментально по рассеянию ядром падающих на него частиц.
- С увеличением массового числа радиус ядра увеличивается:

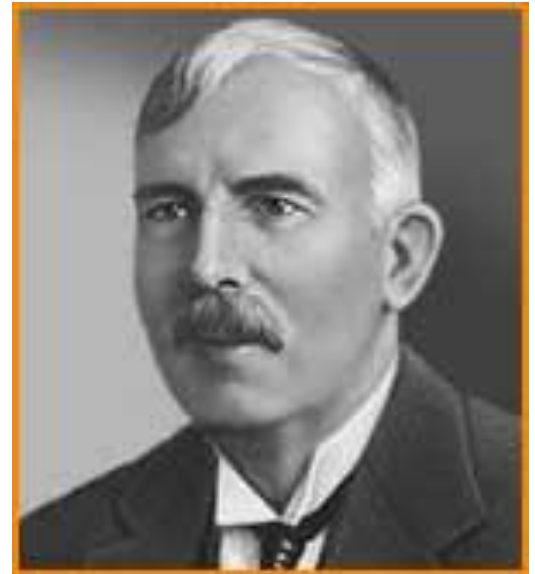
$$R = 1,2\sqrt[3]{A} * 10^{-13} \text{ см};$$

- Объем ядра пропорционален числу нуклонов.
- Плотность ядерного вещества постоянна и одинакова для всех ядер:

$$\rho = \frac{M_{\text{я}}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = 10^{14} \text{ г / см}^3$$

Ядерные реакции.

- **ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ** - превращения атомных ядер при взаимодействии с др. ядрами, элементарными частицами или квантами. Ядерные реакции осуществляют под действием налетающих, или бомбардирующих, частиц, которыми облучают более тяжелые ядра. Первая ядерная реакция была осуществлена Э. Резерфордом, в 1919 г.



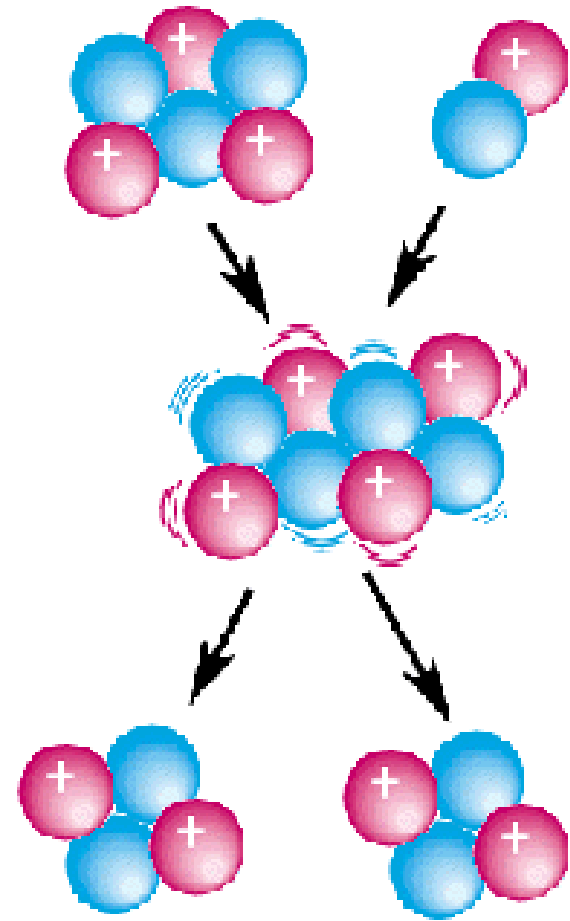
Ядерные реакции.

- Ядерные реакции сопровождаются энергетическими превращениями.

