

# Ядерная физика

1. Приборы для регистрации элементарных частиц.
2. Открытие радиоактивности.  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  –лучи.
3. Открытие протона и нейтрона. Строение ядра. Изотопы.
4. Ядерные силы. Энергия связи ядра.
5. Радиоактивный распад. Виды распада. Закон радиоактивного распада.
6. Ядерные реакции. Энергетический выход ядерной реакции.
7. Ядерная реакция деления ядра. Цепная ядерная реакция и ее виды.  
Ядерный реактор. Атомная бомба.
8. Применение радиоактивного излучения. Радионуклиды.
9. Биологическое действие радиации. Поглощенная доза излучения
10. Радиоактивное облучение человека. Защита от радиации.
11. Ядерная энергетика
12. Термоядерные реакции
13. Элементарные частицы и их классификация

**Приборы для  
наблюдения и  
регистрации  
элементарных частиц**

# Толстослойные



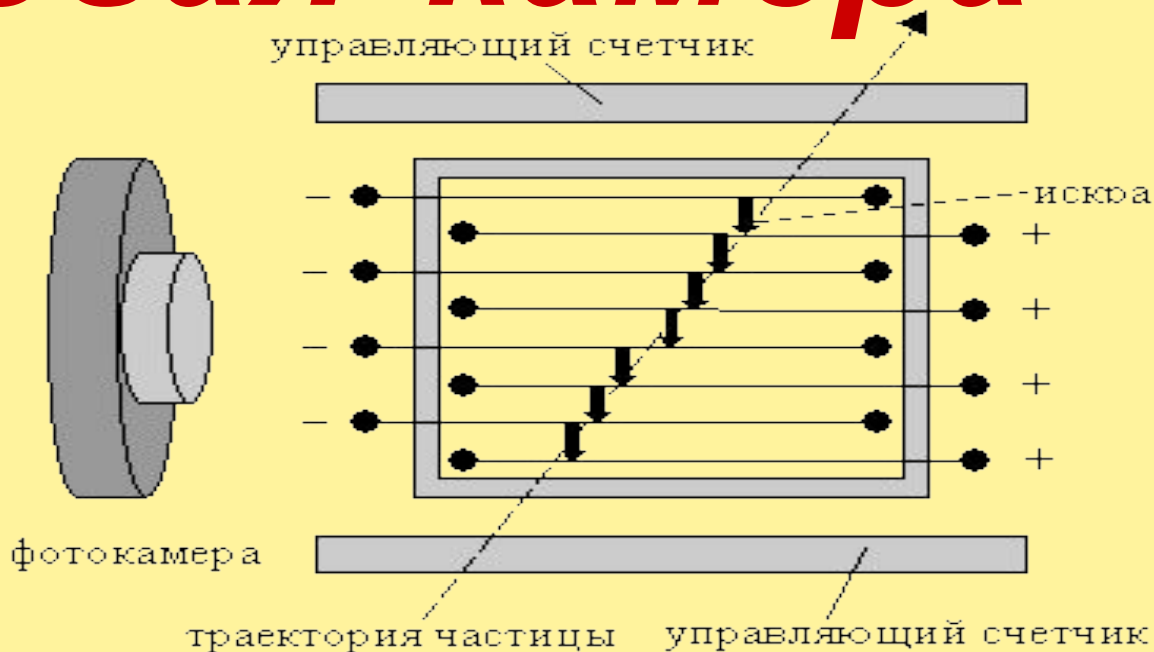
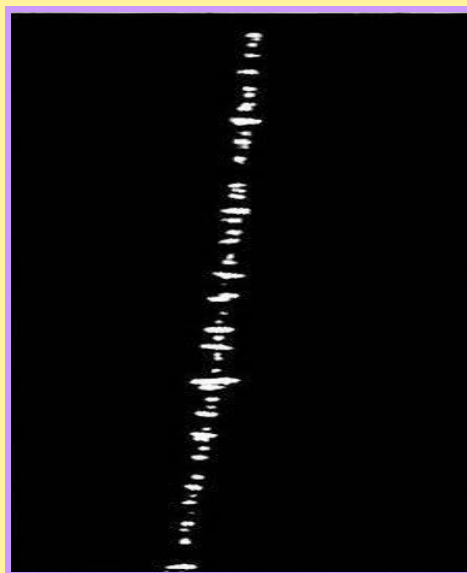
**Метод  
разработан  
В 1958 году  
Ждановым А.П. и  
Мысовским Л.В.**

**Пролетающая сквозь  
фотоэмульсию  
заряженная  
частица действует на  
зерна бромистого  
серебра и образует  
скрытое изображение.  
После проявления на  
фотопластинке  
образуется  
след - трек.  
Преимущества: следы  
не исчезают со**

**временем**

**и могут быть**

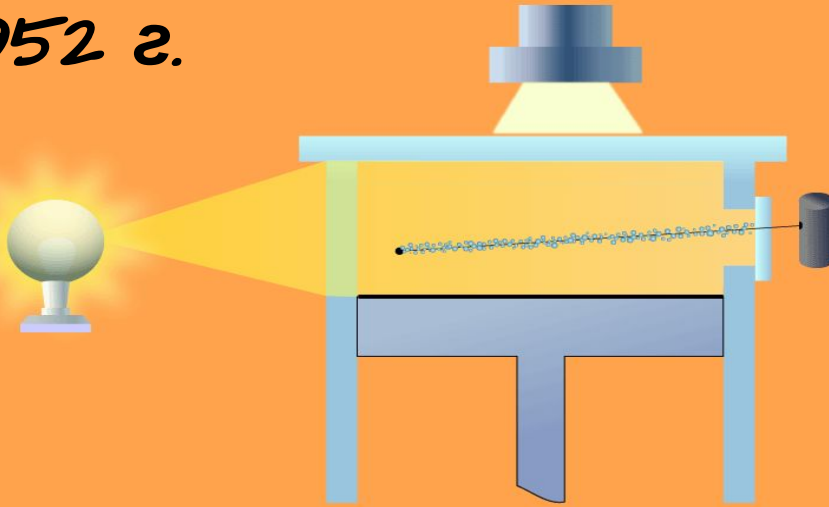
# Искровая камера



**Изобретена в 1957 г. Заполнена инертным газом. Плоскопараллельные пластины расположены близко друг к другу. На пластины подается высокое напряжение. При пролете заряженной частицы вдоль её траектории проскакивают искры, создавая огненный трек.**

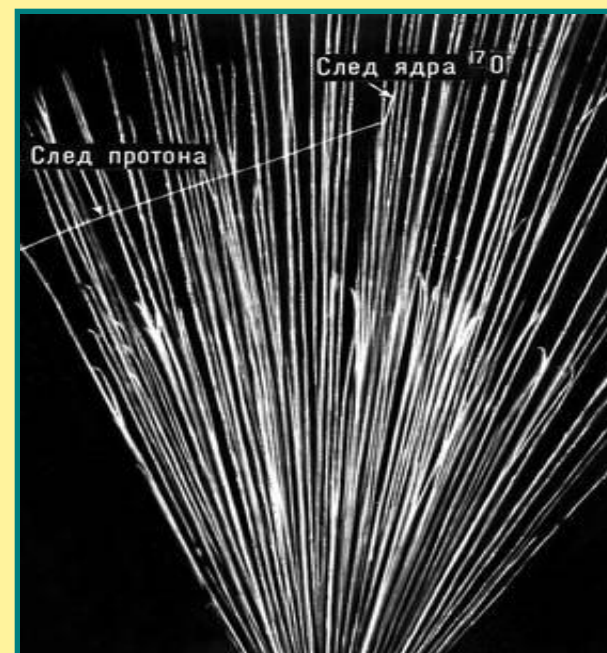
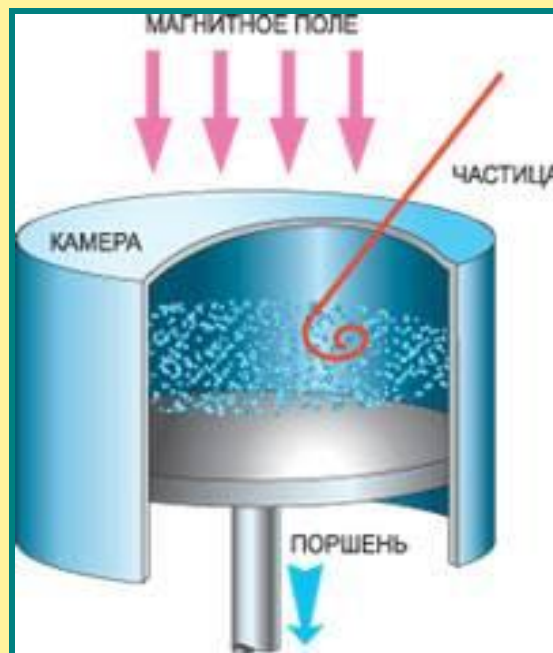
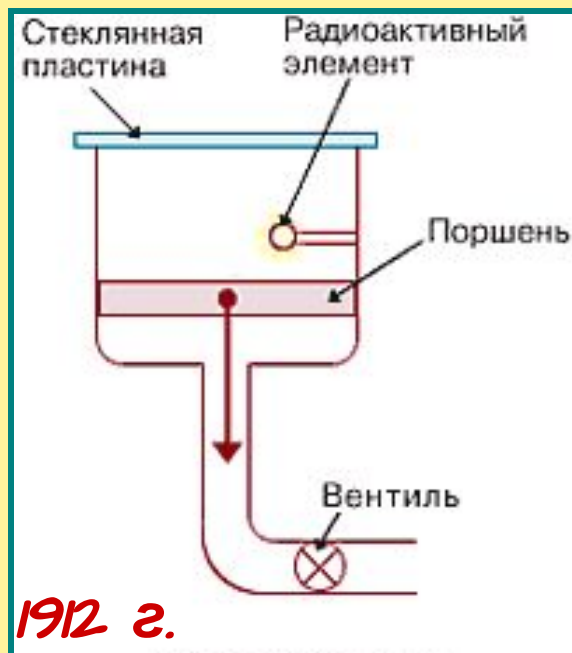
# Пузырьковая

1952 г.



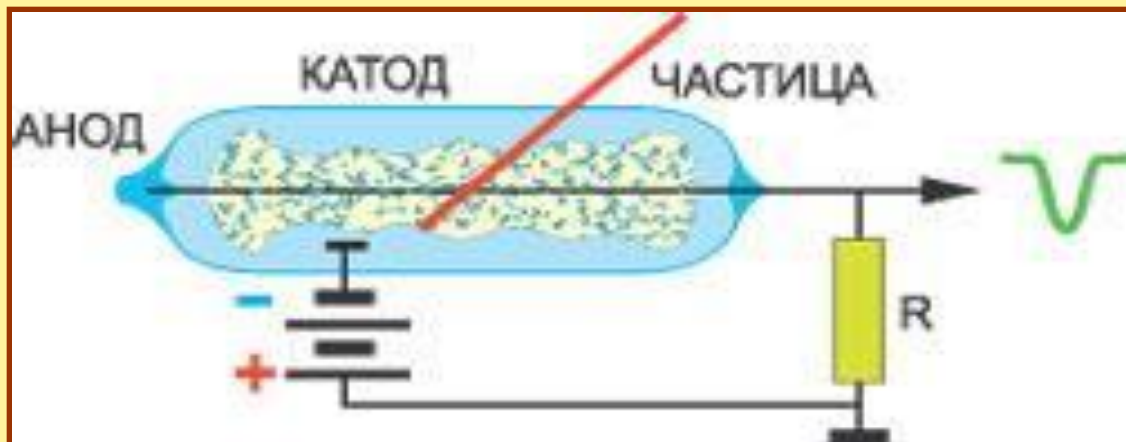
**. Камера заполнена быстро закипающей жидкостью (сжиженный пропан).  
Заряженная частица на своем пути ионизирует атомы жидкости, около этих ионов жидкость закипает и образуются пузырьки пара, траектория частицы становится видимой**

# Камера Вильсона



**Камера заполнена смесью аргона с насыщенными парами воды. Расширяя газ поршнем, охлаждаются пары. Пролетающая частица ионизирует атомы газа, на которых конденсируется пар, создавая капельный след (трек).**

# Счетчик Гейгера



***В наполненной аргоном трубке пролетающая через газ частичка ионизирует его, Между катодом и анодом возникает электрический ток, на резисторе, на резисторе  $R$  образуется напряжение.***



# **Сцинтилляционный**

## **счетчик**

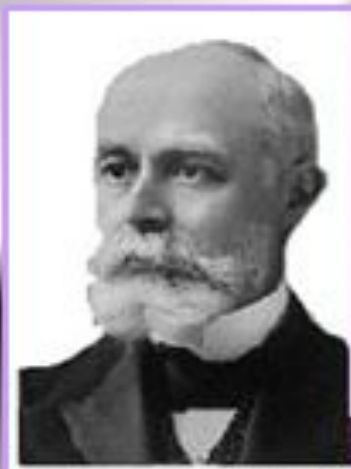
**В 1903 году У.Крукс заметил, что частицы, испускаемые радиоактивным веществом ( $\alpha$  – частицы) попадая на экран покрытый сернистым цинком, вызывают его свечение, на экране образуются вспышки света**

**Устройство было использовано Э. Резерфордом. Сейчас сцинтилляциии наблюдают и считают**



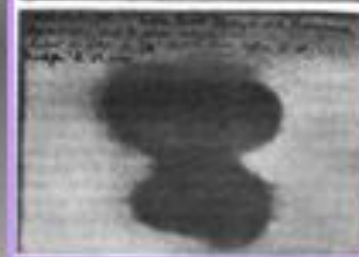
# 2.Открытие радиоактивности . $\alpha$ , $\beta$ и $\gamma$ –лучи.

# Радиоактивность -



Анри Беккерель

Открытие - 1896 год



Явление испускания невидимых, проникающих через вещество лучей, получило название радиоактивности, вещества были названы радиоактивными веществами, а испускаемые лучи – радиоактивным излучением или радиацией

# Исследования радиоактивности



Мария Кюри



Пьер Кюри

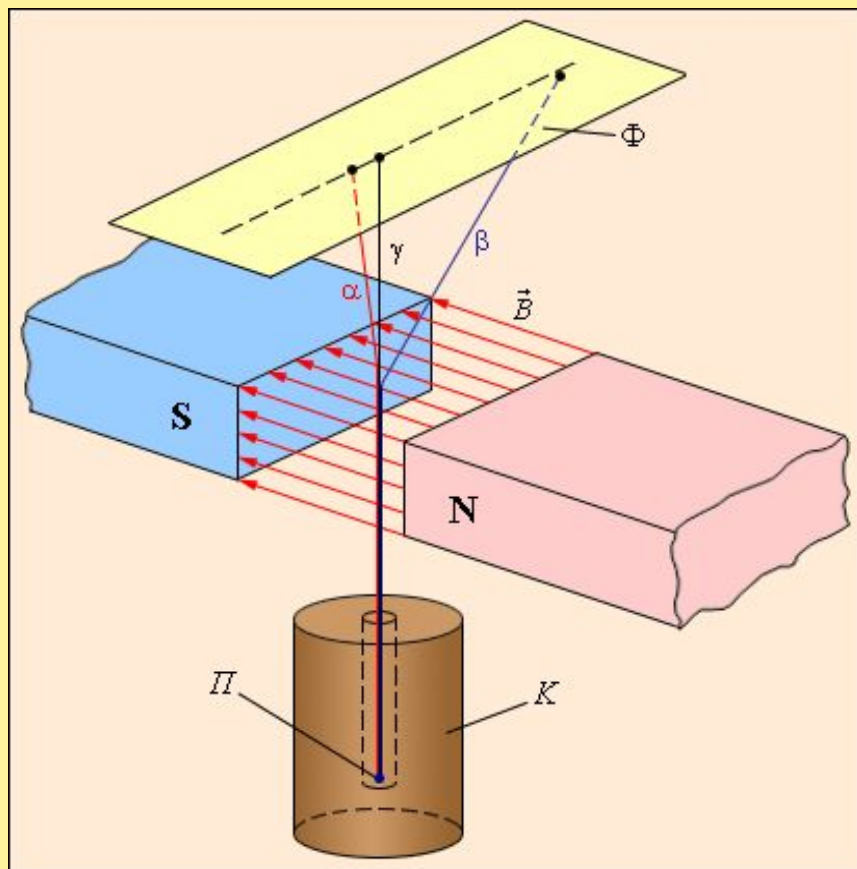


1898 год –  
Открыты  
радиоактивность тория,  
полония и радия

**Все химические  
элементы,  
начиная с номера  
83,  
обладают  
радиоактивностью**

# Природа радиоактивного излучения

(опыт проведен Резерфордом в 1899 году)

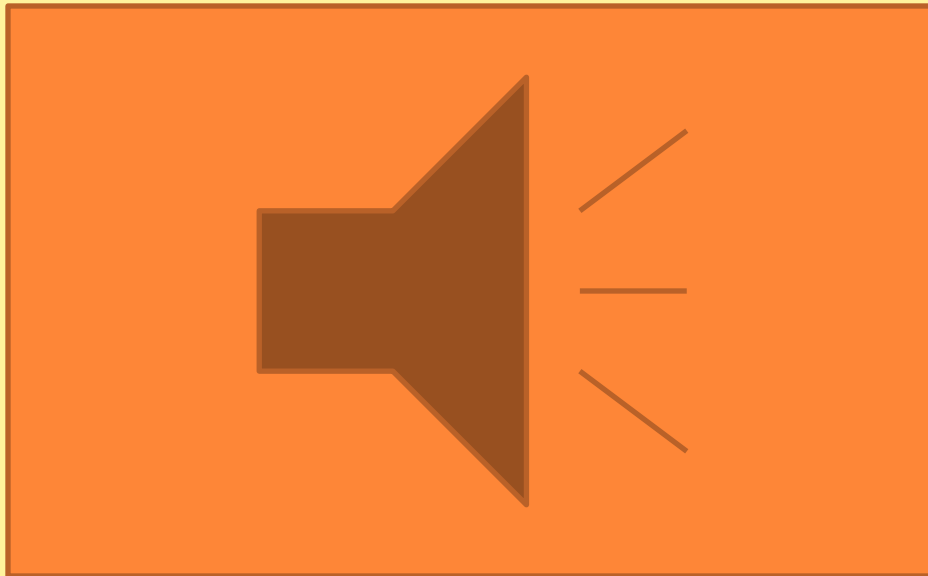


$\alpha$ -лучи - поток  $\alpha$ -частиц, движущихся со скоростью 20000 км/с

$\beta$ -лучи - поток электронов, движущихся со скоростью 100000 км/с

$\gamma$ -лучи - электромагнитные волны с длиной волны  $\lambda < 10^{-10}$  м, скорость 300000 км/с

# Анимация «Радиоактивные излучения»



# **Виды радиоактивных**

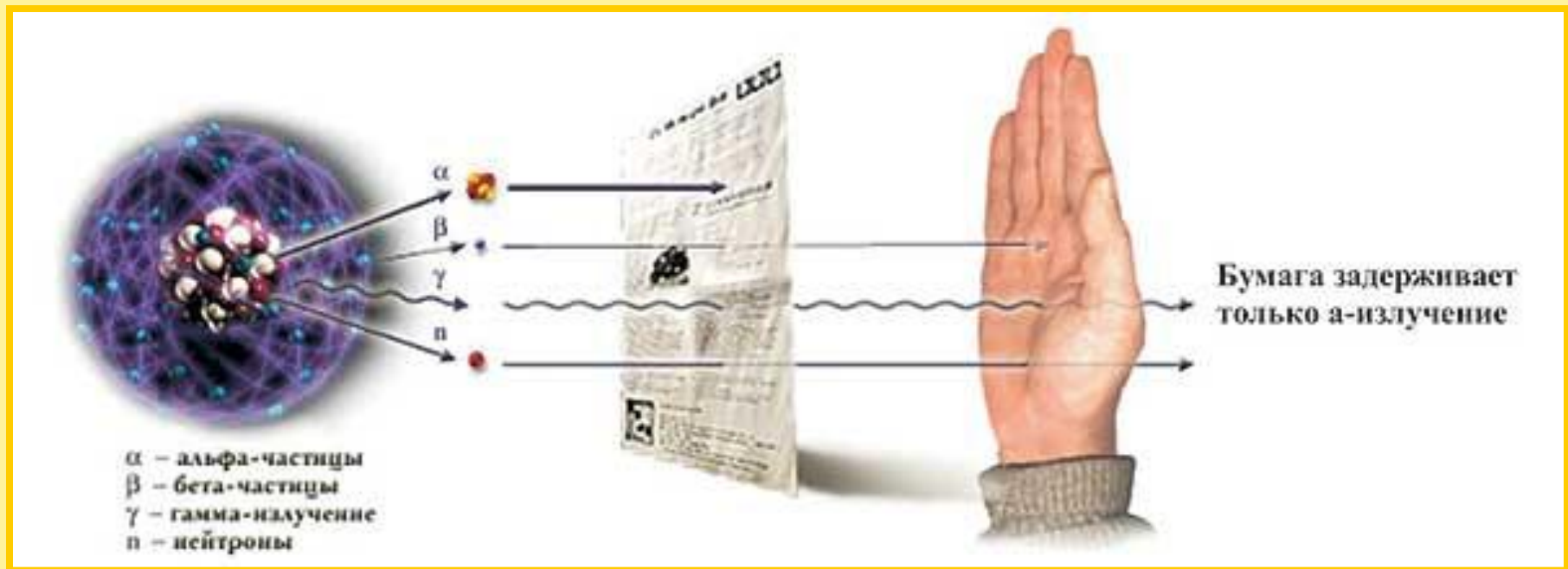
## **излучений**

- **Естественная радиоактивность;**
- **Искусственная**

## **Свойства радиоактивных**

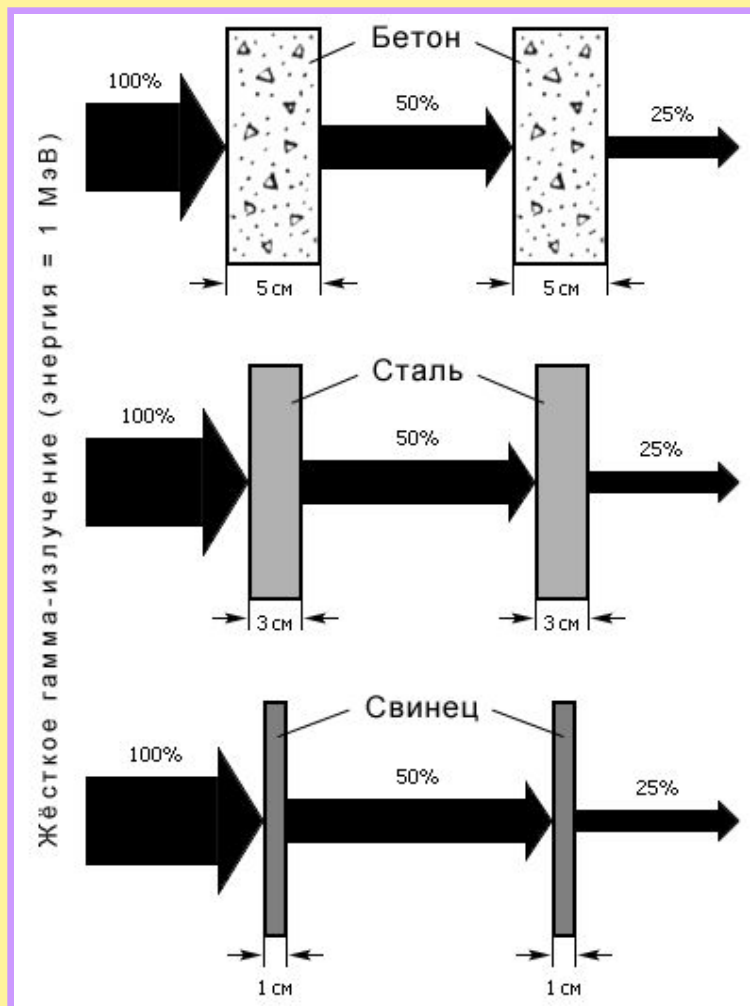
- **Ионизируют воздух , атомы и молекулы живых организмов , особенно костного мозга и пищеварительного тракта , поражает гены в хромосомах , в больших дозах отрицательно влияет на наследственность**
- **Действуют на фотопластинку;**
- **Свелятся после облучения солнечным светом ( соли урана )**
- **Проникают через непрозрачные предметы ( тело человека )**
- **Интенсивность излучения зависит только от массы радиоактивного вещества;**
- **Интенсивность излучения не зависит от внешних факторов (давление, температура, освещенность, электрические разряды).**