Энергетический выход -

$$Q = (M_p + M_n - M_{\text{я}})c^2 = \Delta M c^2.$$

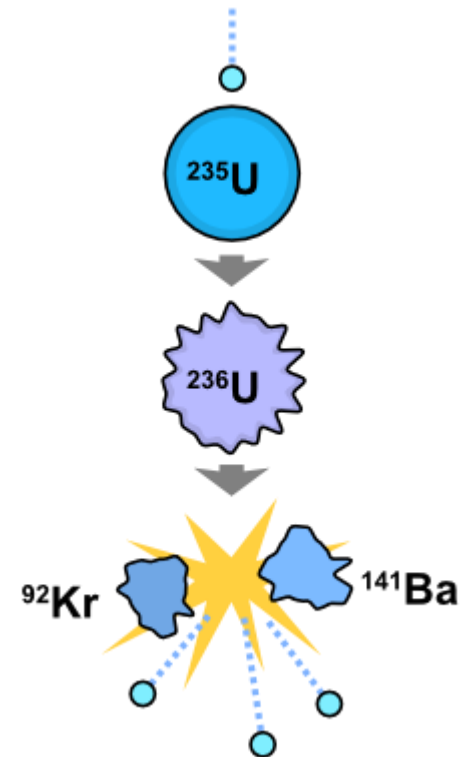
ΔM называется дефектом масс.



Деление тяжелых ядер.

Реакции деления – это процесс, при котором нестабильное ядро делится на два крупных фрагмента сравнимых масс.

В 1939 году немецкими учеными О. Ханом и Ф. Штрассманом было открыто деление ядер урана. Они установили, что при бомбардировке урана нейтронами возникают элементы средней части периодической системы – радиоактивные изотопы бария, криптона.

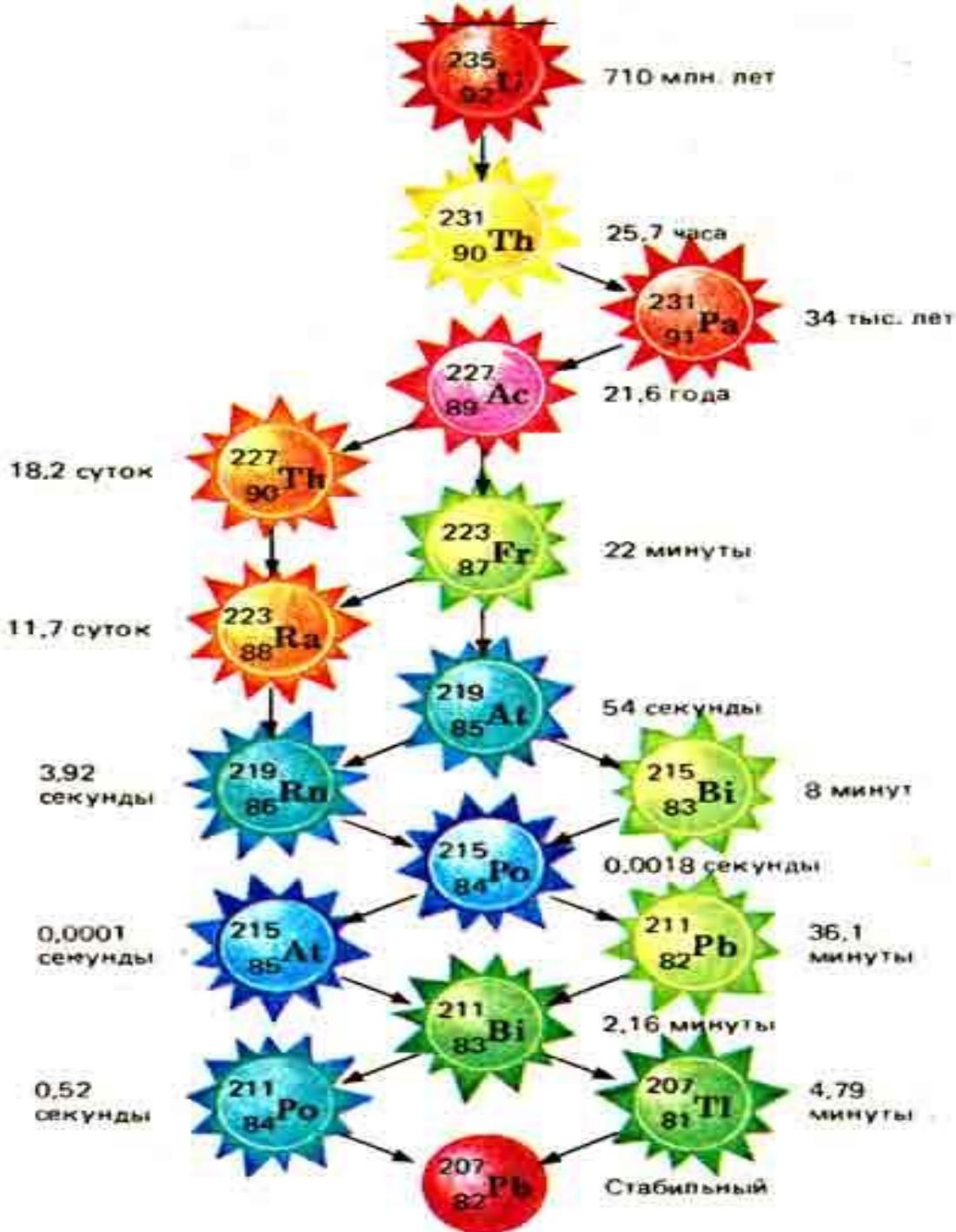


Деление тяжелых ядер.

Уран встречается в природе в виде двух изотопов: (99,3 %) и (0,7 %). При бомбардировке нейтронами ядра обоих изотопов могут расщепляться на два осколка. При этом реакция деления наиболее интенсивно идет на медленных (тепловых) нейтронах, в то время как ядра вступают в реакцию деления только с быстрыми нейтронами с энергией порядка 1 МэВ.

Деление ядер урана

Радиоактивное семейство урана-235. Для каждого изотопа приведен период полураспада



Цепные ядерные реакции.

- При делении ядра урана-235, которое вызвано столкновением с нейтроном, освобождается 2 или 3 нейтрона. При благоприятных условиях эти нейтроны могут попасть в другие ядра урана и вызвать их деление. На этом этапе появятся уже от 4 до 9 нейтронов, способных вызвать новые распады ядер урана и т. д. Такой лавинообразный процесс называется ***цепной реакцией***.