# Проникающая способность радиоактивного излучения



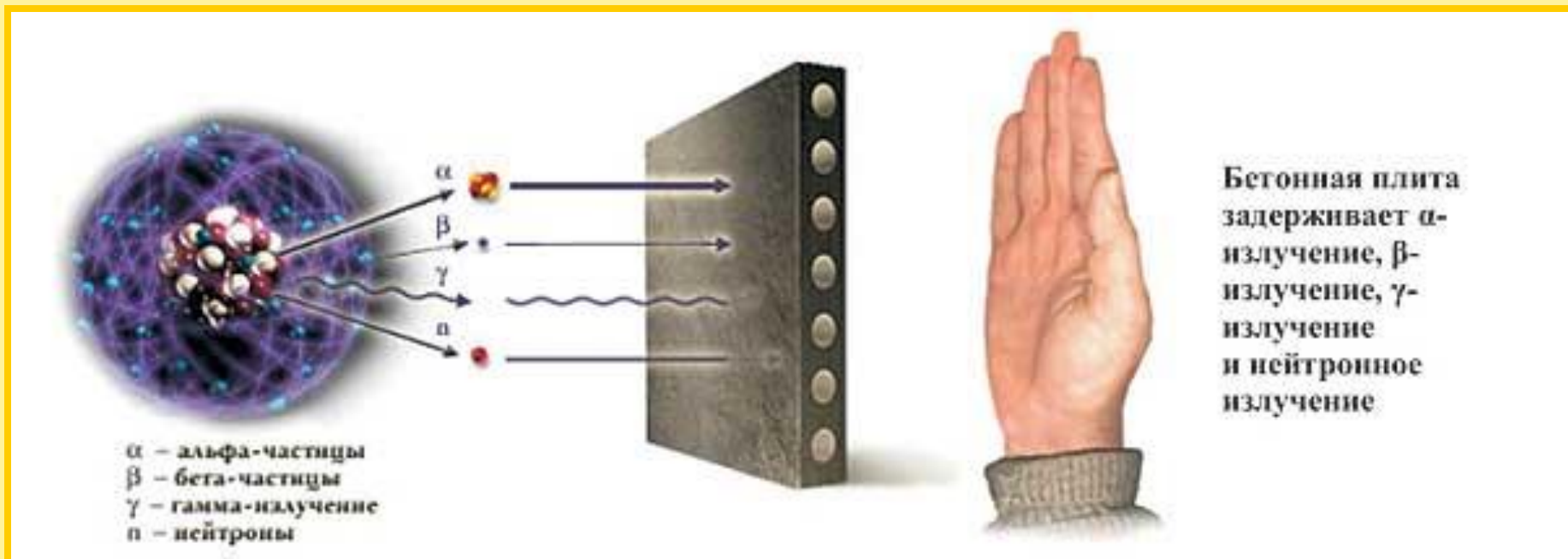


# Проникающая способность гамма - излучения



Хорошо  
поглощают:  
**гамма-излучение** -  
**чугун, сталь,**  
**свинец, кирпич,**  
**бетон (вещества ,**  
**имеющие большую**  
**плотность)**

# Проникающая способность радиоактивного излучения



λ – лучи - слой бумаги толщиной 0,1 мм.

β - лучи - алюминиевая пластинка толщиной в несколько миллиметров.

γ - лучи - слой бетона толщиной в несколько метров.

3.Открытие

протона и

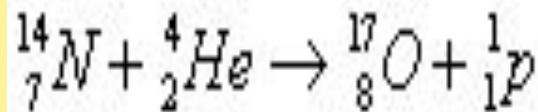
нейтрона.

Строение ядра.

Изотопы

## Открытие протона.

В 1919 году Э. Резерфорд обнаружил ядра атома водорода в продуктах расщепления ядер атомов многих элементов. Резерфорд назвал эту частицу протоном. Он высказал предположение, что протоны входят в состав всех атомных ядер. Считается, что впервые Резерфорд обнаружил протоны в ядерной реакции азота с гелием ( $\alpha$ -частицами):

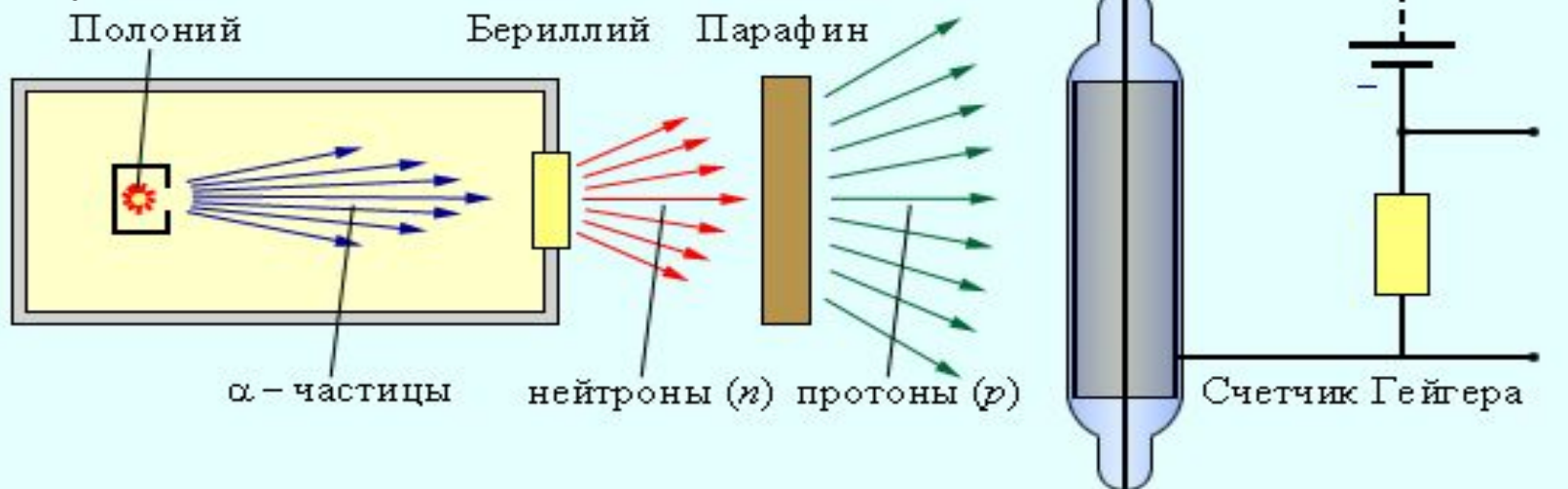


После открытия протона было высказано предположение, что ядра атомов состоят из одних протонов. Однако это предположение оказалось несостоятельным, так как отношение заряда ядра к его массе не остается постоянным для разных ядер, как это было бы, если бы в состав ядер входили одни протоны. Для более тяжелых ядер это отношение оказывается меньше, чем для легких, т. е. при переходе к более тяжелым ядрам масса ядра растет быстрее, чем заряд.

В 1920 г. Резерфорд высказал гипотезу о существовании в составе ядер электрически нейтральной частицы с массой, приблизительно равной массе протона. Он даже придумал название этой гипотетической частице – нейтрон

# Открытие нейтрона

Идея о существовании **тяжелой нейтральной частицы** казалась Резерфорду настолько привлекательной, что он незамедлительно предложил группе своих учеников во главе с Дж. Чедвиком заняться поиском такой частицы. **Через 12 лет в 1932 г.** Чедвик экспериментально исследовал излучение, возникающее при облучении бериллия  $\alpha$ -частицами, и обнаружил, что это излучение представляет собой поток нейтральных частиц с массой, примерно равной массе протона. **Так был открыт нейтрон.** На рис. приведена упрощенная схема установки для обнаружения нейтронов.



# Строение атомного ядра.

Советский физик Д. Д. Иваненко и немецкий физик 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)

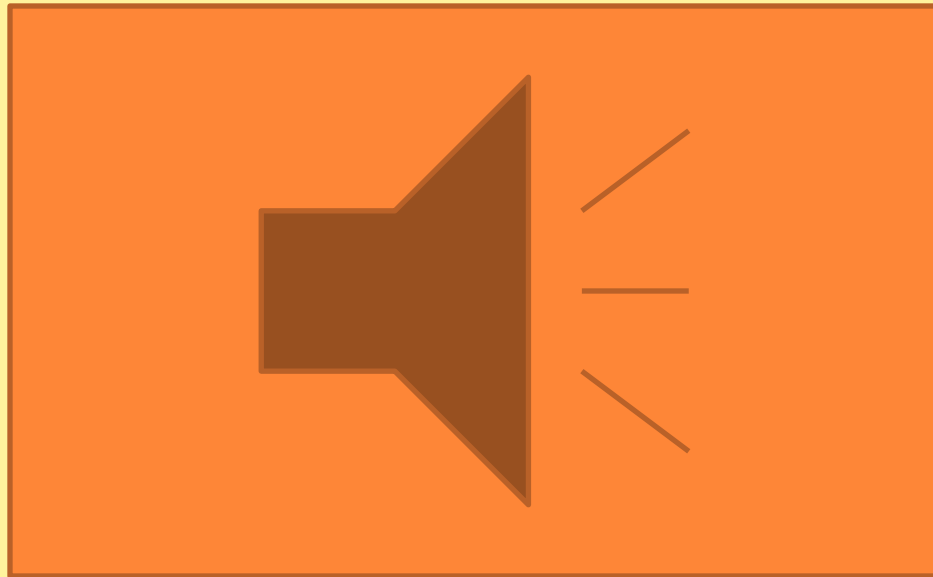


Вернер Карл  
Гейзенберг  
(1901-1976)

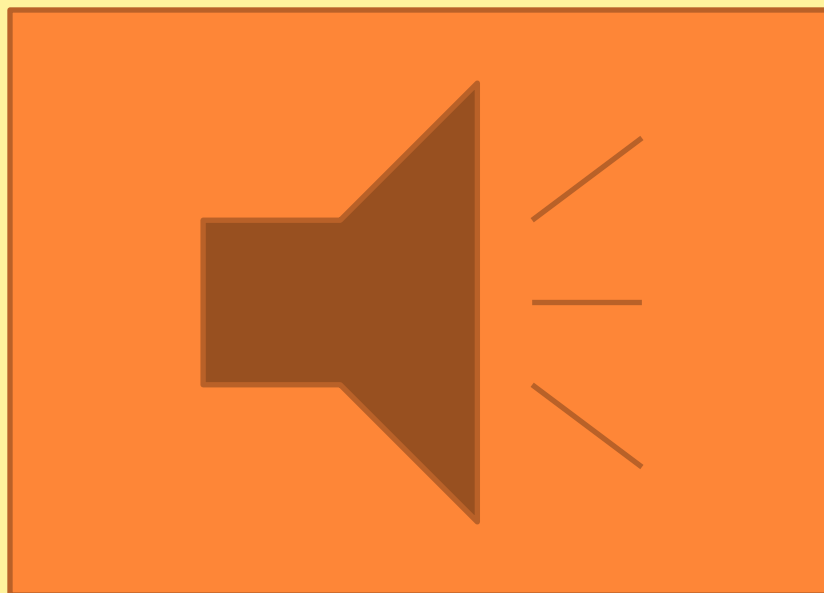


# Анимация

## «Строение ядра»



# Анимация «Собери ядро»





В 1911 году английский ученый Содди высказал предположение о том, что должны существовать элементы с одинаковыми химическими свойствами, но отличающиеся радиоактивностью. Эти элементы располагаются в одной и той же клетке системы Менделеева.

Содди назвал их **ИЗОТОПАМИ.**

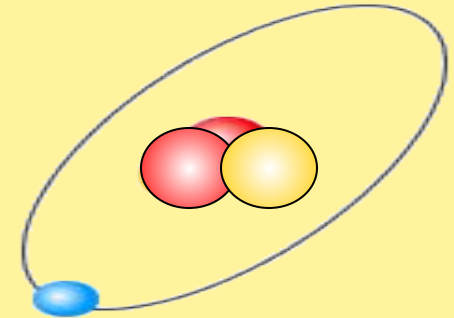
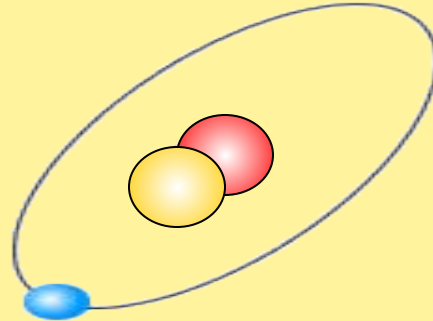
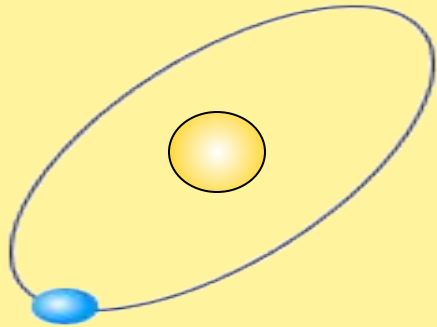
# **Изотопы**

**Изотопы - это химические  
элементы,  
ядра которых имеют  
одинаковое  
число протонов , но разное  
число  
нейтронов.**

**Изотопы имеют одинаковые  
химические свойства**

**(обусловлены зарядом ядра),  
но разные физические свойства  
(обусловленные массой)**

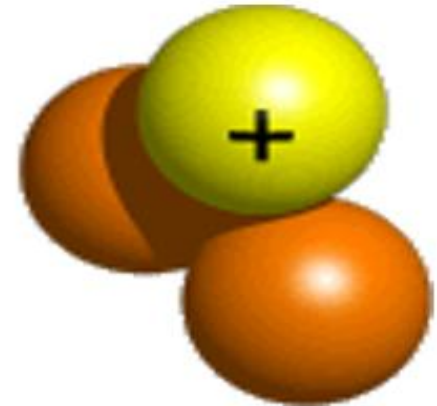
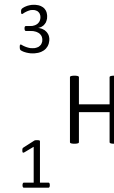
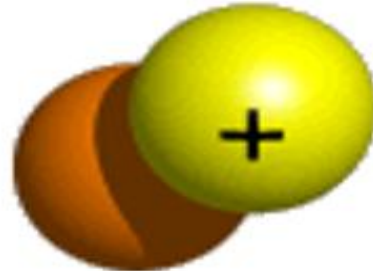
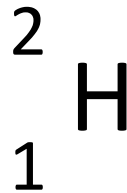
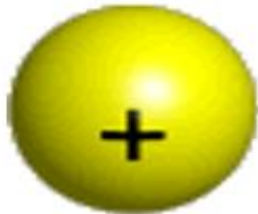
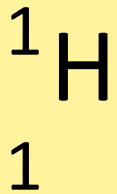
# Изотопы водорода



**Протий**

**Дейтерий**

**Тритий**



Доля 99,985 %,   
Нерадиоактивен   
( стабилен ) при соединении с   
кислородом образуется вода

Доля 0,015 %,стабилен ,при соединении   
с водой образуется тяжелая вода с   
температурой кипения  $101^{\circ}\text{C}$  и   
температурой плавления  $3,8^{\circ}\text{C}$

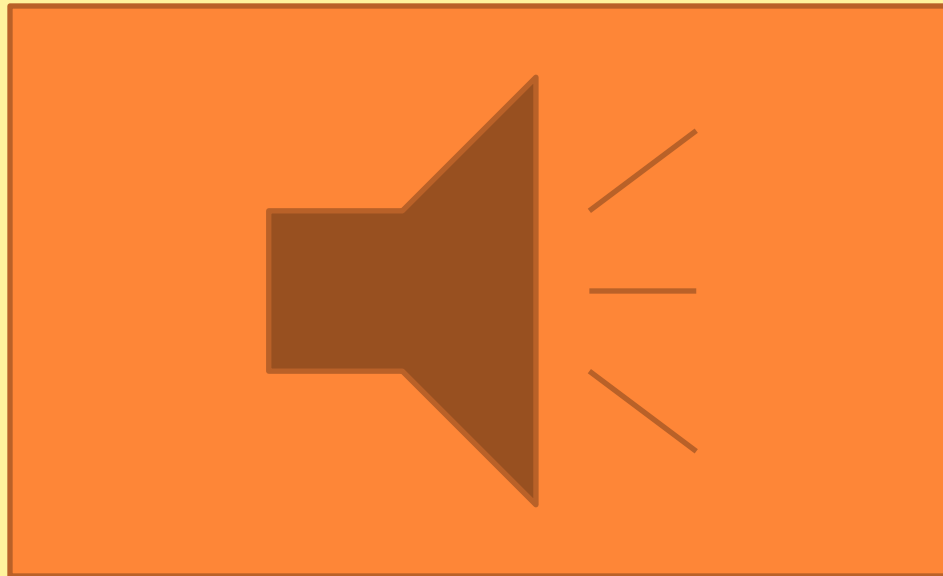
В природе не существует,   
получается только   
искусственно в ходе ядерной   
реакции , радиоактивен

4. Ядерные силы.

Энергия связи

ядра.

# Анимация « Свойства ядерных сил »





# Единицы массы и энергии в ядерной физике

$$1 \text{ электрон – вольт ( эВ )} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$1 \text{ атомная единица массы ( а.е.м. )} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ кг.}$$

$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X$  - условное обозначение ядра

$X$  - символ химического элемента

$Z$  - зарядовое число ( число протонов внутри ядра )

$A$  - массовое число ( число протонов и нейтронов внутри ядра )

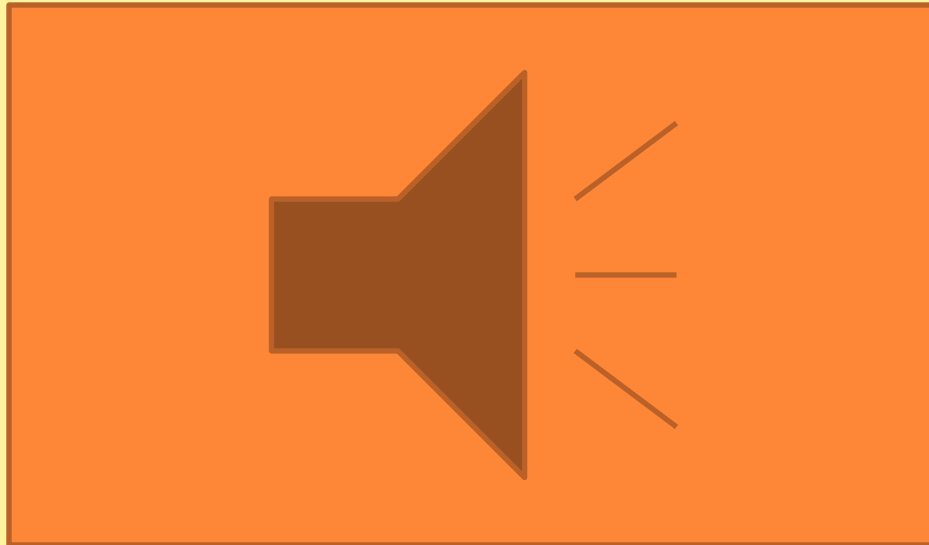
$N$  - число нейтронов внутри ядра

$M_a$  - масса атома,  $m_e$  - масса электрона

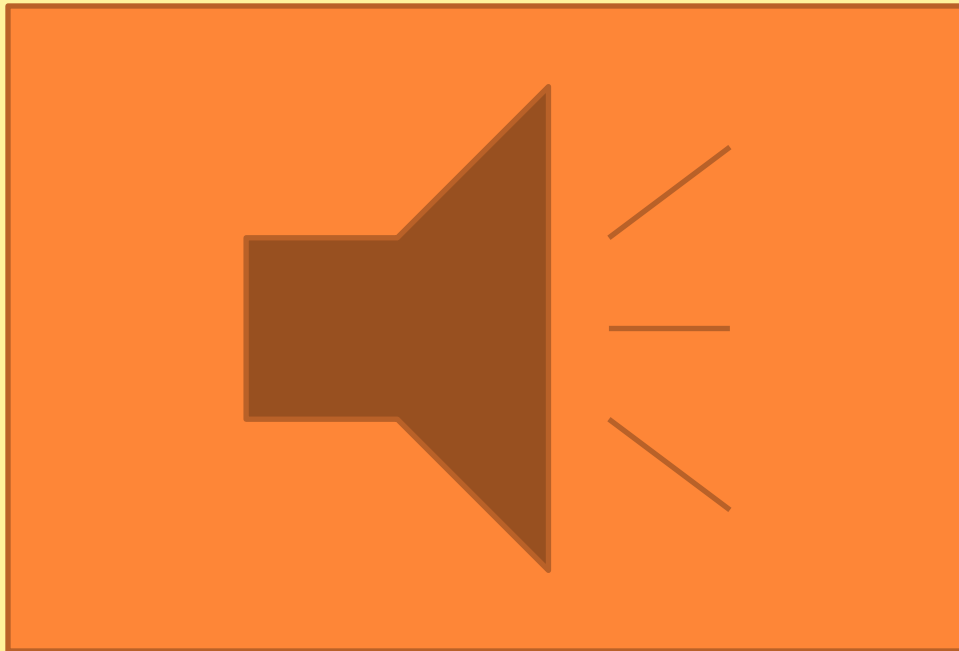
$M_{\text{Я}}$  - масса ядра

$q$  - заряд ядра

# Анимация « Дефект массы ядра»



# Анимация « Удельная энергия связи ядра»



# 5. Радиоактивный распад. Виды распада. Закон радиоактивного распада.

# Радиоактивный

## распад

Радиоактивный распад - это самопроизвольное превращение одного ядра в другое ядро с испусканием  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - лучей.