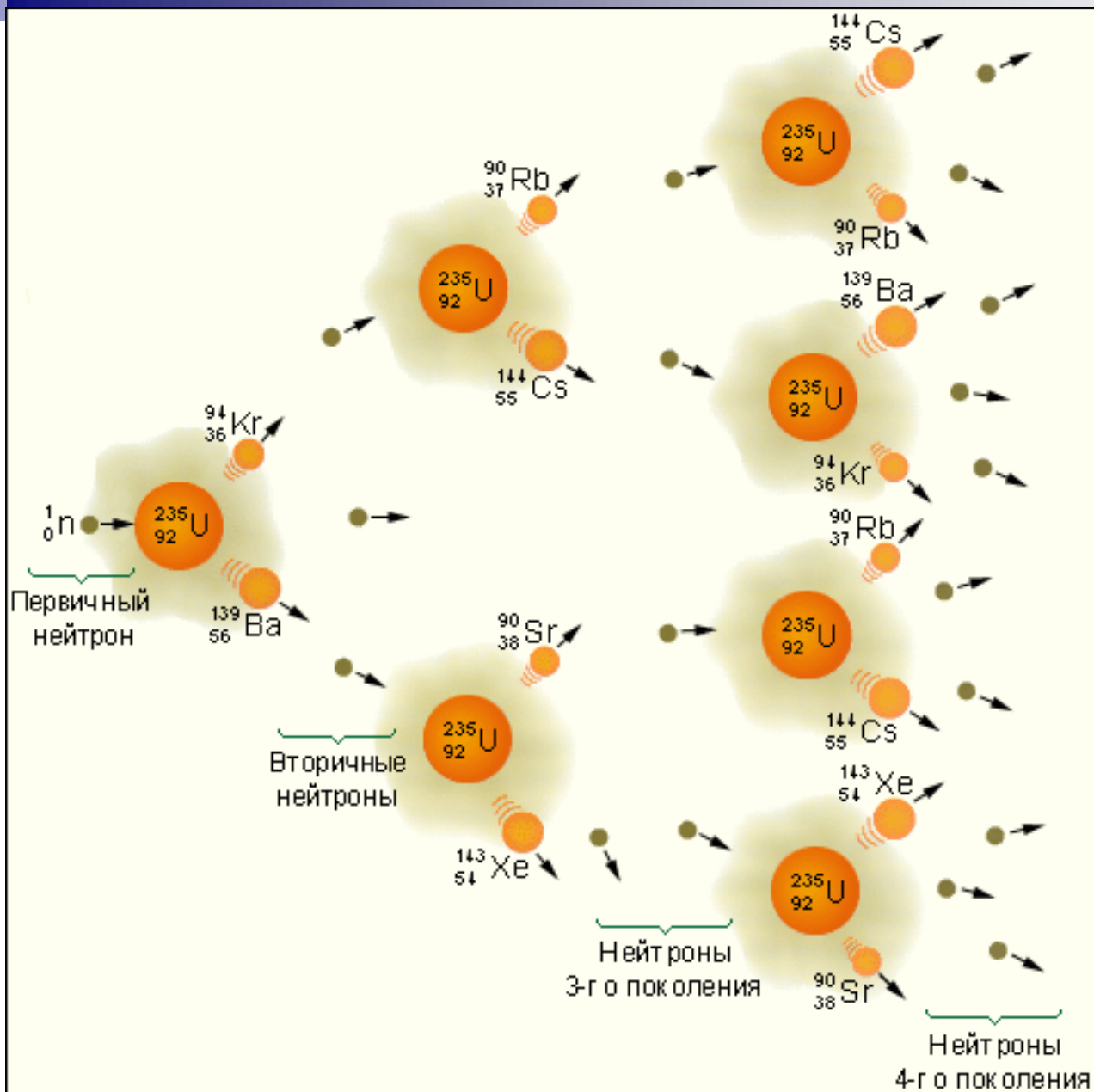


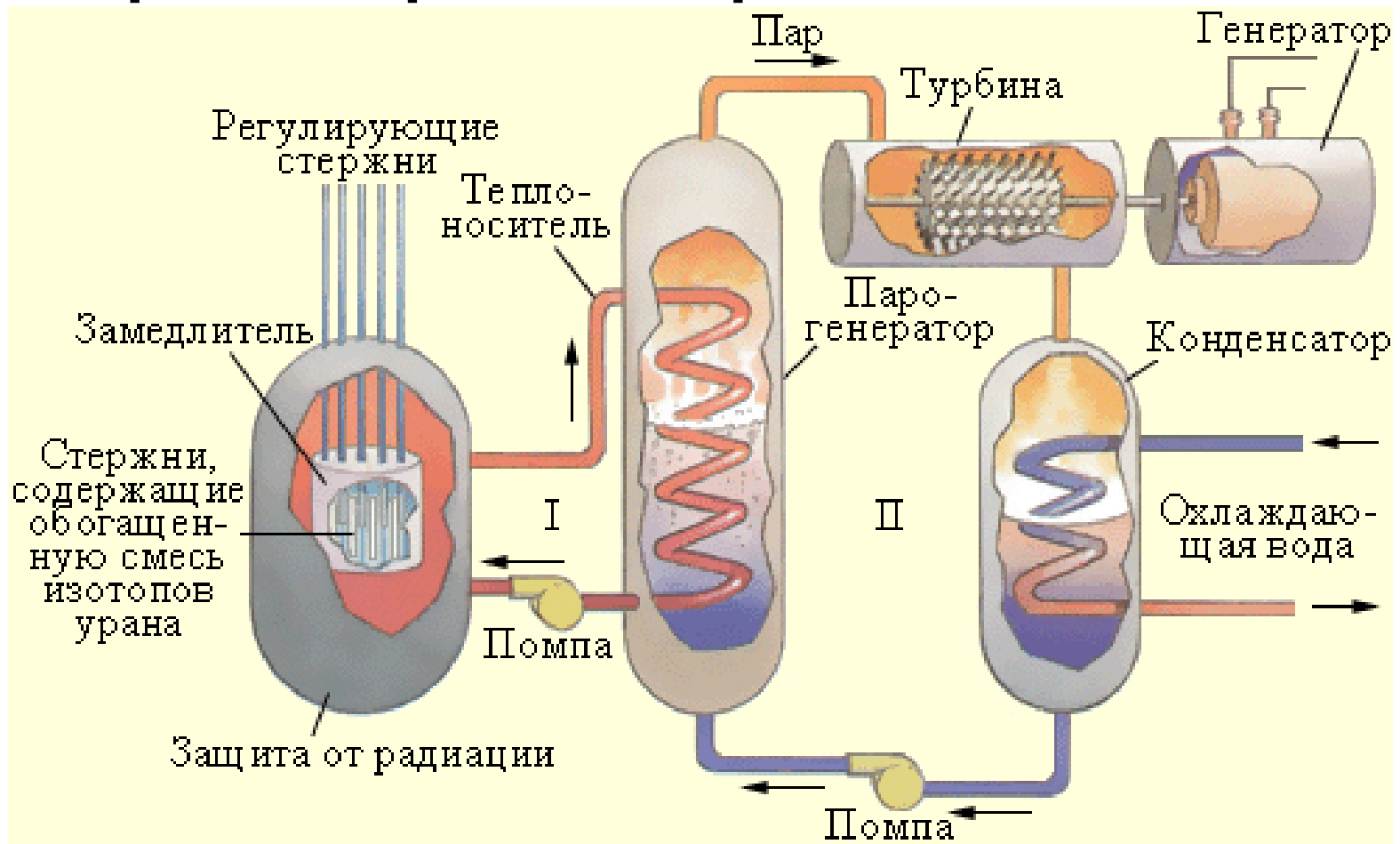
Схема
 развития
 цепной
 ядерной
 реакции.

Ядерный реактор.

- Устройство, в котором поддерживается управляемая реакция деления ядер, называется **ядерным (или атомным) реактором**.

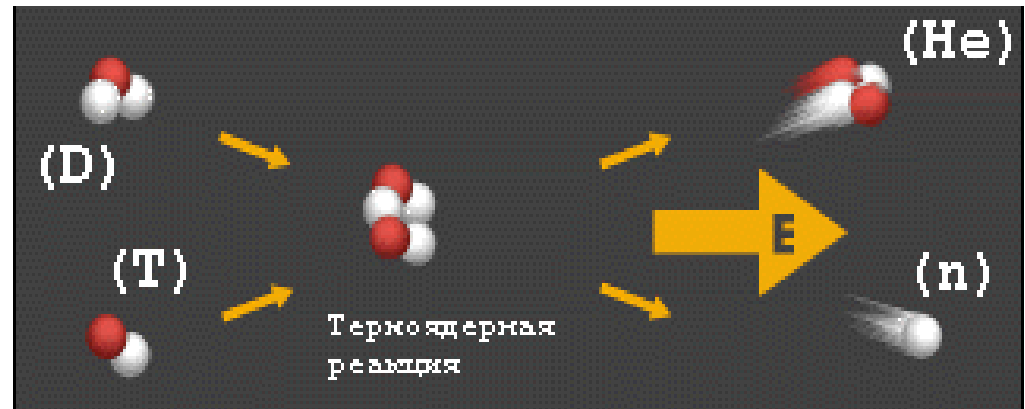


Ядерный реактор.