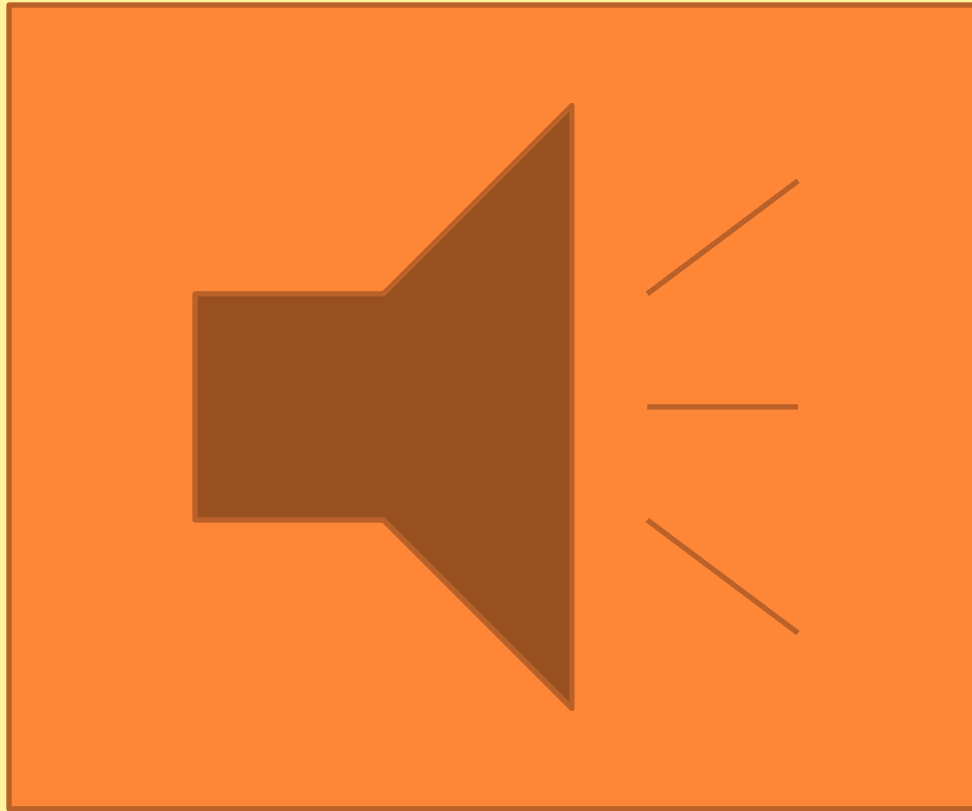
Распавшееся ядро называется материнским, возникшее ядро - дочерним. При радиоактивном распаде выделяется энергия.

### Механизм излучения $\gamma$ - лучей следующий :

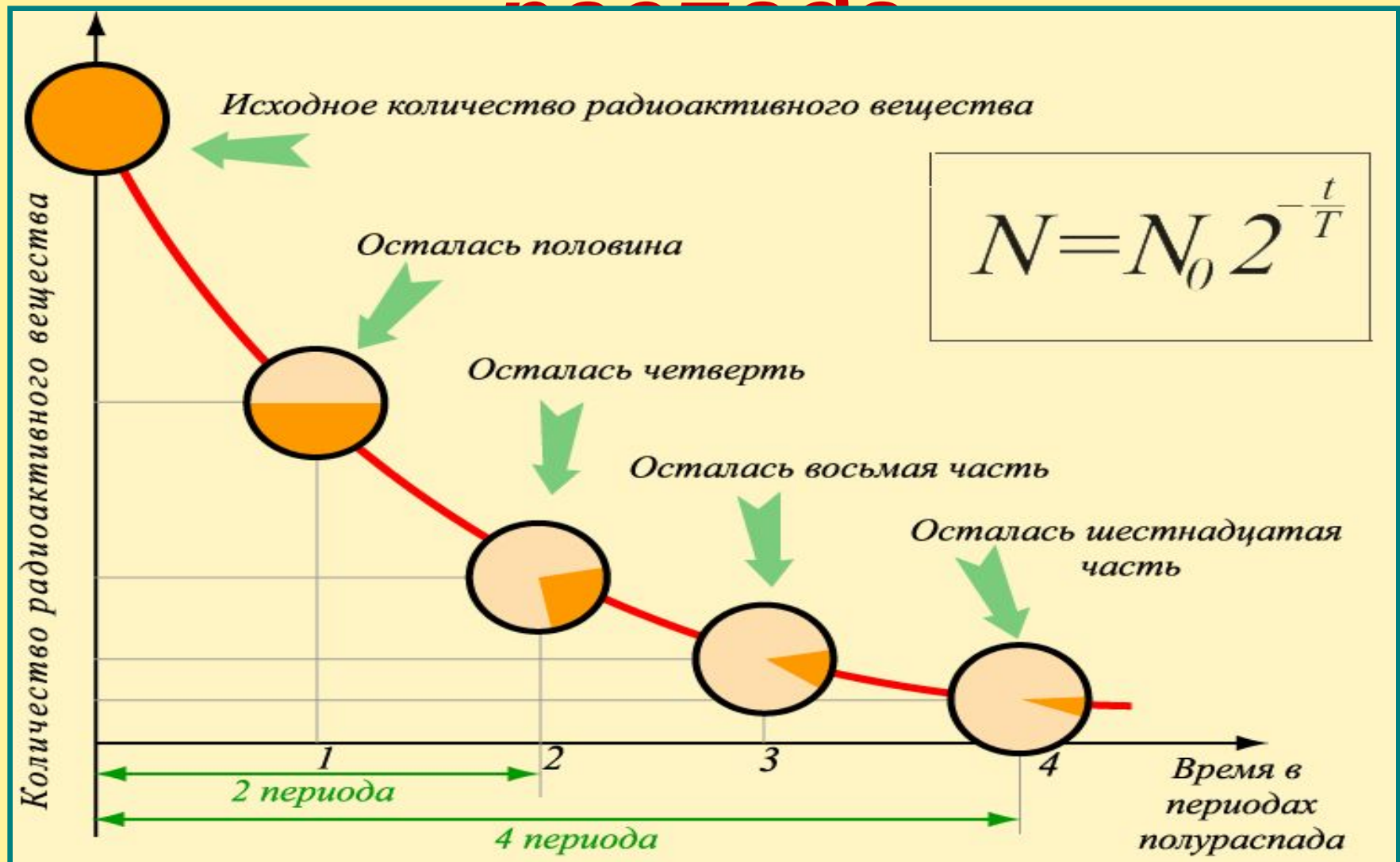
ДОЧЕРНЕЕ ЯДРО, ПОГЛОЩАЯ ЧАСТЬ ЭНЕРГИИ, КОТОРАЯ ВЫДЕЛЯЕТСЯ ПРИ РАДИОАКТИВНОМ РАСПАДЕ, ПЕРЕХОДИТ В ВОЗБУЖДЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, В ВОЗБУЖДЕННОМ СОСТОЯНИИ ЯДРО НАХОДИТСЯ ОЧЕНЬ КОРОТКИЙ ПРОМЕЖУТОК ВРЕМЕНИ  $10^{-13}$  -  $10^{-14}$  с И СРАЗУ ВОЗВРАЩАЕТСЯ В ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ. ПРИ ЭТОМ ИЗЛУЧАЮТСЯ  $\gamma$  - ЛУЧИ.

Гамма - лучи излучаются возбужденными ядрами вещества

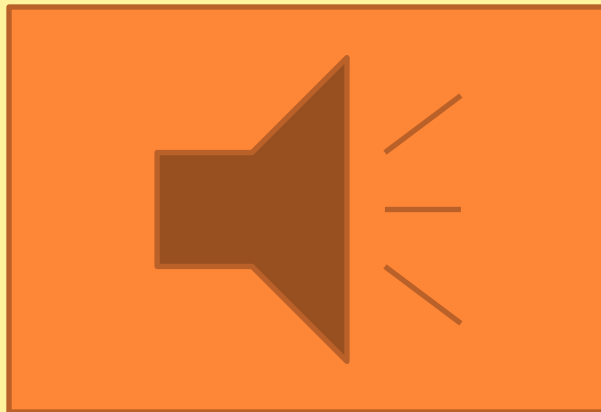
**Анимация** «  
**Радиоактивный распад»**»



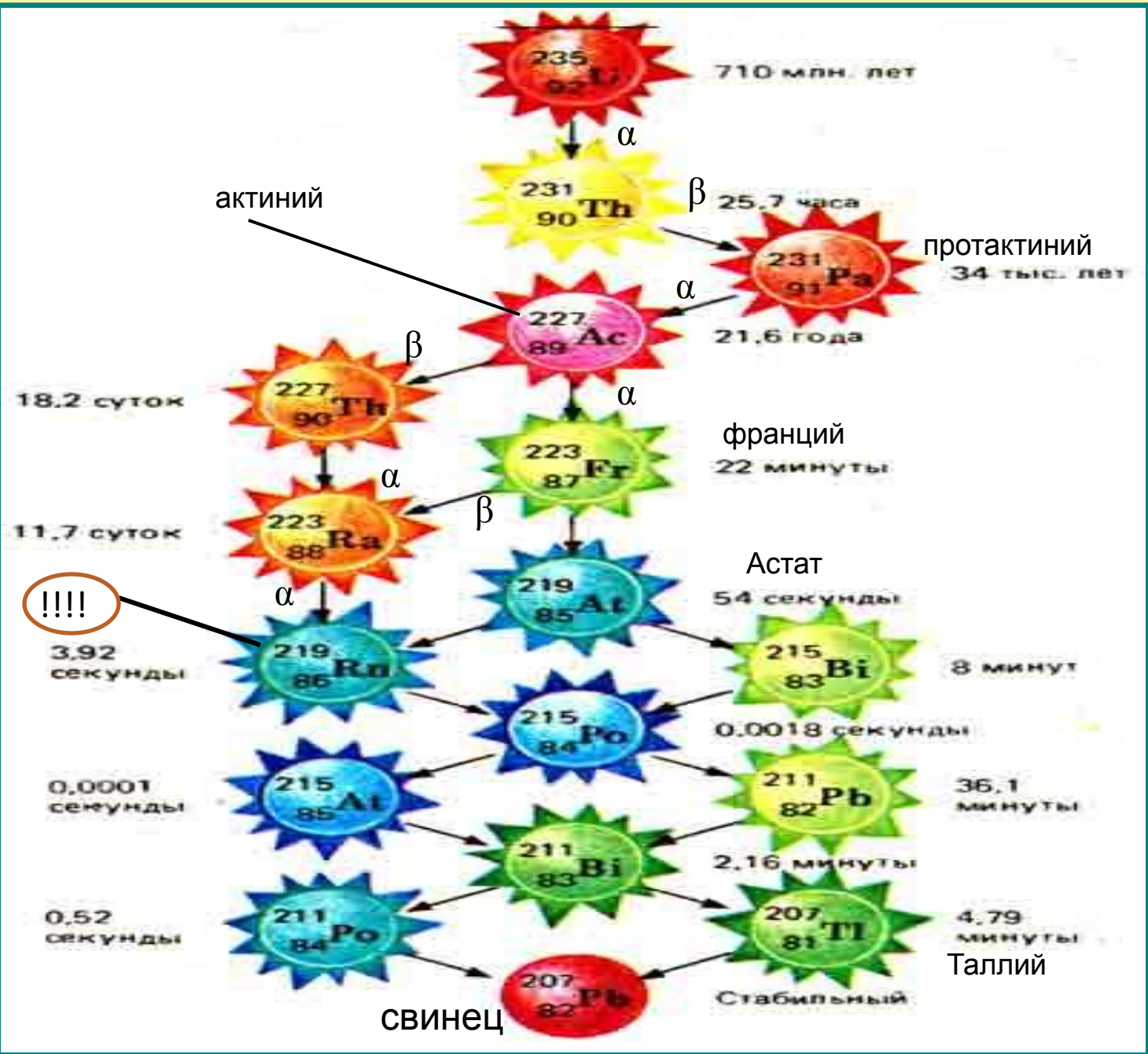
# Закон радиоактивного



# Анимация «Период полураспада»

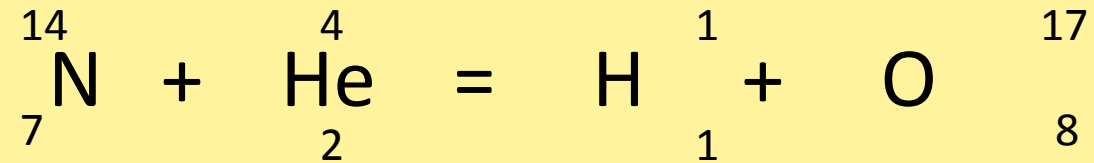




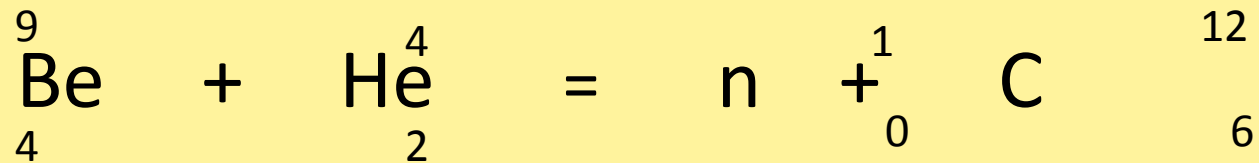


# 6. Ядерные реакции. Энергетический выход ядерной реакции.

**Ядерная реакция получения протона ( Резерфорд , 1919 год )**



**Ядерная реакция получения нейтрона ( Чедвик , 1932 год )**



7. Ядерная реакция деления ядра.

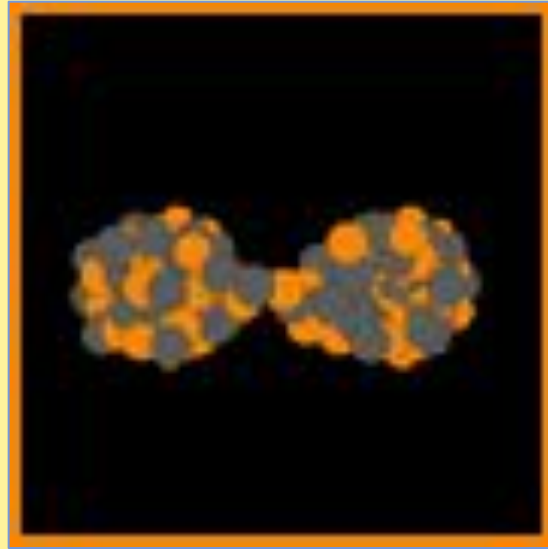
Цепная ядерная реакция и ее

виды.

Ядерный реактор. Атомная

бомба.

# Механизм деления ядра



Ядро имеет форму шара. Поглотив лишний нейтрон, ядро возбуждается и начинает деформироваться, приобретая вытянутую форму.

Ядро растягивается до тех пор, пока силы отталкивания между половинками вытянутого ядра не начинают преобладать над силами притяжения, действующими в перешейке. После этого ядро разрывается на 2 части.

Ядерные реакции ,при которых тяжелые ядра , поглощая медленные нейтроны, делятся на два средних ядра ( осколки ),

называются реакциями деления ядра.Поглощая нейтроны , делятся ядра урана , плутония.Деление ядер сопровождается следующими процессами :

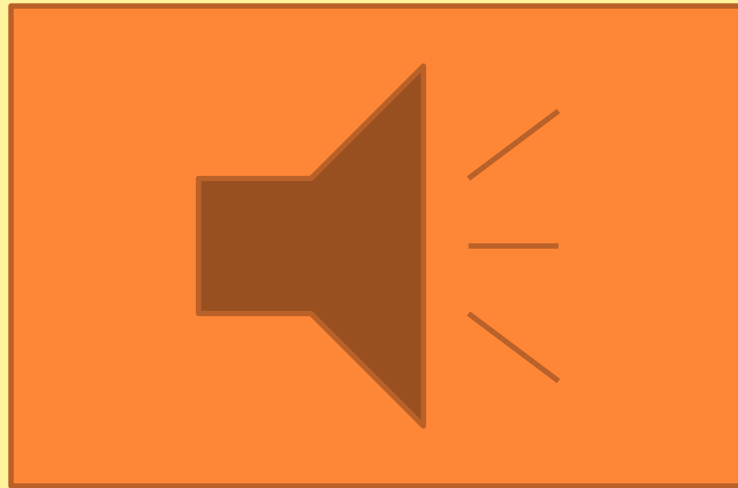
1.Под действием кулоновских сил отталкивания осколки разлетаются в противоположных направлениях с огромными скоростями и кинетическими энергиями

2.При делении каждого ядра выделяется энергия

3.При делении каждого ядра выбрасываются 2 – 3 быстрых нейтрона , которые после замедления участвуют при дальнейшем делении других ядер. ТАКИМ ОБРАЗОМ

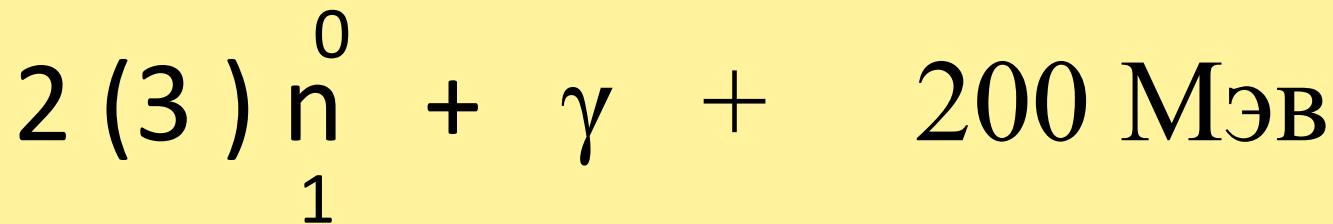
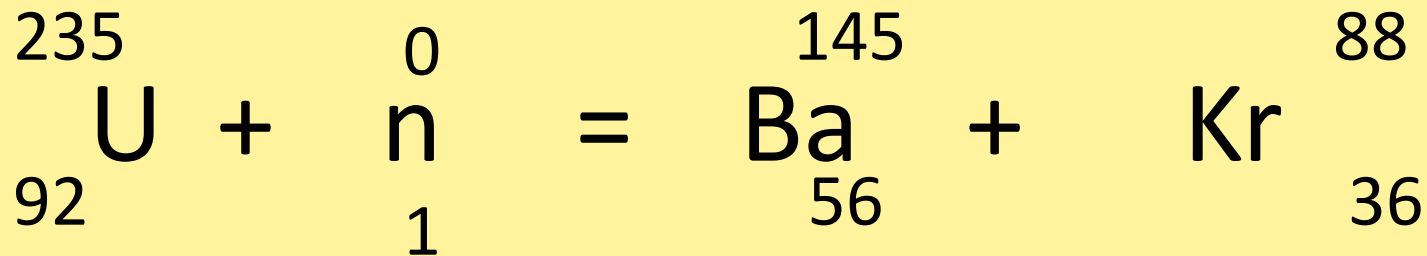
ВОЗНИКАЕТ ЦЕПНАЯ ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ , ПРИ КОТОРОЙ ВЫДЕЛЯЕТСЯ ОГРОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

# Анимация « Деление ядра урана»



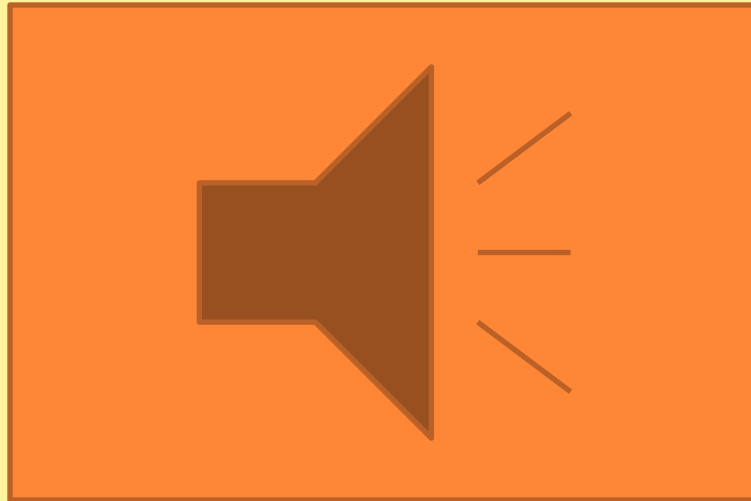
# Цепная ядерная реакция деления урана – 235

(открыта в 1938 году немецкими учеными О.Ганом и Ф. Штрассманом )





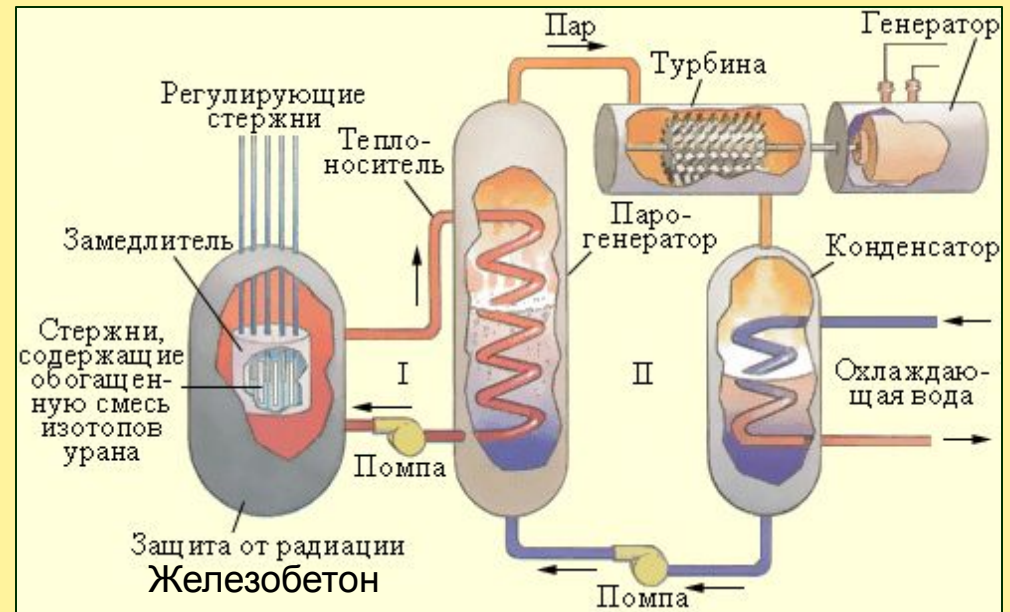
# Анимация « Цепная ядерная реакция»



# Ядерный реактор

## Основные элементы реактора:

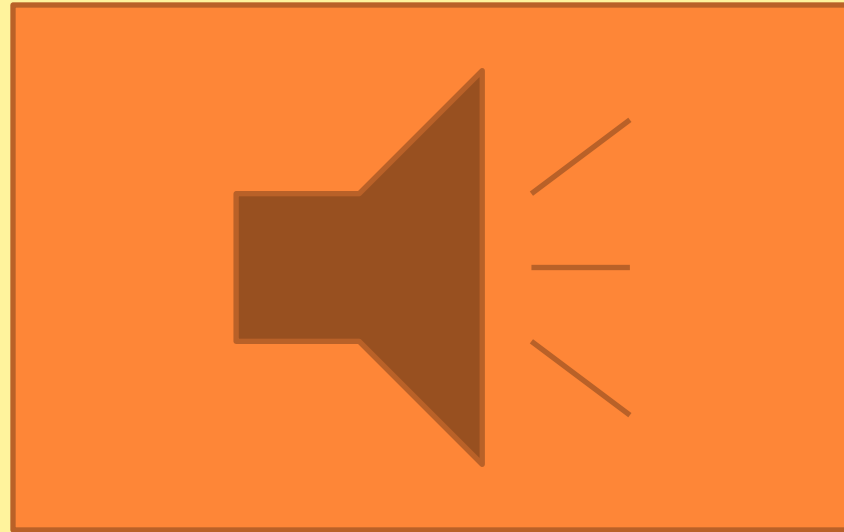
- ядерное горючее ( $U - 235$ )
- замедлитель нейтронов (тяжелая вода, графит)
- теплоноситель для вывода энергии ( вода, жидкий натрий )
- Устройство для регулирования скорости реакции ( стержни из кадмия или бора )
- Защита от радиации (железобетон )



Критической массой называют наименьшую массу делящегося вещества, при которой может протекать цепная реакция

Критическая масса урана равна 48 кг.