Термоядерные реакции.

- **Термоядерные реакции** - ядерные реакции между лёгкими атомными ядрами, протекающие при очень высоких температурах (выше 10^7 К).



СИНТЕЗ

- Т. р. в природных условиях протекают лишь в недрах звёзд, а для их осуществления на Земле необходимо сильно разогреть вещество ядерным взрывом, мощным газовым разрядом, гигантским импульсом лазерного излучения или бомбардировкой интенсивным пучком частиц

Применение ядерных реакций.

- Область применения ядерных реакций очень обширна. В настоящее время ядерные реакции применяются в следующих областях деятельности человечества:

Энергетика



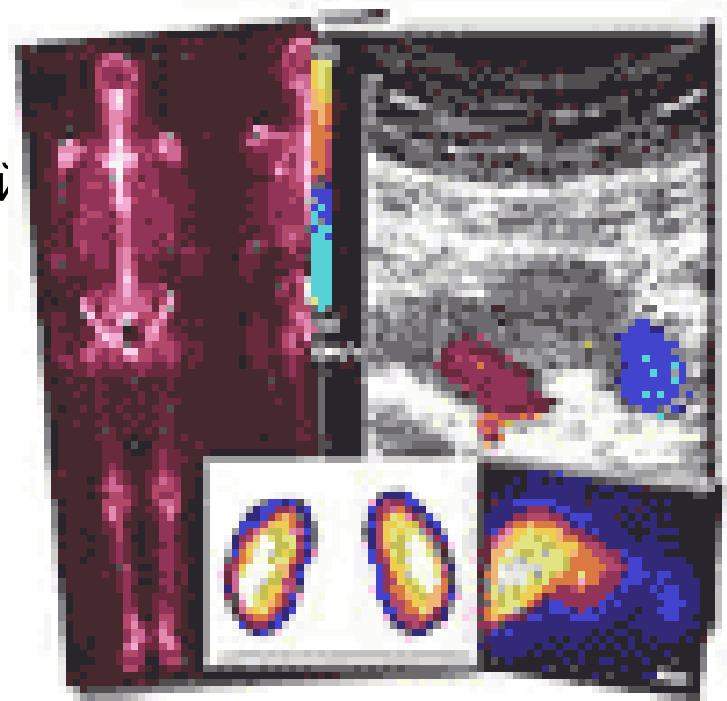
Военная сфера



Применение ядерных реакций.

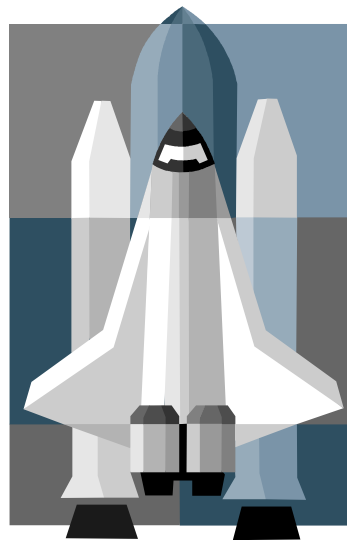
Синтез новых элементов - получение новых элементов, т.к. при расщеплении или слиянии ядер получаются другие элементы таблицы Менделеева.

Медицина - в современной ядерной медицине для научно-исследовательских, диагностических терапевтических целей применяют свыше 50 циклотронных радионуклидов с периодом полураспада от нескольких минут до нескольких лет.



Применение ядерных реакций.

Научные исследования – ядерные реакции довольно широко применяются в научных работах в определенных сферах.



Биологическое действие.



Биологическое действие радиоактивных излучений.

- Радиоактивные излучения губительным образом действуют на живые клетки. Предельно допустимая за год доза для человека равна 0,05 Гр. Доза в 3 - 10 Гр, полученная за короткое время, смертельна.

Действие излучений на человека.