# Анимация « Ядерный реактор»



# Немного истории



Реактор CP-1

- Самоподдерживающаяся управляемая цепная реакция деления ядер была впервые осуществлена в декабре 1942 г. Э. Ферми.
- Первый реактор назывался CP-1

В СССР первый реактор , созданный под руководством И.В.Курчатова в 1946г., назывался Ф-1



- В активной зоне котла находилось 400 т графита и 50 т урана.
- Работал при мощности от 100 Вт до 100кВт
- Охлаждали реактор с помощью вентилятора

# Так выглядит современный реактор Ф-1



Котел Ф-1 за 60 лет не изменился (слева), а системы управления и контроля периодически совершенствовались. Так выглядел пульт управления реактором в 80-е годы XX века (справа)

# Интересный факт

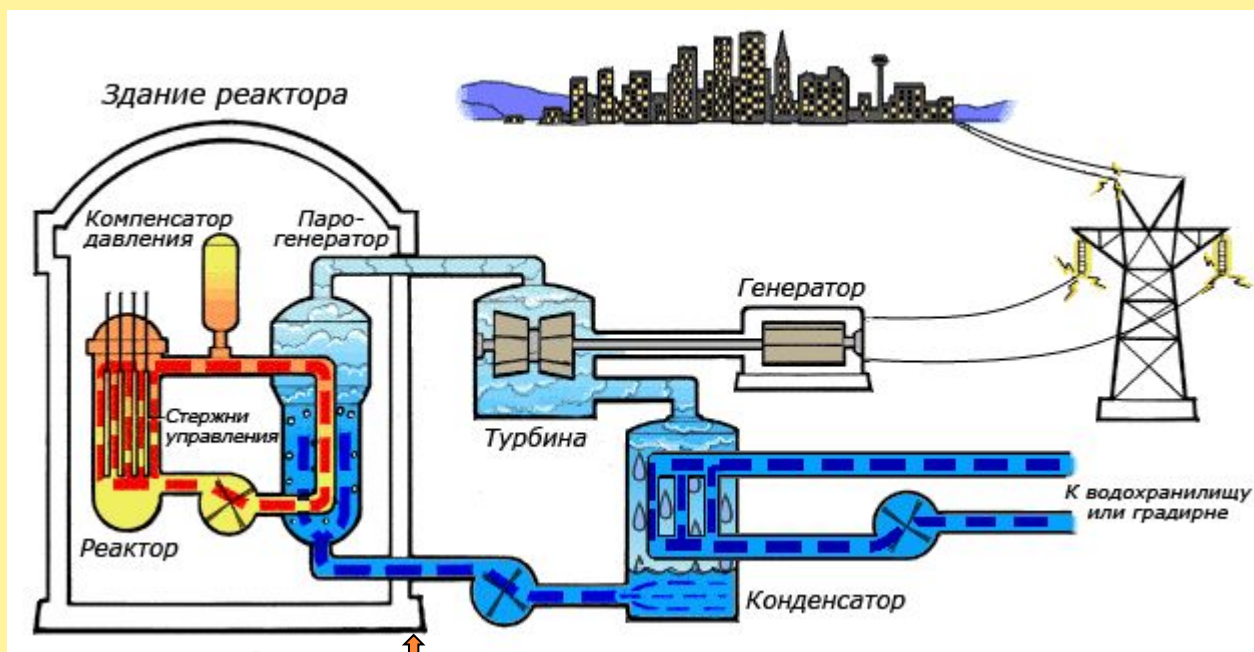
- Даже когда практическая надобность в реакторе Ф-1 отпала, его решили не разбирать, как это сделали американцы с первым реактором Ферми. И, как оказалось, не напрасно. Ветеран продолжает работать на старом месте, и благодаря высокой стабильности нейтронного потока его используют в качестве эталона для калибровки аппаратуры, предназначенной для реакторов новых АЭС.

# Ядерная энергетика





# Устройство АЭС



Пуск первой АЭС ознаменовал открытие нового направления в энергетике

- Первая в мире АЭС опытно-промышленного назначения мощностью 5 *MВт* была пущена в СССР 27 июня 1954 г. в г. Обнинске.
- До этого энергия атомного ядра использовалась преимущественно в военных целях.



## Из истории создания АЭС

- За рубежом первая АЭС промышленного назначения мощностью 46 *MВт* была введена в эксплуатацию в 1956 в Колдер-Холле (Англия).
- Через год вступила в строй АЭС мощностью 60 *MВт* в Шиппингпорте (США).

# Типы ядерных реакторов



Наиболее часто на АЭС применяются 4 типа реакторов на тепловых нейтронах:

- 1) водо-водяные с обычной водой в качестве замедлителя и теплоносителя;
- 2) графито-водные (вода – теплоноситель, графит замедлитель)
- 3) тяжеловодные (вода – теплоноситель, тяжёлая вода замедлитель)
- 4) графито-газовые (газ – теплоноситель, графит – замедлитель)

# Преимущества АЭС

- Ядерная энергетика развивается из-за того, что человечество близко к исчерпанию возможностей дальнейшего развития гидроэнергетики, истощаются запасы химического горючего в промышленно-развитых странах.
- Атомные электростанции не загрязняют атмосферу дымом и пылью, не требуют создания крупных водохранилищ, занимающих большие площади. Однако при использовании энергии ядер возникают другие проблемы.

# Проблемы при эксплуатации АЭС



Первая - заключается в необходимости защиты людей, обслуживающих ядерные реакторы от вредного действия гамма-излучения и потоков нейтронов, возникающих при осуществлении цепной ядерной реакции в активной зоне реактора (радиации).

Для обеспечения полной безопасности людей ядерный реактор необходимо окружить толстым слоем бетона и другими материалами, хорошо поглощающими гамма-излучение и нейтроны.

# ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ АВАРИЯ



# Характеристики АЭС

- Чернобыльская АЭС ( $51^{\circ}23'22''$  с. ш.  $30^{\circ}05'59''$  в. д. (G)) расположена в Украине вблизи города Припять, в 18 километрах от города Чернобыль, в 16 километрах от границы с Белоруссией и в 110 километрах от Киева.





# Авария

Примерно в 1:23:50 26 апреля 1986 года на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС произошел взрыв, который полностью разрушил реактор. Здание энергоблока частично обрушилось, при этом, как считается, погиб 1 человек. В различных помещениях и на крыше начался пожар. Впоследствии остатки активной зоны расплавились. Смесь из расплавленного металла, песка, бетона и частичек топлива растеклась по подреакторным помещениям. В результате аварии произошёл выброс радиоактивных веществ, в том числе изотопов урана, плутония, йода-131 (период полураспада 8 дней), цезия-134 (период полураспада 2 года), цезия-137 (период полураспада 30 лет), стронция-90 (период полураспада 28 лет). Положение усугублялось тем, что в разрушенном реакторе продолжались неконтролируемые ядерные и химические (от горения запасов графита) реакции с выделением тепла с извержением из разлома в течении многих и многих дней с продуктами горения высокорadioактивных элементов и заражении ими больших территорий. Остановить активное извержение радиоактивных веществ из разрушенного реактора удалось лишь к концу мая 1986 года мобилизацией ресурсов всего СССР и массовым переоблучением тысяч ликвидаторов.







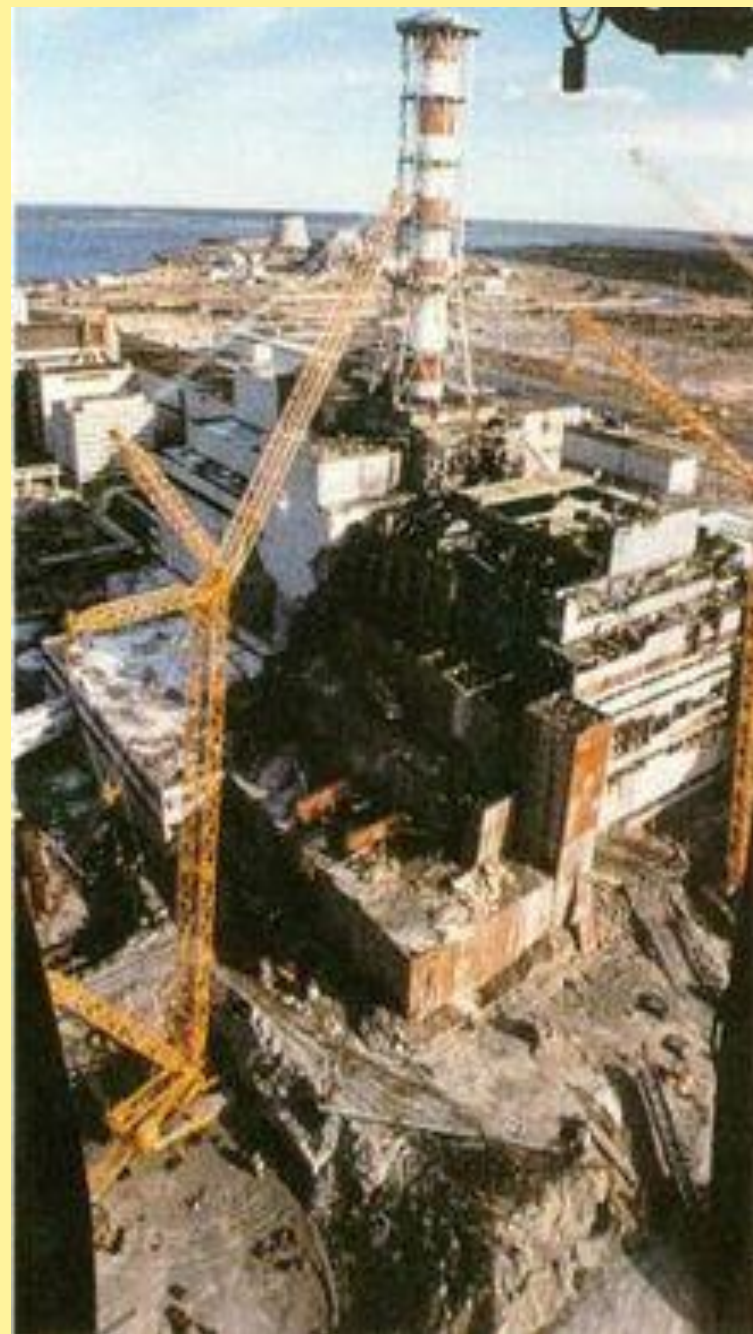


# Ликвидация аварии





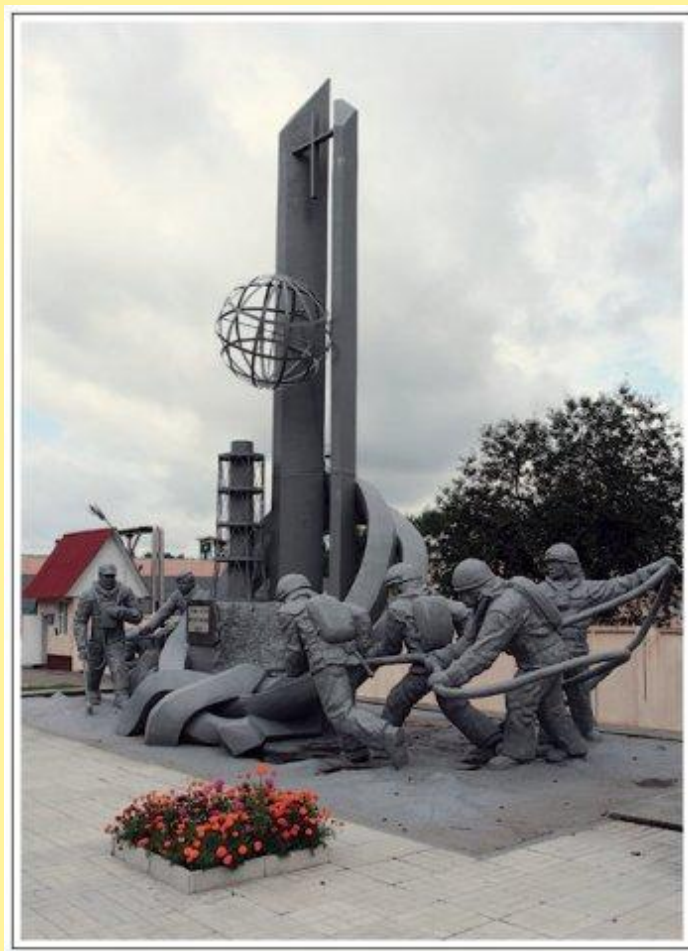
- Чернобыльская авария — разрушение 26 апреля 1986 года четвёртого энергоблока Чернобыльской атомной электростанции расположенной на территории Украины (в то время — Украинской ССР). Разрушение носило взрывной характер, реактор был полностью разрушен, и в окружающую среду было выброшено большое количество радиоактивных веществ. Авария расценивается как крупнейшая в своём роде за всю историю ядерной энергетики, как по предполагаемому количеству погибших и пострадавших от её последствий людей, так и по экономическому ущербу.
- Радиоактивное облако от аварии прошло над европейской частью СССР, Восточной Европой, Скандинавией, Великобританией и восточной частью США. Примерно 60 % радиоактивных осадков выпало на территории Белоруссии. Около 200 000 человек было эвакуировано из зон, подвергшихся загрязнению.



# Могильник техники (Засоха)



# Памятник ликвидаторам аварии на ЧАЭС

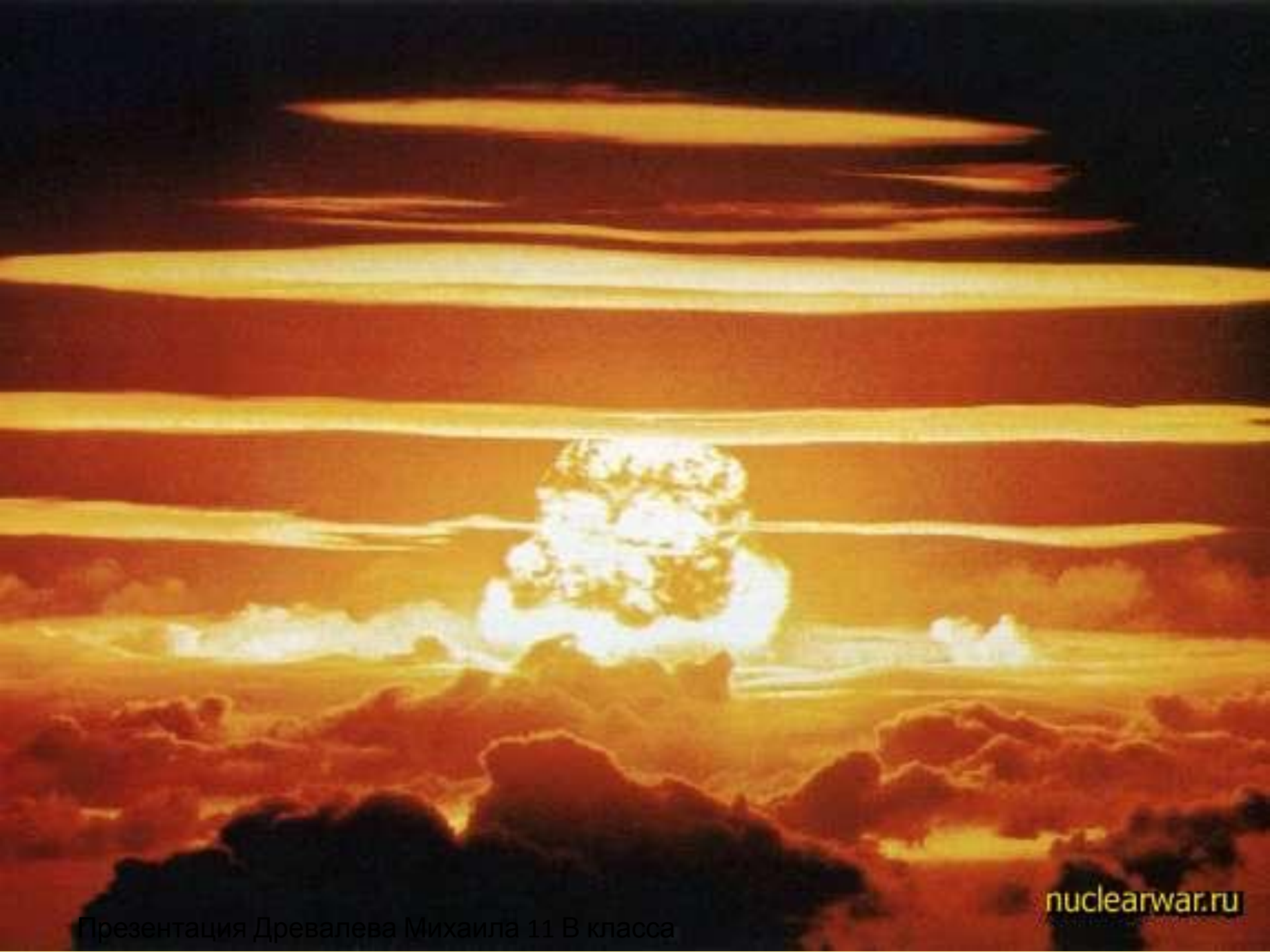




# Медаль ликвидаторам последствий аварии ЧАЭС









*Взрыв атомной бомбы*

[nuclearwar.ru](http://nuclearwar.ru)

[Mina.ru](http://Mina.ru)

# Виды ядерных взрывов

- В зависимости от задач, решаемых ядерным оружием, от вида и расположения объектов, по которым планируются ядерные удары, а также от характера предстоящих боевых действий ядерные взрывы могут быть осуществлены в воздухе, у поверхности земли (воды) и под землей (водой). В соответствии с этим различают следующие виды ядерных взрывов:



- воздушный (высокий и низкий)
- наземный (надводный)
- подземный (подводный)

- *Мощность взрыва ядерных боеприпасов принято измерять в единицах тротилового эквивалента.*

*Тротильовый эквивалент*

*- это масса*

*тринитротолуола, которая обеспечила бы взрыв, по мощности*

*эквивалентный взрыву данного ядерного боеприпаса. Обычно он измеряется в килотоннах (кТ) или в мегатоннах (МгТ).*





- Самое мощное оружие, стоящее на вооружении всех великих держав мира, реально применила лишь одна страна – США. Относительно небольшая бомба, разрушившая японский город Хиросиму в 1945 году, обладала мощностью 16 килотонн - 16 тысяч тонн тротила (тринитротолуола, TNT). При взрыве бомбы в соответствии с формулой  $E=mc^2$  в энергию превратился всего 1 грамм вещества, но этого было достаточно чтобы уничтожить 200 000 человек. Чтобы вызвать ядерную реакцию, необходим обогащённый радиоактивный Уран или Плутоний, кроме того, необходимо наличие минимального количества расщепляющегося вещества - критической массы. Для урана она составляет 48 кг, для плутония - 5,6 кг.





- Водородная бомба гораздо мощнее обычной атомной бомбы (приблизительно в 700 раз). Взрыв водородной бомбы происходит за счет взрыва уранового или плутониевого заряда, когда достигается температура в несколько миллионов градусов, при этих условиях происходит синтез ядер Дейтерия (тяжёлый Водород) и Трития (сверхтяжёлый Водород) с образованием Гелия и освобождается огромное количество энергии. Создателем водородной бомбы является советский физик-ядерщик Андрей Сахаров.

- Самой мощной из испытанных бомб была водородная бомба мощностью 57 мегатонн (57 миллионов тонн тротилового эквивалента), создана в СССР. Среди разработчиков были Сахаров, Харитонов и Адамский. Взрыв был приурочен к открытию XXII съезда КПСС. Утром 30 октября 1961 года в 11:32 бомба, сброшенная с высоты 10 км, достигла высоты 4000 метров над Новой Землей (СССР) и была приведена в действие. Место взрыва напоминало ад – землю устилал толстый слой пепла от сгоревших скал. В радиусе 50 километров от эпицентра все горело, хотя перед взрывом здесь лежал снег высотой в человеческий рост, в 400 километрах в заброшенном поселке были разрушены деревянные дома. Взрывная волна обошла земной шар 3 раза. Мощность взрыва в 10 раз превысила суммарную мощность всех взрывчатых веществ, использованных во второй мировой войне.



# 8. Применение радиоактивного излучения.

## Радионуклиды.



В настоящее время широко используются радиоактивные изотопы различных химических элементов, которые называются радионуклидами. С помощью ядерных реакций получены радионуклиды всех химических элементов, встречающихся в природе. Радионуклиды под номерами 43, 61, 85, 87, вообще не имеют стабильных изотопов и получают только искусственно с помощью ядерных реакций. Радионуклид технеций – 43 является самым долгоживущим изотопом с периодом полураспада 1 миллион лет. Радионуклиды широко применяются в науке, медицине и технике как компактные источники  $\gamma$  –лучей. Главным образом используется радиоактивный кобальт  $Co-60$ . Наибольшее применение находит метод меченых атомов. Радиоактивные и стабильные изотопы одинаково ведут себя в химических реакциях и физических явлениях, поэтому с помощью радиоактивного изотопа, добавленного к стабильному изотопу, можно проследить за «поведением» элемента в данной химической реакции или физическом явлении.

**Радиоактивные изотопы в биологии и медицине.** Одним из наиболее выдающихся исследований, проведенных с помощью меченых атомов, явилось исследование обмена веществ в организмах. Было доказано, что за сравнительно небольшое время организм подвергается почти полному обновлению. **Слагающие его атомы заменяются новыми.**

Лишь железо, как показали опыты по изотопному исследованию крови, является исключением из этого правила. Железо входит в состав гемоглобина красных кровяных шариков. 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.

18

Добавлением к кислороду радиоактивного изотопа  ${}^8_{18}\text{O}$  было установлено, что свободный кислород, выделяющийся при фотосинтезе, первоначально входил в состав воды, а не углекислого газа.

Радиоактивные изотопы применяются в медицине как для постановки диагноза, так и для терапевтических целей.

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

Иод интенсивно отлагается в щитовидной железе, особенно при базедовой болезни. Наблюдая с помощью счетчика за отложением радиоактивного иода, можно быстро поставить диагноз, а также проводить лечение щитовидной железы с помощью радиоактивного иода.

Интенсивное  $\gamma$ -излучение кобальта используется при лечении раковых заболеваний (кобальтовая пушка).

Радиоактивные изотопы в промышленности. Не менее обширны применения радиоактивных изотопов в промышленности. Одним из примеров этого может служить следующий способ контроля износа поршневых колец в двигателях внутреннего сгорания. Облучая поршневое кольцо нейтронами, вызывают в нем ядерные реакции и делают его радиоактивным, например, получают радиоактивный изотоп железа Fe -59.

При работе двигателя частички материала кольца попадают в смазочное масло. Исследуя уровень радиоактивности масла после определенного времени работы двигателя, определяют износ кольца.

Радиоактивные изотопы позволяют судить о диффузии металлов, процессах в доменных печах и т. д. Мощное  $\gamma$ -излучение радиоактивных препаратов используют для исследования внутренней структуры металлических отливок с целью обнаружения в них дефектов

Радиоактивные изотопы в сельском хозяйстве. Все более широкое применение получают радиоактивные изотопы в сельском хозяйстве. Облучение семян растений (хлопчатника, капусты, редиса и др.) небольшими дозами  $\gamma$ -лучей от радиоактивных препаратов приводит к заметному повышению урожайности.

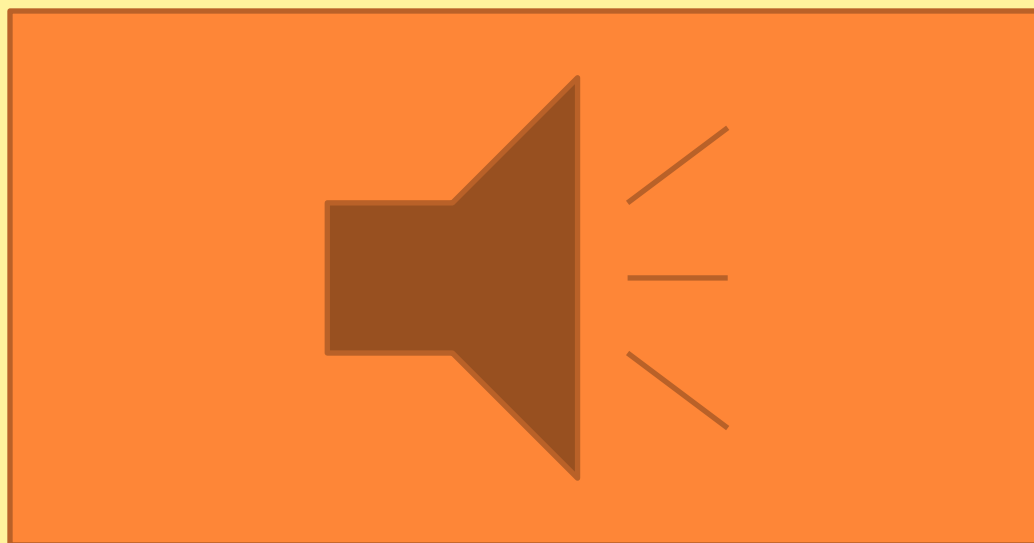
Большие дозы радиации вызывают мутации у растений и микроорганизмов, что в отдельных случаях приводит к появлению мутантов с новыми ценными свойствами (радиоселекция). Так выведены ценные сорта пшеницы, фасоли и других культур, а также получены высокопродуктивные микроорганизмы, применяемые в производстве антибиотиков. Гамма-излучение радиоактивных изотопов используется также для борьбы с вредными насекомыми и для консервации пищевых продуктов.

Широкое применение получили меченые атомы в агротехнике. Например, чтобы выяснить, какое из фосфорных удобрений лучше усваивается растением, помечают различные удобрения радиоактивным фосфором  $^{32}_{15}\text{P}$ . Исследуя затем растения на радиоактивность, можно определить количество усвоенного ими  $^{32}_{15}\text{P}$  из разных сортов удобрения.

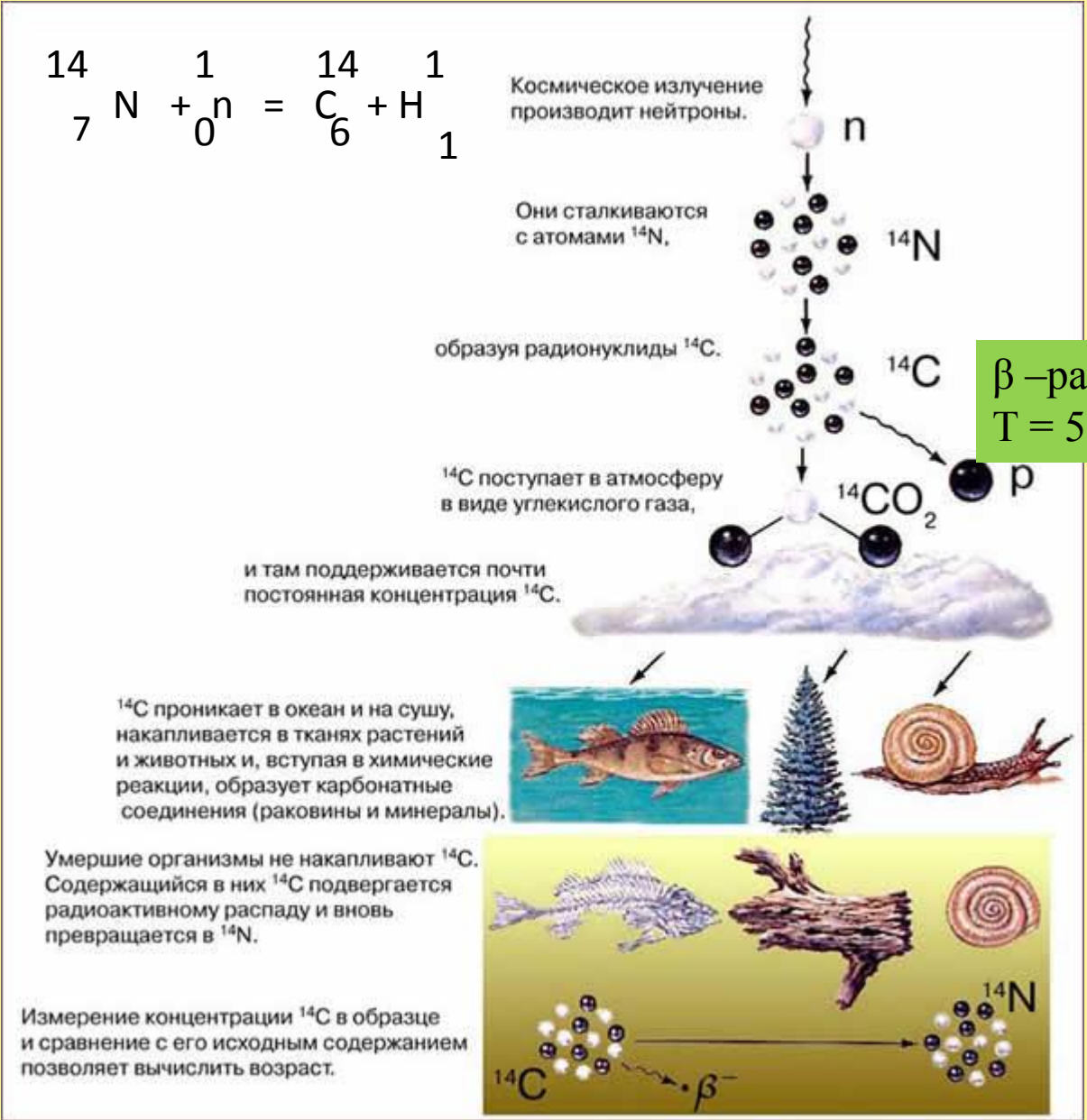
Радиоактивные изотопы в археологии. Интересное применение для определения возраста древних предметов органического происхождения (дерева, древесного угля, тканей и т.д.) получил метод радиоактивного углерода. В растениях всегда имеется радиоактивный изотоп углерода  $^{14}_6\text{C}$  с периодом полураспада  $T=5700$  лет. Он образуется в атмосфере Земли в небольшом количестве из азота под действием нейтронов. Последние же возникают за счет ядерных реакций, вызванных быстрыми частицами, которые поступают в атмосферу из космоса (космические лучи). Соединяясь с кислородом, этот углерод образует углекислый газ, поглощаемый растениями, а через них и животными. Один грамм углерода из образцов молодого леса испускает около пятнадцати  $\beta$ -частиц в секунду.

После гибели организма пополнение его радиоактивным углеродом прекращается. Имеющееся же количество этого изотопа убывает за счет радиоактивности. Определяя процентное содержание радиоуглерода в органических остатках, можно определить их возраст, если он лежит в пределах от 1000 до 50000 и даже до 100000 лет. Таким методом узнают возраст египетских мумий, остатков доисторических костров, время ледникового периода, даты древних вулканов, время вымирания животных, возраст деревьев.

# Анимация «**Определение возраста методом углеродного анализа**»



# Определение возраста вещества с помощью изотопа $^{14}_6\text{C}$



# Применение радиоизотопов

Сельское хозяйство



Углерод-11  
20 мин.

Медицинская диагностика



Натрий-24  
15 час.

Медицинская терапия



Йод-131  
8,4 сут.

Лечение лейкемии

Радиойодотерапия щитовидной железы

Промышленность



Криптон-85  
10,8 года

Радиоуглеродный анализ



Углерод-14  
5730 лет

Ядерная энергетика



Уран-235  
700 млн. лет

Светильные лампы наполняются радиоактивным криптоном, излучение которого заставляет светиться люминофор

Определение возраста деревьев, египетских пирамид.



# 9. Биологическое действие радиации.

Поглощенная доза  
излучения

# БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Излучения радиоактивных веществ оказывают очень сильное воздействие на все живые организмы. Даже сравнительно слабое излучение, которое при полном поглощении повышает температуру тела лишь на 0,001 °С, нарушает жизнедеятельность клеток.

Живая клетка — это сложный механизм, не способный продолжать нормальную деятельность даже при малых повреждениях отдельных его участков. Между тем и слабые излучения могут

нанести клеткам существенные повреждения и вызвать опасные заболевания (лучевая болезнь). При большой интенсивности излучения живые организмы погибают. Опасность излучений усугубляется тем, что они не вызывают никаких болевых ощущений даже при смертельных дозах.

Механизм поражающего биологические объекты действия излучения еще недостаточно изучен. **Но ясно, что оно сводится к ионизации атомов и молекул, изменению их химической активности. Это приводит к гибели клеток, особенно клеток, которые быстро делятся. Поэтому в первую очередь излучения поражают костный мозг, из-за чего нарушается процесс образования крови. Далее наступает поражение клеток пищеварительного тракта и других органов.**

**Сильное влияние оказывает облучение на наследственность, поражая гены в хромосомах. В большинстве случаев это влияние является неблагоприятным.**

Облучение живых организмов может оказывать и определенную пользу.

Быстроразмножающиеся клетки в злокачественных (раковых) опухолях более чувствительны к облучению, чем нормальные. На этом основано подавление раковой опухоли  $\gamma$ -лучами радиоактивных препаратов, которые для этой цели более эффективны, чем рентгеновские лучи.

Доза излучения. Воздействие излучений на живые организмы характеризуется *дозой излучения*. **Поглощенной дозой излучения** называется отношение поглощенной энергии  $E$  ионизирующего излучения к массе  $m$  облучаемого вещества:

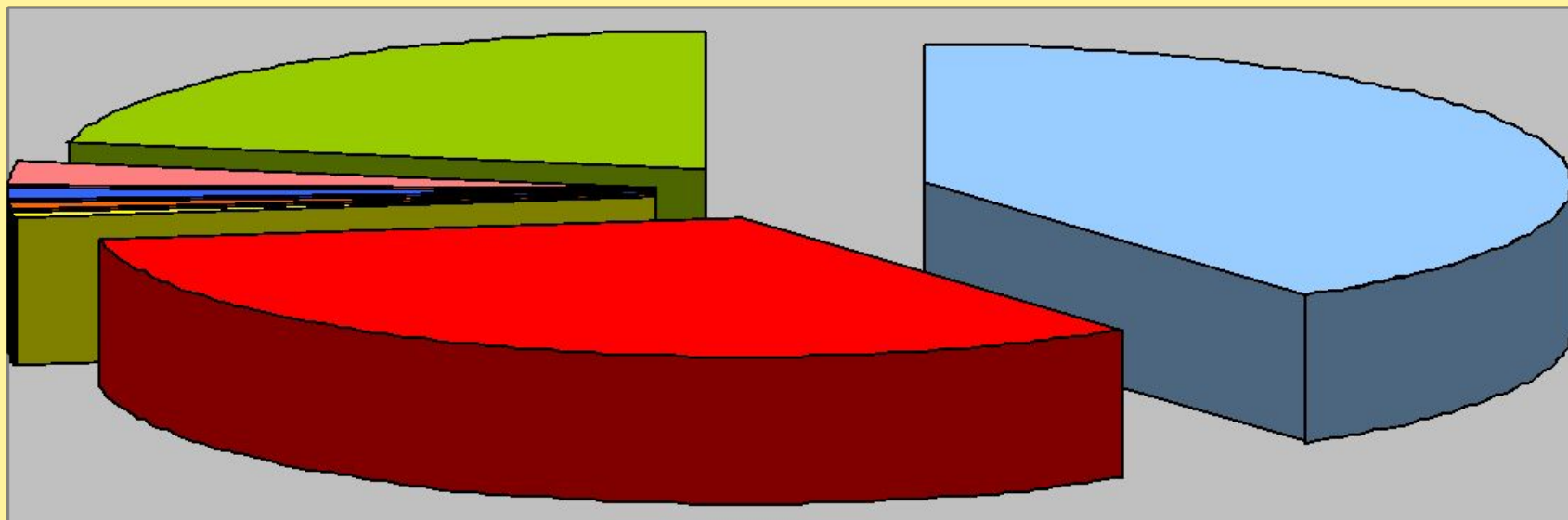
$$D = \frac{E}{m} \longrightarrow 1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

**Естественный фон радиации**: (космические лучи, радиоактивность окружающей среды и человеческого тела) составляет за год дозу излучения около 2-10 Гр на человека. Международная комиссия по радиационной защите установила для лиц, работающих с излучением, предельно допустимую за год дозу 0,05 Гр. Доза излучения 3—10 Гр, полученная за короткое время, смертельна. В некоторых случаях для измерения поглощенной дозы излучения применяют единицу измерения – 1 Зв (зиверт)

10. Радиоактивное  
облучение человека.

Защита от  
радиации.

# Радиоактивность вокруг нас



- Облучение населения продуктами распада радона в помещениях 42%
- Использование ионизирующих излучений в медицине 34%
- Глобальные выпадения продуктов ядерных испытаний 1%
- Пользование авиатранспортом 0,1%
- Употребление радиолюминисцентных товаров 0,1%
- Атомная энергетика 0,03%
- Естественный фон 23%

**Радон** - это **радиоактивный** абсолютно прозрачный, природный газ, не имеет ни вкуса, ни запаха. Чтобы обнаружить радон необходимо специальное оборудование.

Опасность радона, заключается в том, что при вдыхании влечет за собой неблагоприятные последствия для здоровья, в первую очередь рак легких. Радон вторая основная причина после курения, возникновения болезни рака легких.

**Образуется в результате распада урана, который входит в состав грунтов и горных пород. В процессе распада уран превращается в радий, из которого потом и образуется**

**радон.** Он постепенно просачивается из недр на поверхность, где сразу рассеивается в воздухе, в результате чего его концентрация остается ничтожной и не представляет опасности.

**Если отсутствует нормальный воздухообмен**, например в домах, квартирах и др. помещениях, тогда может возникнуть опасная концентрация радона. В случае, когда для снабжения дома водой используются **скважины**, радон попадает в дом с водой и также может скапливаться в значительных количествах в кухнях и ваннных комнатах.

**Радон достаточно хорошо растворяются в воде, и при контакте с подземными водами очень хорошо насыщает их.**

**С одной стороны, радон вместе с водой попадает в пищеварительную систему, а с другой стороны, люди вдыхают выделяемый водой радон при ее использовании. Когда вода вытекает из крана, радон выделяется из нее, поэтому концентрация радона в кухне или ванной комнате может в 30-40 раз превышать его уровень в других помещениях.**

**Поэтому домашние комнаты нужно постоянно проветривать.**

**Естественный  
радиационный фон  
создают природные  
радиоактивные  
элементы и  
космические лучи**

Основные, встречающиеся в горных породах Земли, радиоактивные элементы – это калий-40, рубидий-87 и члены двух радиоактивных семейств, берущих начало соответственно от урана-238 и тория-232 – долгоживущих изотопов.

. В среднем человек получает около 180 микрозивертов в год за счет КАЛИЯ-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности организма. Однако значительно большую дозу внутреннего облучения человек получает от РАДИОНУКЛИДОВ РАДИОАКТИВНОГО РЯДА УРАНА-238 И ТОРИЯ-232.

Некоторые из них, например НУКЛИДЫ СВИНЦА-210 и ПОЛОНИЯ-210, поступают в организм с пищей. Они концентрируются в рыбе и моллюсках, поэтому люди, потребляющие много рыбы и других даров моря, могут получить относительно высокие дозы облучения.

Десятки тысяч людей на Крайнем Севере питаются в основном мясом северного оленя (карибу), в котором оба упомянутых выше радиоактивных изотопа присутствуют в довольно высокой концентрации. ОСОБЕННО ВЕЛИКО СОДЕРЖАНИЕ ПОЛОНИЯ-210. Эти изотопы попадают в организм оленей зимой, когда они питаются лишайниками, в которых накапливаются оба изотопа. Дозы внутреннего облучения человека от полония-210 в этих случаях могут в 35 раз превышать средний уровень. А в другом полушарии люди, живущие в Западной Австралии в местах с повышенной концентрацией урана, получают дозы облучения, в 75 раз превосходящие средний уровень, поскольку едят мясо овец и кенгуру.



## Природные радиоактивные элементы

### условно можно разделить на три группы:

1. Радиоактивные элементы семейства урана и тория
2. Не связанные с первой группой радиоактивные элементы – калий – 40, кальций – 48, рубидий – 87 и др. Так, калий – 40 накапливается в минералах, содержащих калий, содержится в питьевой воде
3. Радиоактивные элементы, возникающие при взаимодействии космического излучения с молекулами атмосферного воздуха – тритий и углерод – 14 (образуется при бомбардировке ядер азота нейтронами космического излучения )
4. Поступление радионуклидов в биосферу вместе с извлечёнными на поверхность земли из недр полезными ископаемыми (главным образом минеральными удобрениями), в результате сгорания органического топлива, излучения в помещениях, построенных из материалов, содержащих естественные радионуклиды.

**КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ** - ПОТОК ЧАСТИЦ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ, ПРИХОДЯЩИХ НА ЗЕМЛЮ ИЗ МИРОВОГО ПРОСТРАНСТВА - ПЕРВИЧНОЕ

КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. БОЛЕЕ 90% ЧАСТИЦ ПЕРВИЧНЫХ К. Л. СОСТАВЛЯЮТ **ПРОТОНЫ**, 7% — **А-ЧАСТИЦЫ** И ЛИШЬ НЕБОЛЬШАЯ ДОЛЯ (~ 1%) ПРИХОДИТСЯ НА ЯДРА ЭЛЕМЕНТОВ БОЛЕЕ ТЯЖЁЛЫХ, ЧЕМ ВОДОРОД И ГЕЛИЙ

При взаимодействии космических лучей с атомными ядрами атмосферного воздуха образуются нейтроны ( их называют нейтроны альбедо ), которые распадаются на протоны и электроны.

**Таким образом ,атмосфера насыщена всеми элементарными частицами. Большая часть этих Частиц поглощается атмосферой Земли.**

Чем выше поднимаемся над уровнем моря, тем сильнее становится космическое облучение, ибо толщина воздушной прослойки и ее плотность по мере подъема уменьшается, а следовательно, падают защитные свойства. Те, кто живет на уровне моря, в год получают дозу внешнего облучения приблизительно 0,3 мЗв, на высоте 4000 метров – уже 1,7 мЗв. На высоте 12 км доза облучения за счет космических лучей возрастает приблизительно в 25 раз по сравнению с земной. Экипажи и пассажиры самолетов при перелете на расстояние 2400 км получают дозу облучения 10 мкЗв, при полете из Москвы в Хабаровск эта цифра уже составит 40 – 50 мкЗв. Здесь играет роль не только продолжительность, но и высота полета.

**Внутреннее облучение человека** обусловлено теми естественными радиоактивными веществами, которые попадают внутрь организма **с воздухом, водой, продуктами питания**. Это радиоактивные газы, которые поступают из глубины земных недр (радон, торон и др.), а также радиоактивный калий, уран, торий, рубидий, радий, которые входят в состав пищевых продуктов, растений и воды.

Так, в **пшеничном хлебе** содержание **урана** в среднем составляет  $41 \cdot 10^{-8}$ , гречневой крупе —  $42 \cdot 10^{-8}$ , говядине —  $1,4 \cdot 10^{-8}$ , рыбе —  $1,1 \cdot 10^{-8}$ , молоке —  $0,4 \cdot 10^{-8}$ . **Радиоактивный калий в большей степени накапливается в бобовых растениях: горохе, бобах, фасоли, сое**

РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ природы на территории Российской Федерации в настоящее время обусловлено следующими источниками :

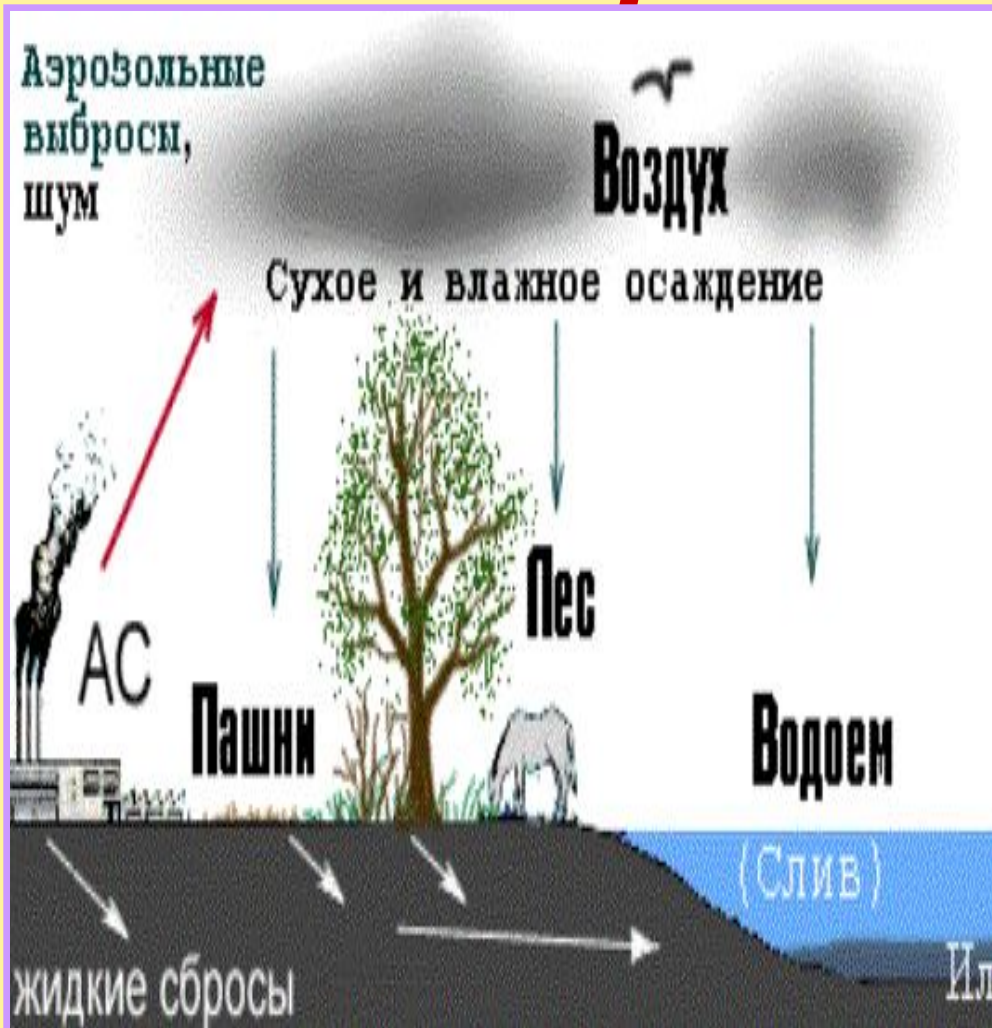
- ДОЛГОЖИВУЩИМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ИЗОТОПАМИ – ПРОДУКТАМИ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ, ПРОВОДИВШИМИСЯ В АТМОСФЕРЕ НАД ЗЕМЛЕЙ И ПОД ЗЕМЛЕЙ
- ВЫБРОСОМ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ 4-ГО БЛОКА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В АПРЕЛЕ – МАЕ 1986 ГОДА;
- ПЛАНОВЫМИ И АВАРИЙНЫМИ ВЫБРОСАМИ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ;
- ВЫБРОСАМИ В АТМОСФЕРУ И СБРОСАМИ В ВОДНЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ С ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ;
- ПРИВНЕСЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТЬЮ (ТВЁРДЫЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ) .

Главную радиационную опасность представляют запасы ядерного оружия и топлива и радиоактивные осадки, которые образовались в результате ядерных взрывов или аварий и утечек в ядерно-топливном цикле – от добычи и обогащения урановой руды до захоронения отходов. В мире накоплены десятки тысяч тонн расщепляющихся материалов, обладающих колоссальной суммарной активностью.

С 1945 по 1996 г. США, СССР (Россия), Великобритания, Франция и Китай произвели в надземном пространстве более 400 ядерных взрывов. В атмосферу поступила большая масса сотен различных радионуклидов, которые постепенно выпали на всей поверхности планеты. Их глобальное количество почти удвоили ядерные катастрофы, произошедшие на территории СССР. Долгоживущие радиоизотопы (углерод-14, цезий-137, стронций-90 и др.) и сегодня продолжают излучать, создавая приблизительно 2%-ю добавку к фону радиации.

Последствия атомных бомбардировок, ядерных испытаний и аварий еще долго будут сказываться на здоровье облученных людей и их потомков.

# Способы переноса радиации



Радиоактивные вещества переносятся по воздуху, выпадают на Землю в виде осадков (дождь, снег) и накапливаются в почве, на деревьях, растениях и водоемах, часть радиоактивных веществ попадает в грунтовые воды. Затем радиоактивные вещества через растения попадают в пищу человека и животных. Радиоактивные вещества десятилетиями находятся в почве и постоянно поступают в организм человека и животных. Механизм усвоения корнями растений сходен с поглощением питательных веществ из почвы.



# Методы регистрации ионизирующих излучений

Дозиметры



# Физическая противолучевая защита.

- $\alpha$ -излучение. Достаточно находиться на расстоянии не ближе 9—10 см от радиоактивного препарата; одежда, резиновые перчатки полностью защищают от внешнего облучения  $\alpha$ -частицами.
- $\beta$ -излучение. Манипуляции с радиоактивными веществами необходимо осуществлять за специальными экранами (ширмами) или в защитных шкафах. В качестве защитных материалов используют плексиглас, алюминий или стекло.
- рентгеновское и  $\gamma$ -излучение. Используют свинец, бетон и барит.

## **Средства индивидуальной защиты населения**

предназначаются для защиты от попадания внутрь организма, на кожные покровы и одежду радиоактивных, отравляющих веществ и бактериальных средств. Они подразделяются на **средства защиты органов дыхания и средства защиты кожи**. К первым относятся фильтрующие и изолирующие противогазы, респираторы, а также противопыльные тканевые маски (ПТМ – 1) и ватно-марлевые повязки; ко вторым – одежда специальная изолирующая защитная, защитная фильтрующая (ЗФО) и приспособленная одежда населения.

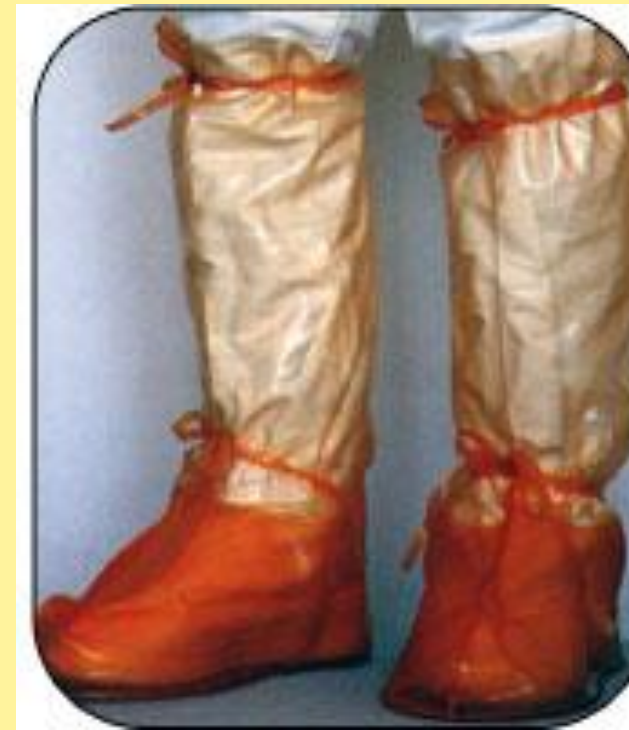
**По принципу защиты средства индивидуальной защиты делятся на фильтрующие и изолирующие.** Принцип

фильтрации заключается в том, что воздух, необходимый для поддержания жизнедеятельности человека, очищается от вредных примесей при прохождении через средства защиты.

Средства индивидуальной защиты изолирующего типа полностью изолируют организм человека от окружающей среды с помощью материалов, непроницаемых для воздуха и вредных примесей.

**По способу изготовления средства индивидуальной защиты делятся на средства : изготовленные промышленностью, и простейшие, изготовленные населением из подручных материалов.**

# Средства индивидуальной защиты при работе с «открытыми» источниками ионизирующих излучений.







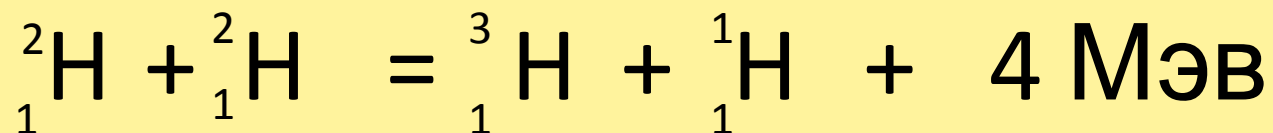
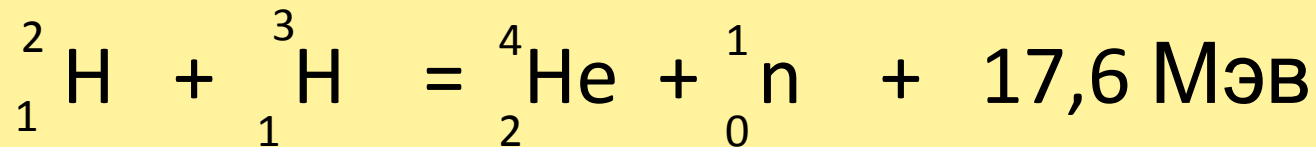
- **Воздействие радиации на организм может быть различным, но почти всегда оно негативно. В малых дозах радиационное излучение может стать катализатором процессов, приводящих к раку или генетическим нарушениям, а в больших дозах часто приводит к полной или частичной гибели организма вследствие разрушения клеток организма ( лучевой болезни )**

# 12. Термоядерные реакции

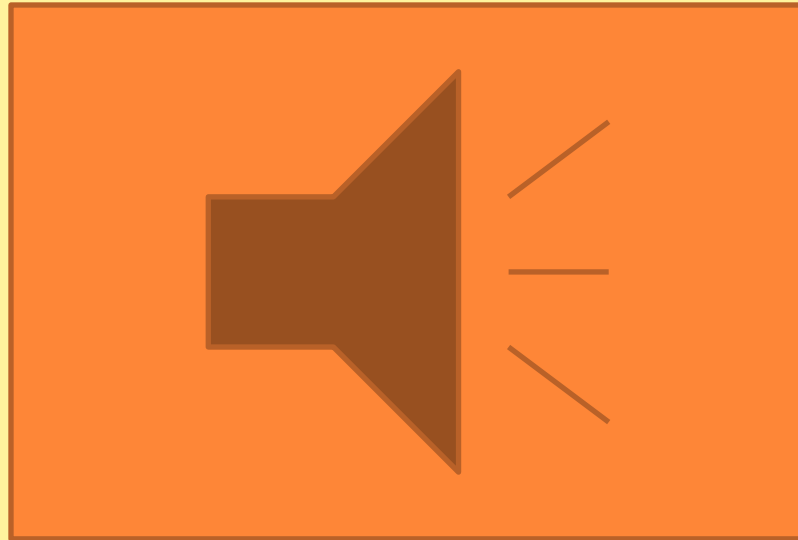


Реакция слияния легких ядер( водорода , гелия ) при очень высокой температуре, сопровождающаяся выделением энергии, называется термоядерной реакцией. Для слияния ядер необходимо, чтобы расстояние между ядрами приблизительно было равно  $10^{-15}$  м , только на таких расстояниях начинают действовать ядерные силы притяжения . Однако этому препятствуют кулоновские силы отталкивания . Они могут быть преодолены только при наличии у ядер большой кинетической энергии , а это возможно при очень высокой температуре порядка  $10^7$  К

Условия для протекания термоядерной реакции имеются на Солнце и звездах, энергия , выделяемая при этом обеспечивает излучение света звездами на миллиарды лет.

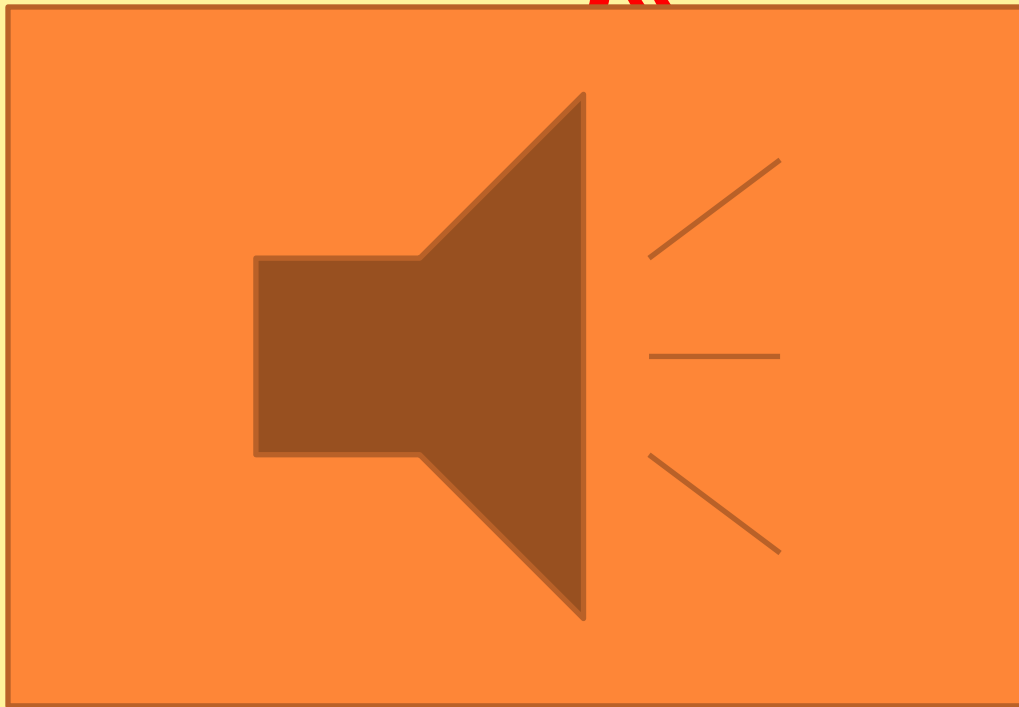


# Анимация «Термоядерная реакция»

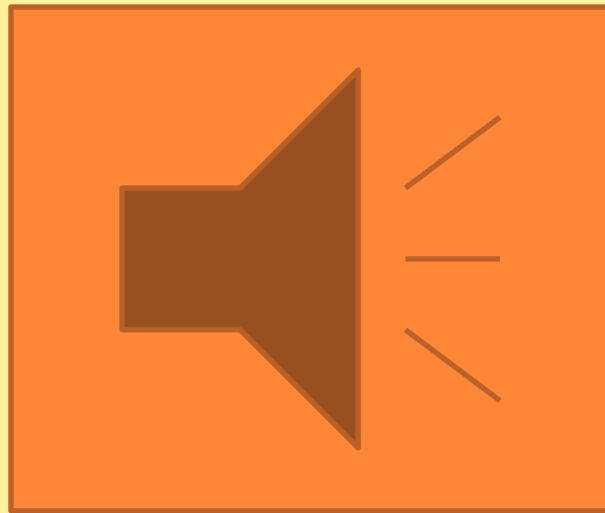


# Анимация «

# Термоядерные реакции



# Анимация « Радиоактивный распад»



# ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА ЗАЛОЖИЛИ В 1950 ГОДУ

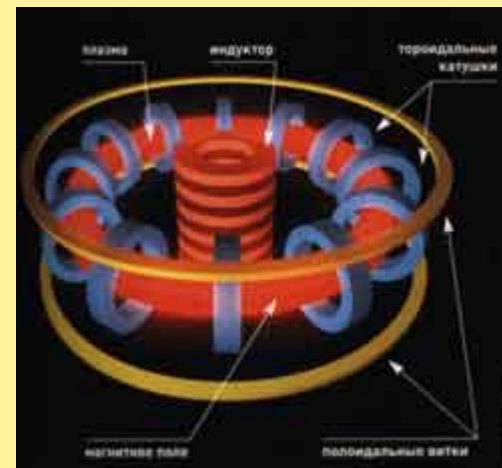
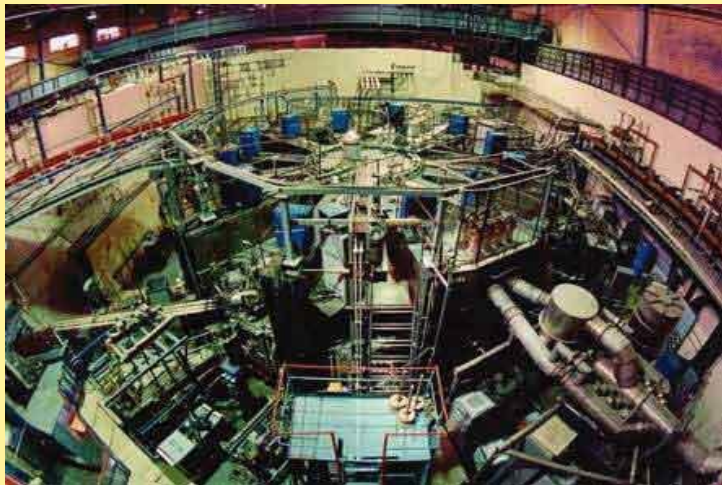
**И. Е. ТАММ И А. Д. САХАРОВ**

Их идея и привела к созданию термоядерных реакторов - Токамаков. Требуемая высокая температура в сотни млн. градусов может быть достигнута путем создания в плазме мощных электрических токов ,но трудно удержать такую плазму.

Современные ТОКАМАКИ - не термоядерные реакторы, в которых можно получить энергию

и преобразовать ее в электрическую энергию , а исследовательские установки, в которых возможно лишь на некоторое время создание и сохранение высокотемпературной плазмы. Наиболее мощный современный ТОКАМАК, служащий только лишь для исследовательских целей , находится в городе Абингдон недалеко от Оксфорда. Высотой в 10 метров, он вырабатывает плазму и удерживает ее с помощью магнитного поля пока всего лишь около 1 секунду

## ТОКАМАК



**ВОДОРОДНАЯ БОМБА**, оружие большой разрушительной силы), принцип действия которого основан на реакции термоядерного синтеза легких ядер. Источником энергии взрыва являются процессы, аналогичные процессам, протекающим на Солнце и других звездах.



**ВОДОРОДНАЯ БОМБА В 50 МЕГАТОНН**

**МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ВОДОРОДНОЙ БОМБЫ.** Последовательность процессов, происходящих при взрыве водородной бомбы, можно представить следующим образом. Сначала взрывается находящаяся внутри оболочки **небольшая атомная бомба**, в результате чего возникает нейтронная вспышка и **создается высокая температура**, необходимая для начала термоядерного синтеза. Нейтроны бомбардируют соединения дейтерия с литием. Литий-6 под действием нейтронов расщепляется на гелий и тритий. Таким образом, атомный запал создает необходимые для синтеза материалы непосредственно в самой бомбе.



Затем начинается термоядерная реакция в смеси дейтерия с тритием, температура внутри бомбы стремительно нарастает, вовлекая в синтез все большее и большее количество водорода. При дальнейшем повышении температуры начинается реакция между ядрами дейтерия, характерная для чисто водородной бомбы. Все реакции протекают настолько быстро, что воспринимаются как мгновенные.



## ИСТОРИЯ ВОДОРОДНОЙ БОМБЫ

1 ноября 1952 года США взорвали первый термоядерный заряд на атолле Эниветок. Первая в мире водородная бомба — советская РДС-6 была взорвана 12 августа 1953 года на полигоне в Семипалатинске. Устройство, испытанное США в 1952 году фактически не являлось «бомбой», а представляла собой лабораторный образец, «3-х этажный дом, наполненный жидким дейтерием», выполненный в виде специальной конструкции. Советские же ученые разработали именно бомбу — законченное устройство, пригодное к практическому применению.. Впрочем, мощность взорванного американцами устройства составляла 10 мегатонн, в то время как мощность бомбы конструкции Сахарова — Лаврентьева — 400 килотонн. Самая крупная когда-либо взорванная водородная бомба — советская 50-мегатонная «царь-бомба», взорвана 30 октября 1961 года на полигоне архипелага Новая Земля. Никита Хрущёв впоследствии публично пошутил, что первоначально предполагалось взорвать 100-мегатонную бомбу, но заряд уменьшили, «чтобы не побить все стёкла в Москве». Бомба была взорвана на высоте 4000 метров над полигоном «Новая Земля». Ударная волна после взрыва три раза обогнула земной шар.

# ВЗРЫВ ВОДОРОДНОЙ БОМБЫ НА АТОЛЛЕ ЭНИВЕТОК



# САМЫЙ МОЩНЫЙ ВЗРЫВ ВОДОРОДНОЙ БОМБЫ



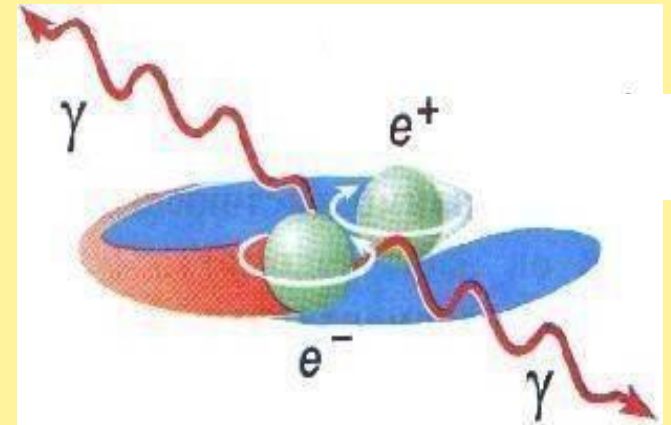
# 13. Элементарные частицы и их классификация

## Элементарные частицы

В 1911 году Резерфорд открыл атомное ядро, он же в 1919 году в продуктах расщепления ядер атомов ряда элементов обнаружил протоны. В 1932 году Чедвик открыл нейтрон. Стало ясно, что ядра атомов, как и сами атомы, имеют сложное строение. Возникла протонно-нейтронная модель строения ядер. В том же 1932 году в космических лучах был открыт позитрон.

Позитрон – положительно заряженная частица, имеющая ту же массу и тот же (по модулю) заряд, что и электрон. Существование позитрона было предсказано П. Дираком в 1928 году. В 1937 году в космических лучах были обнаружены частицы с массой в 207 электронных масс, названные мюонами ( $\mu$ -мезонами). Затем в 1947–1950 годах были открыты пионы ( $\pi$ -мезоны), которые осуществляют взаимодействие между нуклонами в ядре, то есть создают ядерные силы. Обмениваясь пионами, нуклоны удерживаются друг около друга внутри ядра. В последующие годы число вновь открываемых частиц стало быстро расти. В настоящее время известно около 400 элементарных частиц. Подавляющее большинство этих частиц являются нестабильными. Исключение составляют лишь фотон, электрон, протон и нейтрино. Все остальные частицы через определенные промежутки времени испытывают самопроизвольные превращения в другие частицы. Нестабильные элементарные частицы сильно отличаются друг от друга по временам жизни. Наиболее долгоживущей частицей является нейтрон. Время жизни нейтрона порядка 15 мин. Другие частицы «живут» гораздо меньшее время.

Способность к взаимным превращениям – это наиболее важное свойство всех элементарных частиц. Примером может служить аннигиляция (т.е. исчезновение) электрона и позитрона, сопровождающаяся рождением фотонов большой энергии. Может протекать и обратный процесс – рождение электронно-позитронной пары, например, при столкновении фотона с достаточно большой энергией с ядром. Такой опасный двойник, каким для электрона является позитрон, есть и у протона. Он называется антипротоном. Электрический заряд антипротона отрицателен. В настоящее время античастицы найдены у всех частиц. Античастицы противопоставляются частицам потому, что при встрече любой частицы со своей античастицей происходит их аннигиляция, т.е. обе частицы исчезают, превращаясь в кванты излучения или другие частицы. Античастица обнаружена даже у нейтрона. Нейтрон и антинейтрон отличаются только знаками магнитного момента и так называемого барионного заряда



# Классификация элементарных частиц

Частица	Античастица	Обозначения	Электрический заряд, Кл	Масса, МэВ	Время жизни, с
<b>Фотон</b>		$\gamma$	0	0	$\infty$
<i>Лептоны</i>					
Электрон	Позитрон	$e^- e^+$	$\pm 1,6 \cdot 10^{-19}$	0,511	$\infty$
Нейтрино (электронное)	Антинейтрино	$\nu, \bar{\nu}$	0	0	$\infty$
<i>Адроны</i>					
<i>Мезоны</i>					
π - мезоны (пионы)		$\pi^+, \pi^-$	$\pm 1,6 \cdot 10^{-19}$	139,6	$2,5 \cdot 10^{-8}$
		$\pi^0$	0	135,0	$2 \cdot 10^{-16}$
<i>Барионы</i>					
протон	антипротон	$p, \bar{p}$	$\pm 1,6 \cdot 10^{-19}$	938,26	$\rightarrow \infty$
нейтрон	антинейтрон	$n, \bar{n}$	0	939,55	$1 \cdot 10^3$



**Ускоренный  
вариант  
изучения темы  
«Ядерная  
физика»**

**1. Строеение**

**ядра.**

**Изотопы**

# Строение атомного ядра.

Советский физик Д. Д. Иваненко и немецкий физик В. Гейзенберг в 1932 году предложили протонно-нейтронную модель ядра: ядра состоят из элементарных частиц двух сортов: протонов и нейтронов (нуклонов).

• Число протонов в ядре равняется числу электронов в атомной оболочке, поэтому атом в целом электронейтрален.



Дмитрий Дмитриевич  
Иваненко  
(1904-1994)



Вернер Карл  
Гейзенберг  
(1901-1976)

# Условные обозначения

**A** ядер

**Z** **X** - условное обозначение ядра

**X** - символ химического элемента

**Z** - зарядовое число ( число протонов внутри ядра или порядковый номер в системе элементов Менделеева )

**N** - число нейтронов внутри ядра

**A** - массовое число (число нуклонов или протонов и нейтронов внутри ядра )

**e** - элементарный заряд

$$N = A - Z$$



В 1911 году английский ученый  
Содди

высказал предположение о том, что

должны существовать элементы с  
одина –

ковыми химическими свойствами, но

отличающиеся радиоактивностью.

Эти элементы располагаются в одной  
и

той же клетке системы Менделеева.

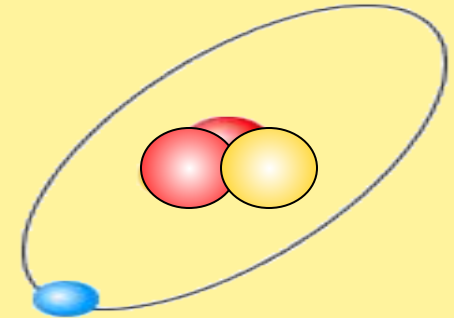
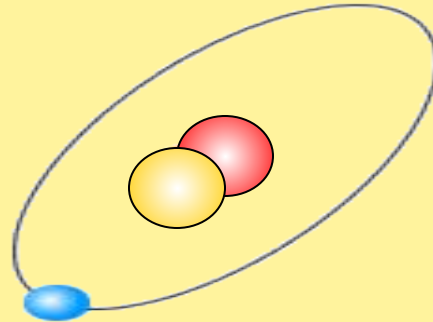
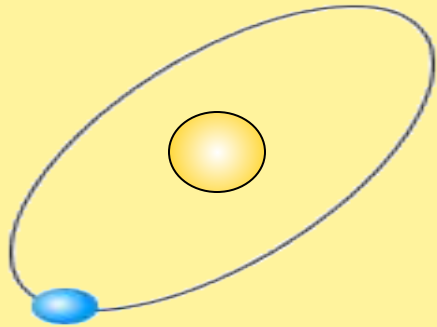
Содди назвал их

**изотопами.**

# Изотопы

**Изотопы - это химические  
элементы,  
ядра которых имеют  
одинаковое  
число протонов , но разное  
число  
нейтронов(разную массу).**  
**Изотопы имеют одинаковые  
химические свойства**  
**(обусловлены зарядом ядра),  
но разные физические свойства**  
**(обусловленные массой)**

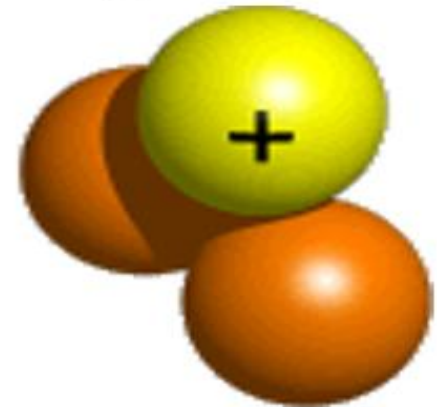
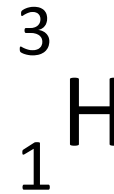
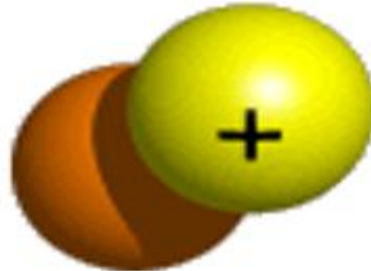
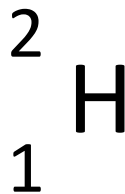
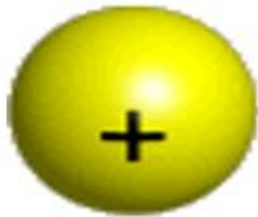
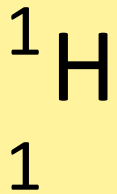
# Изотопы водорода



**Протий**

**Дейтерий**

**Тритий**



Доля 99,985 % ,  
Нерадиоактивен  
( стабилен ) при соединении  
с кислородом образуется  
вода

Доля 0,015 %,стабилен ,при  
соединении  
с водой образуется тяжёлая вода  
с температурой кипения  $101^{\circ}\text{C}$  и  
температурой плавления  $3,8^{\circ}\text{C}$

В природе не существует,  
получается только  
искусственно в ходе  
ядерной реакции , <sup>128</sup>  
радиоактивен



**2. Ядерные**

**силы.**

**Энергия**

**связи ядра**

При образовании ядра из протонов и нейтронов происходит уменьшение массы:

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

$$M_{\text{Я}} = M_a - Zm_e$$

Энергия, которая выделяется при образовании ядра из протонов и нейтронов, называется энергией связи ядра:

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2$$

Образование всего 4 г гелия сопровождается выделением такой энергии, которая выделяется при сгорании почти целого вагона каменного угля

Часто вместо энергии связи рассматривают удельную энергию

## СВЯЗИ

$$N = \frac{E_{\text{св}}}{A}$$

Она характеризует устойчивость (прочность) атомных ядер, чем она больше, тем устойчивее ядро. Удельная энергия связи зависит от массового числа  $A$  элемента. Для легких ядер удельная энергия связи круто возрастает до 6-7 МэВ, для гелия  $\approx 7,1$  МэВ, затем более медленно возрастает до максимальной величины 8,7 МэВ для средних ядер (железо, никель), а потом постепенно уменьшается у тяжелых ядер (уран, плутоний)

Уменьшение удельной энергии связи при переходе к тяжелым элементам объясняется тем, что с возрастанием числа протонов в ядре увеличивается и энергия их *кулоновского отталкивания*. Поэтому связь между нуклонами становится менее сильной, а сами ядра менее прочными.

**Поэтому возможны два**  
**процесса**  
**при взаимодействии ядер:**

- 1. Деления ядер тяжелых элементов на два средних ядра**
- 2. Соединение ядер легких элементов (водород, дейтерий, протий, литий) с образованием более устойчивых легких ядер, например ядра гелия**

# 3. Радиоактивный распад. Виды распада. Закон радиоактивного распада.

# Радиоактивный

## распад

Радиоактивный распад - это самопроизвольное превращение одного ядра в другое ядро с испусканием  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – частиц(лучей).

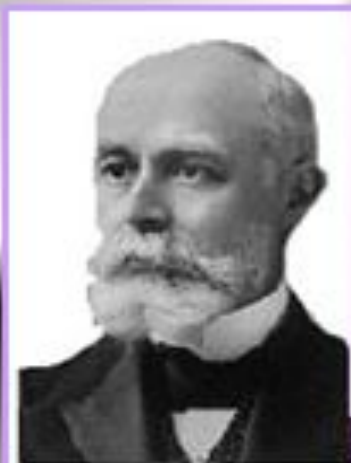
Распавшееся ядро называется материнским, возникшее ядро – дочерним. При радиоактивном распаде выделяется энергия.

### Механизм излучения $\gamma$ – лучей следующий :

ДОЧЕРНЕЕ ЯДРО, ПОГЛОЩАЯ ЧАСТЬ ЭНЕРГИИ, КОТОРАЯ ВЫДЕЛЯЕТСЯ ПРИ РАДИОАКТИВНОМ РАСПАДЕ, ПЕРЕХОДИТ В ВОЗБУЖДЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, В ВОЗБУЖДЕННОМ СОСТОЯНИИ ЯДРО НАХОДИТСЯ ОЧЕНЬ КОРОТКИЙ ПРОМЕЖУТОК ВРЕМЕНИ  $10^{-13}$  -  $10^{-14}$  с И СРАЗУ ВОЗВРАЩАЕТСЯ В ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ. ПРИ ЭТОМ ИЗЛУЧАЮТСЯ  $\gamma$  – ЛУЧИ.

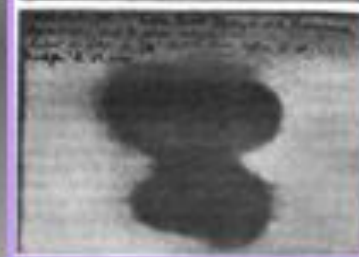
Гамма - лучи излучаются возбужденными ядрами вещества

# Радиоактивность -



Анри Беккерель

Открытие - 1896 год



Явление испускания невидимых, проникающих через вещество лучей, получило название радиоактивности, вещества были названы радиоактивными веществами, а испускаемые лучи – радиоактивным излучением или радиацией



# Исследования радиоактивности



Мария Кюри



Пьер Кюри

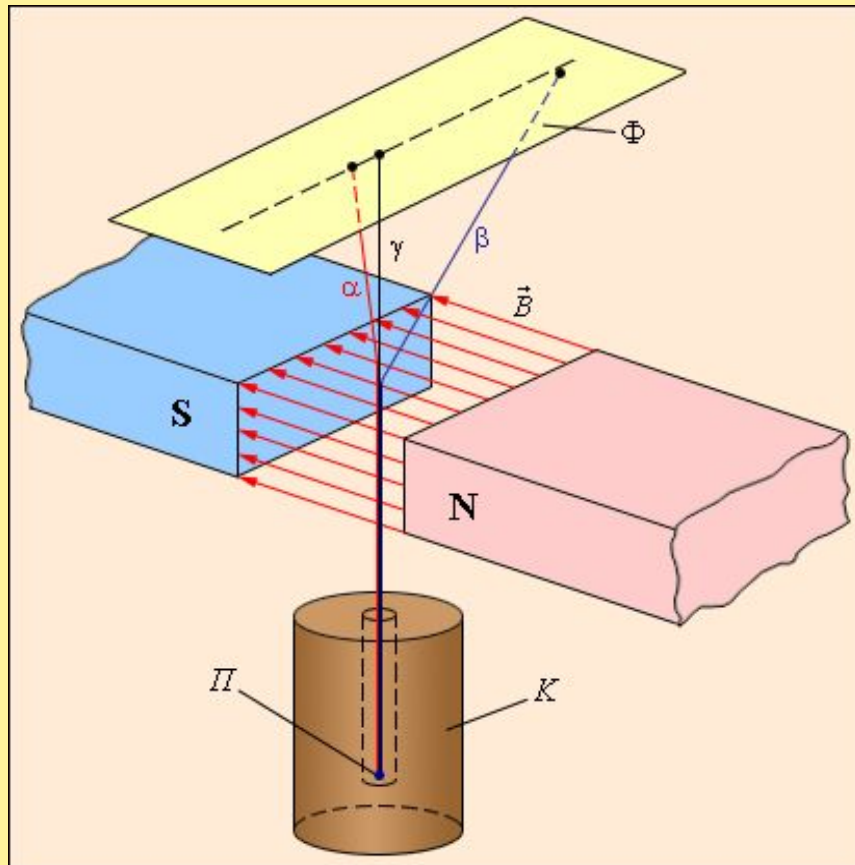


1898 год –  
Открыты  
радиоактивность тория,  
полония и радия

**Все химические  
элементы,  
начиная с номера  
83,  
обладают  
радиоактивностью**

# Природа радиоактивного излучения

(опыт проведен Резерфордом в 1899 году)

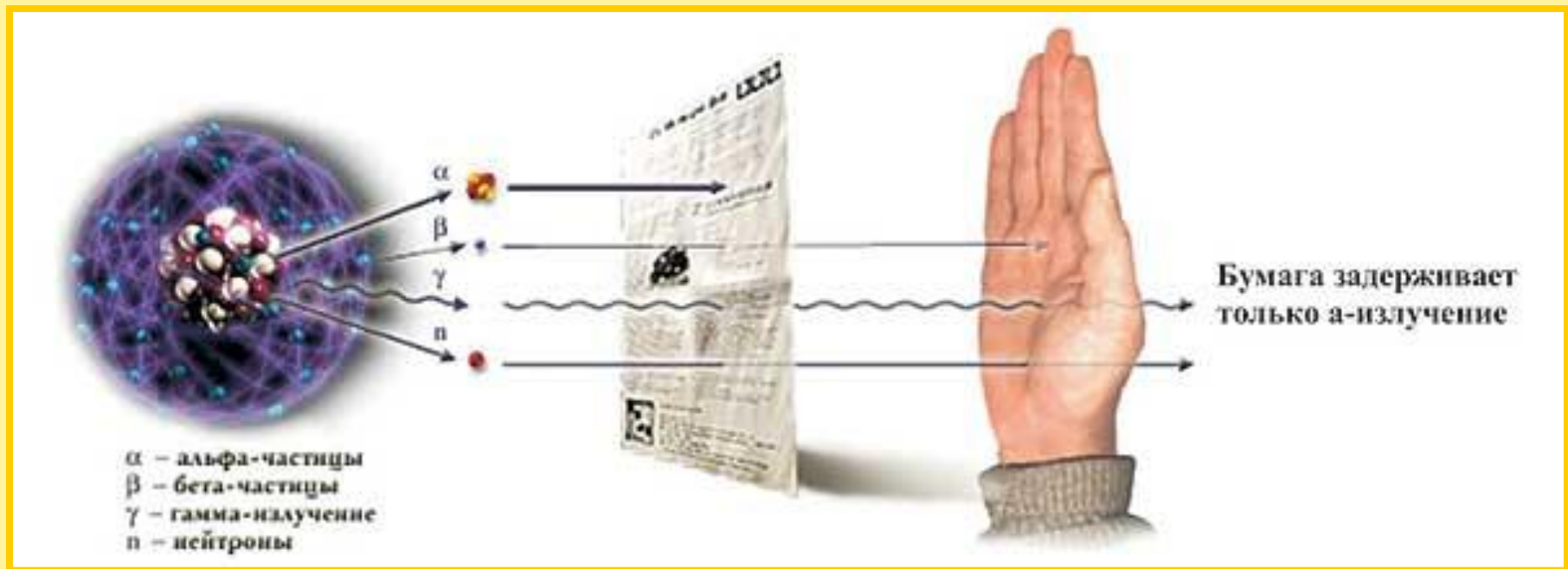


$\alpha$ -лучи - поток  $\alpha$ -частиц, движущихся со скоростью 20000 км/с

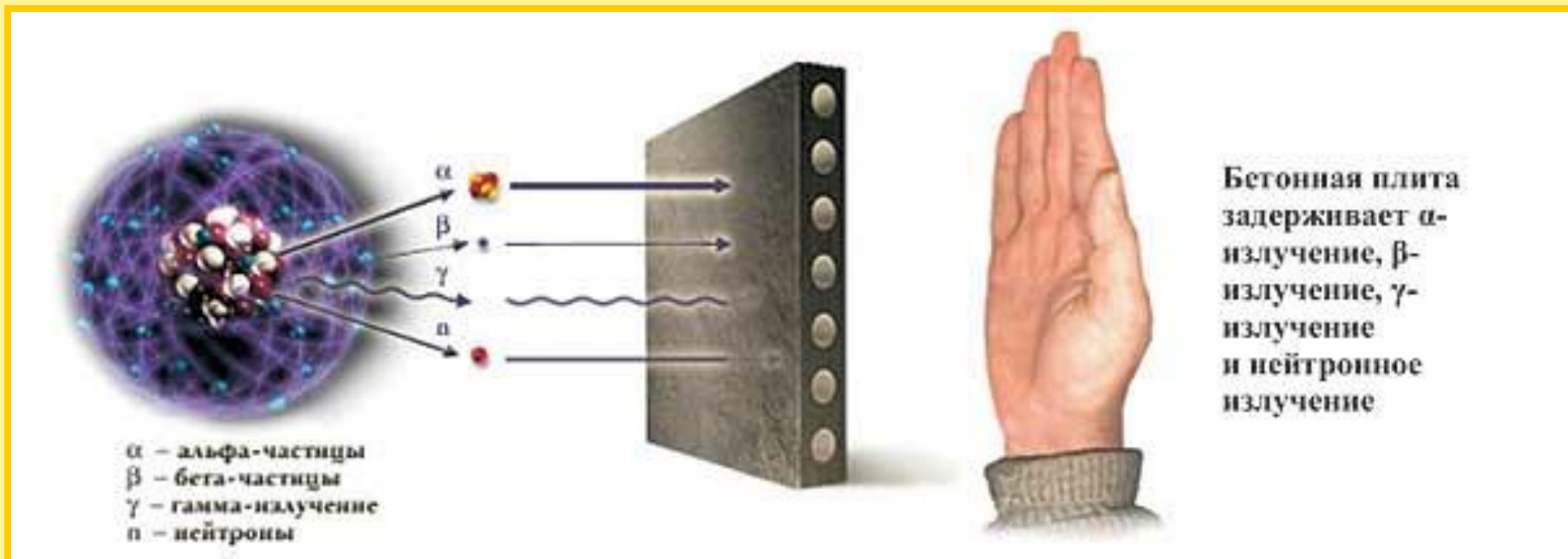
$\beta$ -лучи - поток электронов, движущихся со скоростью 100000 км/с

$\gamma$ -лучи - электромагнитные волны с длиной волны  $\lambda < 10^{-10}$  м, скорость 300000 км/с

# Проникающая способность радиоактивного излучения



# Проникающая способность радиоактивного излучения



λ – лучи - слой бумаги толщиной 0,1 мм.

β - лучи - алюминиевая пластинка толщиной в несколько миллиметров.

γ - лучи - слой бетона толщиной в несколько метров.

$\alpha$  -Альфа–частица или ядро атома гелия  ${}^4_2\text{He}$

$\beta$  - Бетта–частица или электрон  ${}^0_{-1}e$

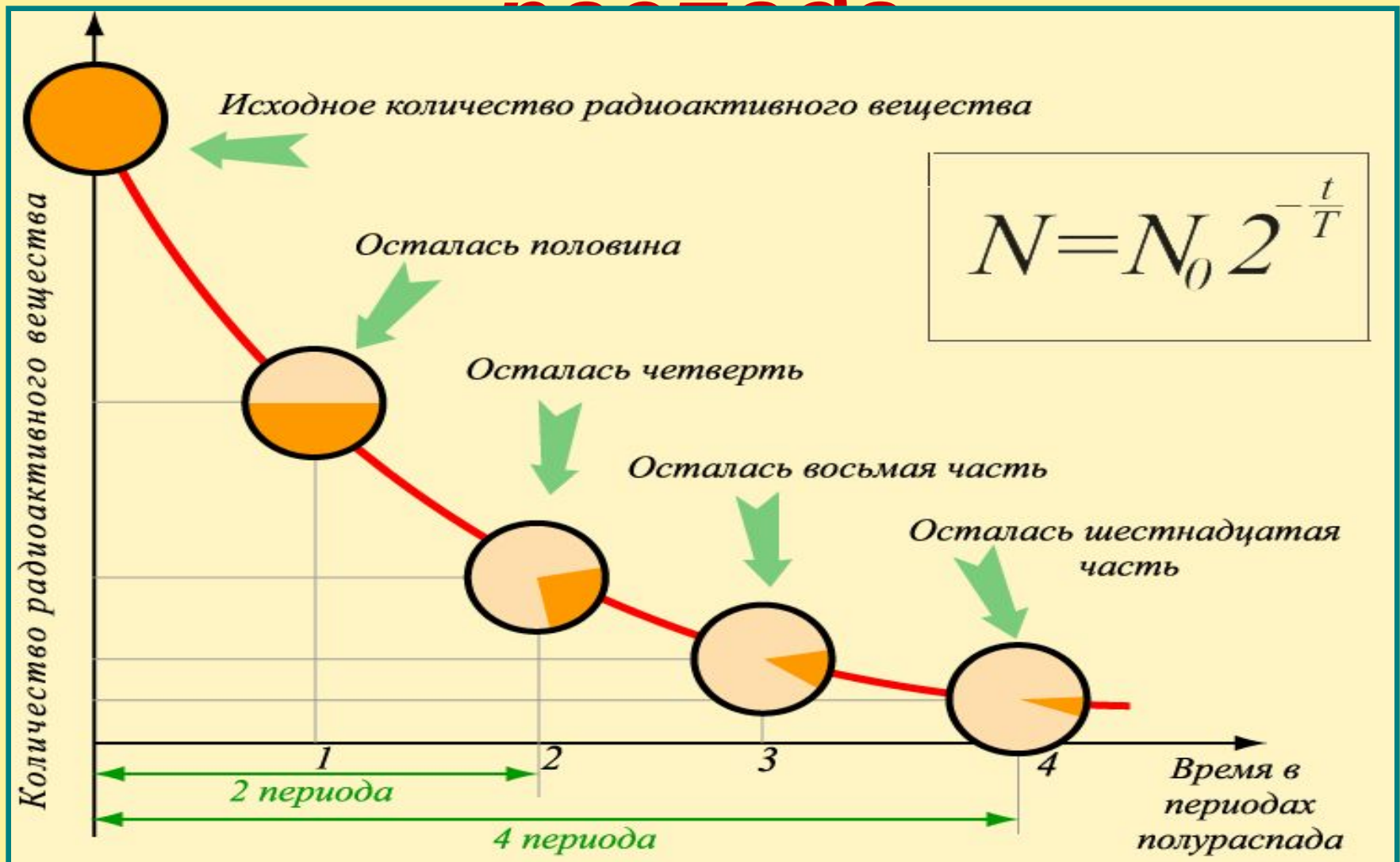
$\gamma$  - Гамма–частица или фотон  ${}^0_0\gamma$

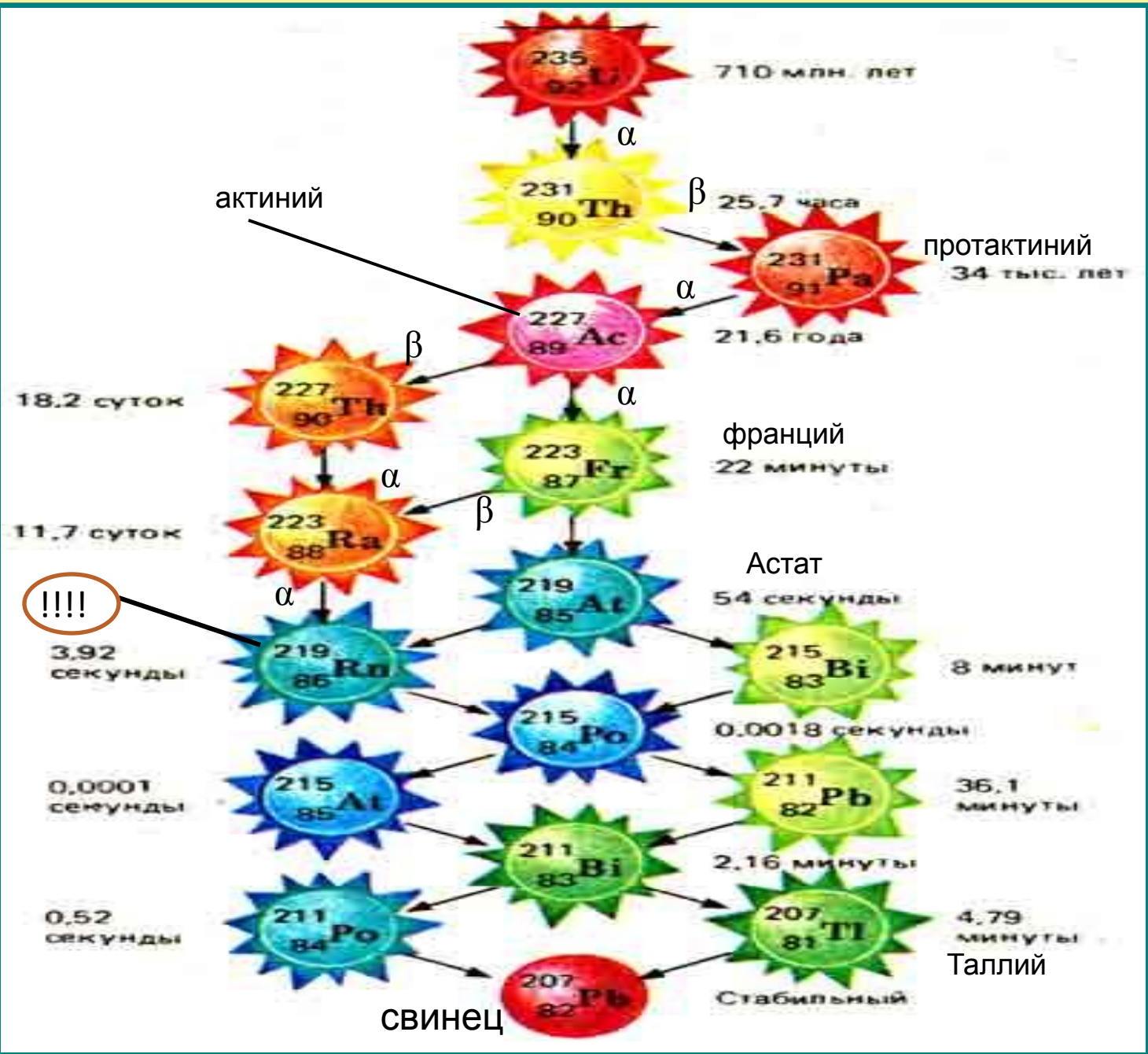
${}^1_1p$  - Протон

${}^1_0n$  - Нейтрон



# Закон радиоактивного







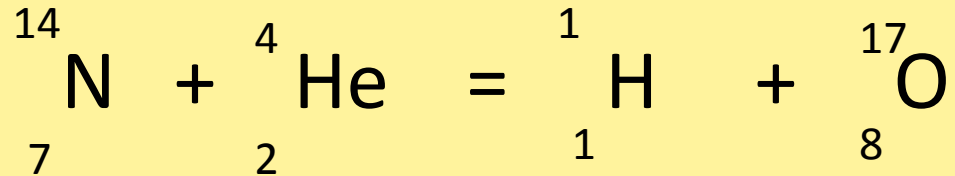
*4. Ядерные реакции.  
Энергетический выход  
ядерной реакции.*

Искусственное превращение одного ядра в другое ядро при взаимодействии (бомбардировке) другими ядрами или элементарными частицами – альфа – частицами, протонами и нейтронами, называется ядерной реакцией.

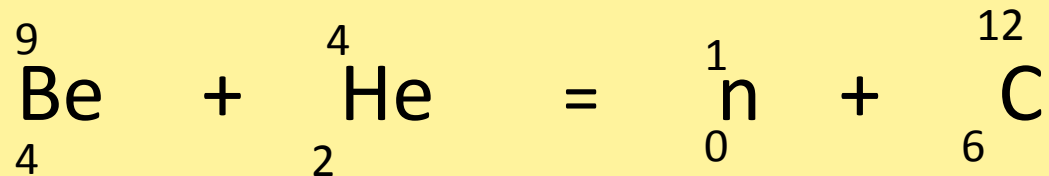
Положительно заряженные ядра и протоны для проникновения внутрь ядра должны иметь очень большую кинетическую энергию (почему??). Легче проникают внутрь ядра нейтроны (почему??)

Поэтому наиболее эффективно ядерные реакции идут при их взаимодействии с нейтронами.

Ядерная реакция получения протона ( Резерфорд , 1919 год )



Ядерная реакция получения нейтрона ( Чедвик , 1932 год )



**В ходе ядерных реакций  
выполняются:**

**1. Закон сохранения заряда (закон  
сохранения зарядового числа)**

**2. Закон сохранения числа нуклонов**

**3. Закон сохранения импульса**

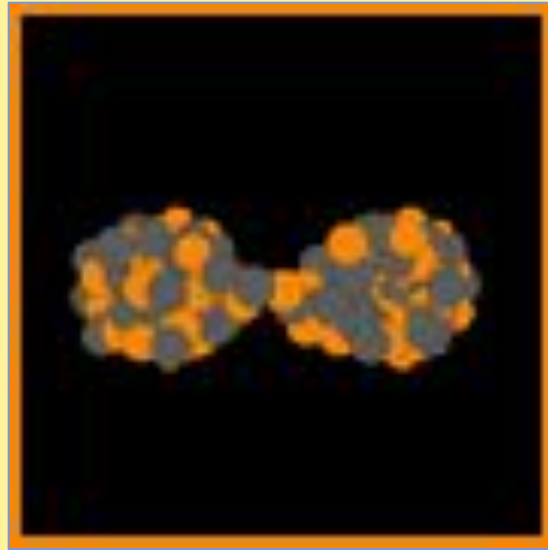
**4. Закон сохранения энергии**

**Но закон сохранения массы не  
выполняется, в ходе ядерных  
реакций масса изменяется. Если  
масса уменьшается, то энергия  
выделяется и наоборот.**

*5. Ядерная реакция деления  
ядра. Цепная ядерная  
реакция и ее виды.*

*Ядерный реактор.  
Атомная бомба.*

# Механизм деления ядра



Ядро имеет форму шара. Поглотив лишний нейтрон, ядро возбуждается и начинает деформироваться, приобретая вытянутую форму. В узком месте число нуклонов мало, ядерные силы притяжения также малы.

Ядро растягивается до тех пор, пока силы отталкивания между половинками вытянутого ядра не начинают преобладать над силами притяжения, действующими в перешейке. После этого ядро

Ядерные реакции ,при которых тяжелые ядра , поглощая нейтроны, делятся на два средних ядра (осколки ),

называются реакциями деления ядра.Поглощая нейтроны , делятся ядра урана , плутония.Деление ядер сопровождается следующими процессами :

1.Под действием кулоновских сил отталкивания осколки разлетаются в противоположных направлениях с огромными скоростями и кинетическими энергиями

2.При делении каждого ядра выделяется энергия

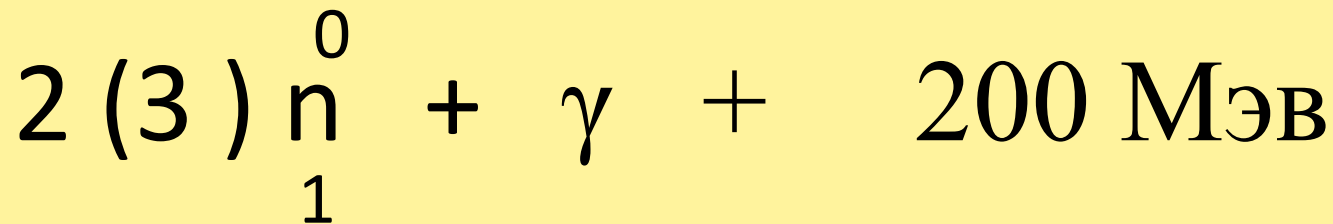
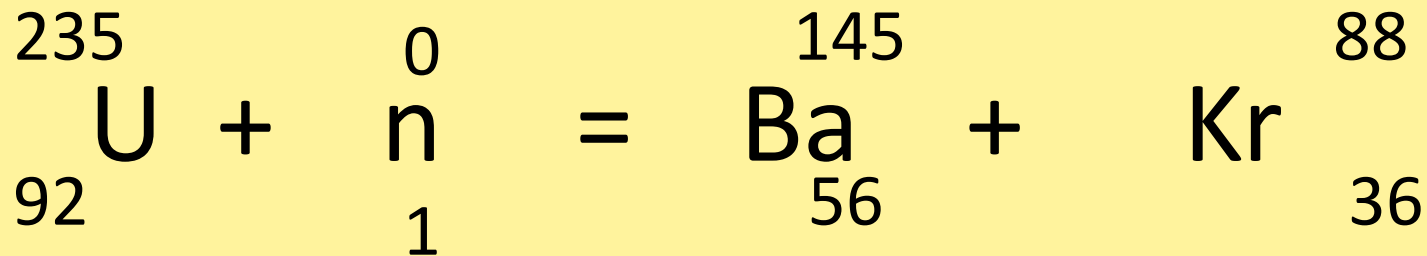
3.При делении каждого ядра выбрасываются 2 – 3 быстрых

нейтрона , которые после замедления участвуют при дальнейшем делении других ядер. ТАКИМ ОБРАЗОМ ВОЗНИКАЕТ ЦЕПНАЯ ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ , ПРИ КОТОРОЙ ВЫДЕЛЯЕТСЯ ОГРОМНАЯ ЭНЕРГИЯ



# Цепная ядерная реакция деления урана – 235

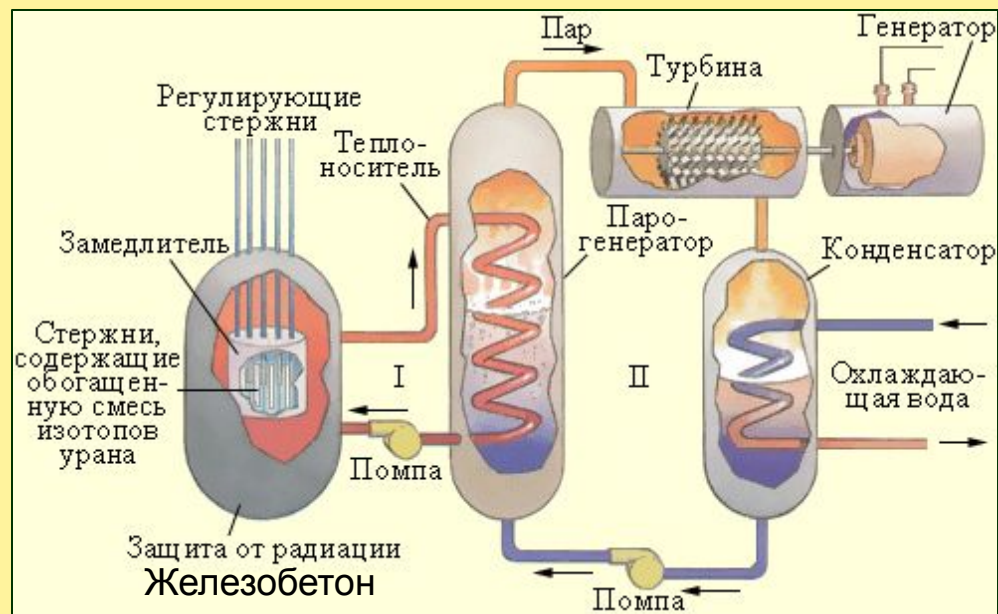
(открыта в 1938 году немецкими учеными О.Ганом и Ф. Штрассманом )



# Ядерный реактор

## Основные элементы реактора:

- ядерное горючее (U – 235)
- замедлитель нейтронов (тяжелая вода, графит)
- теплоноситель для вывода энергии ( вода)
- Устройство для регулирования скорости реакции  
(металлические стержни с примесью кадмия или бора )
- Защита от радиации (железобетон )



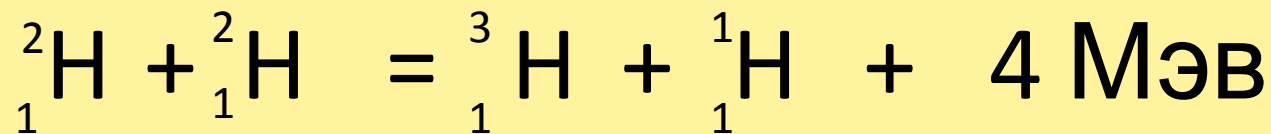
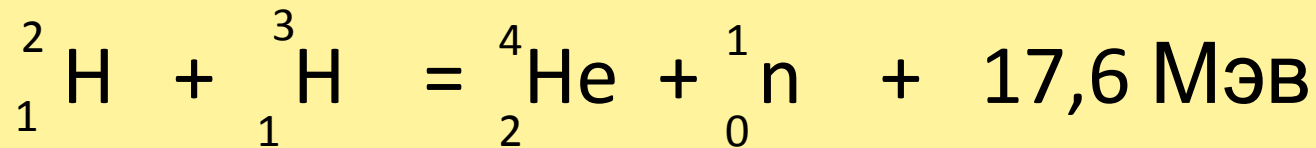
Критической массой называют наименьшую массу делящегося вещества, при которой начинается цепная реакция

Критическая масса урана равна 48 кг.

# *6. Термоядерные реакции*

Реакция слияния легких ядер( водорода , гелия ), сопровождающаяся выделением энергии, называется термоядерной реакцией. Для слияния ядер необходимо, чтобы расстояние между ядрами приблизительно было равно  $10^{-15}$  м , только на таких расстояниях начинают действовать ядерные силы притяжения . Однако этому препятствуют кулоновские силы отталкивания . Они могут быть преодолены только при наличии у ядер большой кинетической энергии , а это возможно при очень высокой температуре порядка  $10^7$  К

Условия для протекания термоядерной реакции имеются на Солнце и звездах, энергия , выделяемая при этом обеспечивает излучение света звездами на миллиарды лет.



***МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ВОДОРОДНОЙ БОМБЫ.*** Последовательность процессов, происходящих при взрыве водородной бомбы, можно представить следующим образом. Сначала взрывается находящаяся внутри оболочки небольшая атомная бомба, в результате чего возникает нейтронная вспышка и создается высокая температура, необходимая для начала термоядерного синтеза. Нейтроны бомбардируют соединения дейтерия с литием. Литий-6 под действием нейтронов расщепляется на гелий и тритий. Таким образом, атомный запал создает необходимые для синтеза материалы непосредственно в самой бомбе.



Затем начинается термоядерная реакция в смеси дейтерия с тритием, температура внутри бомбы стремительно нарастает, вовлекая в синтез все большее и большее количество водорода. При дальнейшем повышении температуры начинается реакция между ядрами дейтерия, характерная для чисто водородной бомбы. Все реакции протекают настолько быстро, что воспринимаются как мгновенные.

## ИСТОРИЯ ВОДОРОДНОЙ БОМБЫ

**1 ноября 1952 года США** взорвали первый термоядерный заряд на **атолле Эниветок**. Первая в мире водородная бомба — советская **РДС-6** была взорвана **12 августа 1953 года** на **полигоне в Семипалатинске**. Устройство, испытанное США в 1952 году фактически не являлось «бомбой», а представляла собой лабораторный образец, «3-х этажный дом, наполненный жидким дейтерием», выполненный в виде специальной конструкции. Советские же ученые разработали именно бомбу — законченное устройство, пригодное к практическому применению.. Впрочем, мощность взорванного американцами устройства составляла **10 мегатонн**, в то время как мощность бомбы конструкции **Сахарова — Лаврентьева** — **400 килотонн**. Самая крупная когда-либо взорванная водородная бомба — советская 50-мегатонная «**царь-бомба**», взорвана **30 октября 1961 года** на **полигоне архипелага Новая Земля**. **Никита Хрущёв** впоследствии публично пошутил, что первоначально предполагалось взорвать 100-мегатонную бомбу, но заряд уменьшили, «чтобы не побить все стёкла в Москве». Бомба была взорвана на высоте **4000 метров** над полигоном «Новая Земля». Ударная волна после взрыва три раза обогнула земной шар.

**ВОДОРОДНАЯ БОМБА**, оружие большой разрушительной силы), принцип действия которого основан на реакции термоядерного синтеза легких ядер. Источником энергии взрыва являются процессы, аналогичные процессам, протекающим на Солнце и других звездах.



**ВОДОРОДНАЯ БОМБА В 50 МЕГАТОНН**



# ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА ЗАЛОЖИЛИ В 1950 ГОДУ

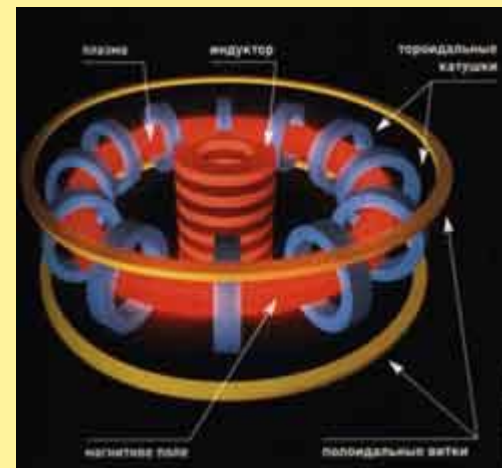
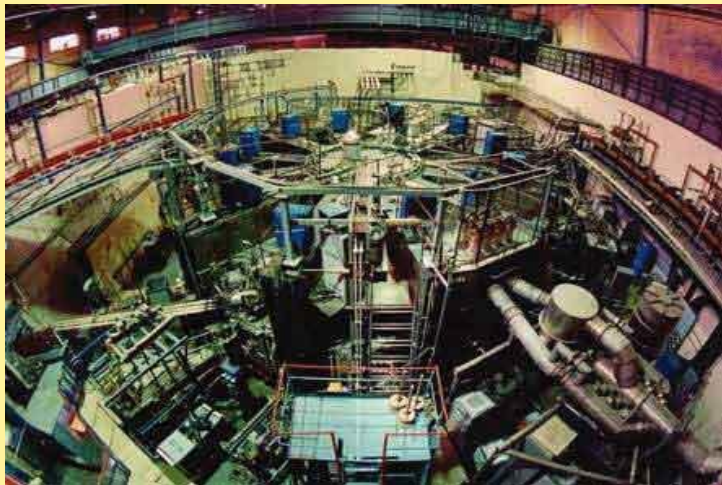
**И. Е. ТАММ И А. Д. САХАРОВ**

Их идея и привела к созданию термоядерных реакторов - Токамаков. Требуемая высокая температура в сотни млн. градусов может быть достигнута путем создания в плазме мощных электрических токов ,но трудно удержать такую плазму.

Современные ТОКАМАКИ - не термоядерные реакторы, в которых можно получить энергию

и преобразовать ее в электрическую энергию ,а исследовательские установки, в которых возможно лишь на некоторое время создание и сохранение высокотемпературной плазмы. Наиболее мощный современный ТОКАМАК, служащий только лишь для исследовательских целей , находится в городе Абингдон недалеко от Оксфорда. Высотой в 10 метров, он вырабатывает плазму и удерживает ее с помощью магнитного поля пока всего лишь около 1 секунду

## ТОКАМАК

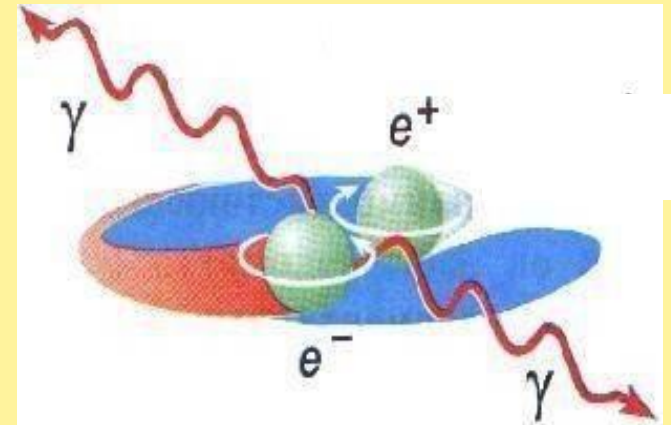


# *7. Элементарные частицы и их классификация*

## Элементарные частицы

В 1911 году Резерфорд открыл атомное ядро, он же в 1919 году в продуктах расщепления ядер атомов ряда элементов обнаружил протоны. В 1932 году Чедвик открыл нейтрон. Стало ясно, что ядра атомов, как и сами атомы, имеют сложное строение. Возникла протонно-нейтронная модель строения ядер. В том же 1932 году в космических лучах был открыт позитрон. Позитрон – положительно заряженная частица, имеющая ту же массу и тот же (по модулю) заряд, что и электрон. Существование позитрона было предсказано П. Дираком в 1928 году. В 1937 году в космических лучах были обнаружены частицы с массой в 207 электронных масс, названные мюонами ( $\mu$ -мезонами). Затем в 1947–1950 годах были открыты пионы ( $\pi$ -мезоны), которые осуществляют взаимодействие между нуклонами в ядре, то есть создают ядерные силы. Обмениваясь пионами, нуклоны удерживаются друг около друга внутри ядра. В последующие годы число вновь открываемых частиц стало быстро расти. В настоящее время известно около 400 элементарных частиц. Подавляющее большинство этих частиц являются нестабильными. Исключение составляют лишь фотон, электрон, протон и нейтрино. Все остальные частицы через определенные промежутки времени испытывают самопроизвольные превращения в другие частицы. Нестабильные элементарные частицы сильно отличаются друг от друга по временам жизни. Наиболее долгоживущей частицей является нейтрон. Время жизни нейтрона порядка 15 мин. Другие частицы «живут» гораздо меньшее время.

Способность к взаимным превращениям – это наиболее важное свойство всех элементарных частиц. Примером может служить аннигиляция (т.е. исчезновение) электрона и позитрона, сопровождающаяся рождением фотонов большой энергии. Может протекать и обратный процесс – рождение электронно-позитронной пары, например, при столкновении фотона с достаточно большой энергией с ядром. Такой опасный двойник, каким для электрона является позитрон, есть и у протона. Он называется антипротоном. Электрический заряд антипротона отрицателен. В настоящее время античастицы найдены у всех частиц. Античастицы противопоставляются частицам потому, что при встрече любой частицы со своей античастицей происходит их аннигиляция, т.е. обе частицы исчезают, превращаясь в кванты излучения или другие частицы. Античастица обнаружена даже у нейтрона. Нейтрон и антинейтрон отличаются только знаками магнитного момента и так называемого барионного заряда



# Классификация элементарных частиц

Частица	Античастица	Обозначения	Электрический заряд, Кл	Масса, МэВ	Время жизни, с
<b>Фотон</b>		$\gamma$	0	0	$\infty$
<i>Лептоны</i>					
Электрон	Позитрон	$e^- e^+$	$\pm 1,6 \cdot 10^{-19}$	0,511	$\infty$
Нейтрино (электронное)	Антинейтрино	$\nu, \bar{\nu}$	0	0	$\infty$
<i>Адроны</i>					
<i>Мезоны</i>					
π - мезоны (пионы)		$\pi^+, \pi^-$	$\pm 1,6 \cdot 10^{-19}$	139,6	$2,5 \cdot 10^{-8}$
		$\pi^0$	0	135,0	$2 \cdot 10^{-16}$
<i>Барионы</i>					
протон	антипротон	$p, \bar{p}$	$\pm 1,6 \cdot 10^{-19}$	938,26	$\rightarrow \infty$
нейтрон	антинейтрон	$n, \bar{n}$	0	939,55	$1 \cdot 10^3$

