

Курс «РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ»

(Форма отчетности - зачет)

ЛЕКЦИЯ №1

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.

Шуленина Александра Владимировна

avp@srd.sinp.msu.ru

Москва

2024

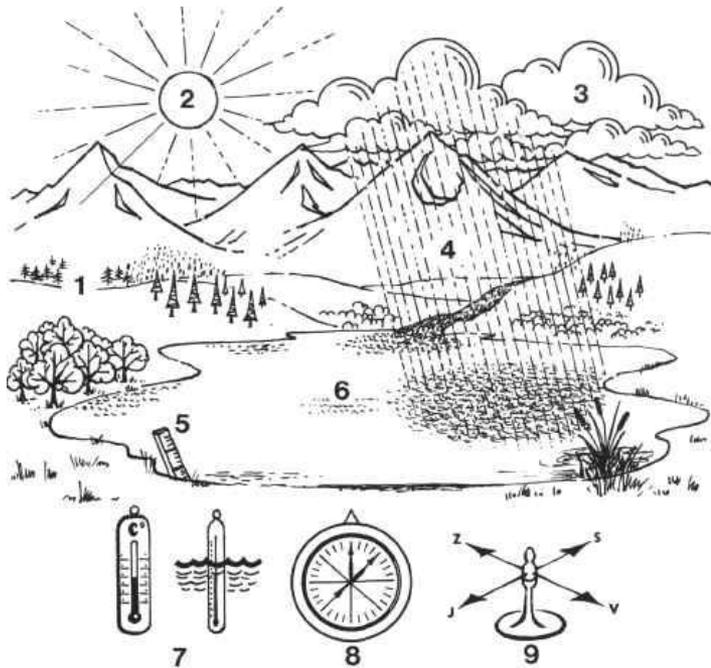
ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Благоприятные и неблагоприятные воздействия на живые и неживые существа.
- Цели и задачи радиационной безопасности.
- Что такое дозиметрия?
- Радиоактивность.
- Ионизирующее излучение.
- Основные характеристики ИИ.
- Взаимодействие нейтронов с веществом.
- Основные единицы физических величин.
Терминология.
- Краткий исторический экскурс

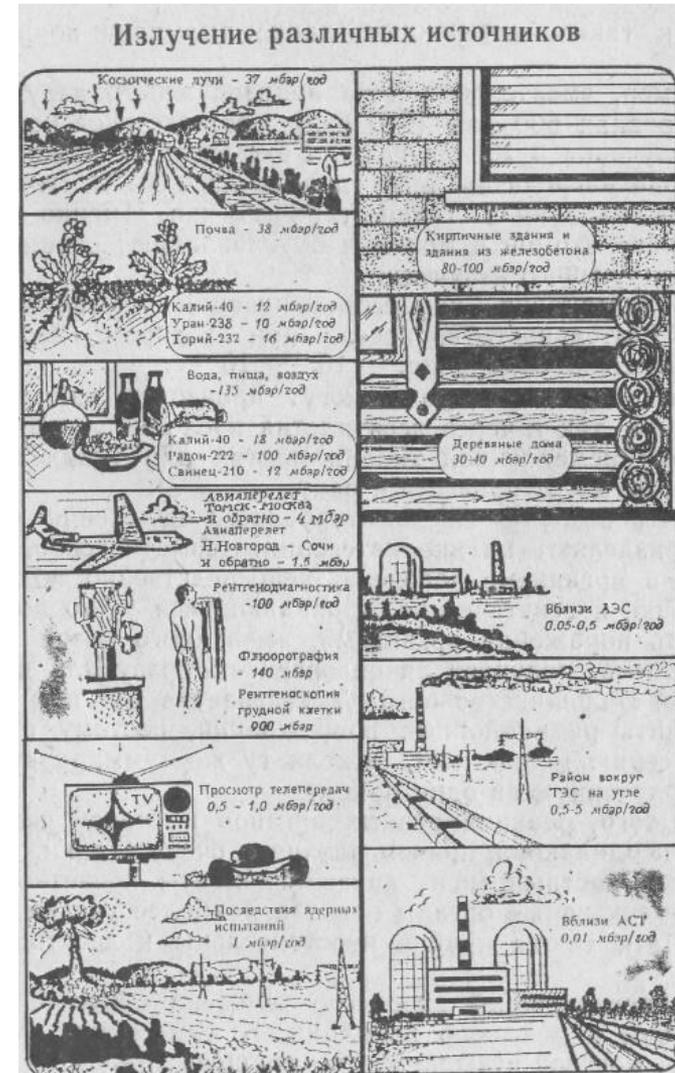
ВОЗДЕЙСТВИЕ БЛАГОПРИЯТНЫХ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ

○ Благоприятные

Неблагоприятные



рецепторы - в организме животного и человека: специальные чувствительные образования, воспринимающие внешние и внутренние раздражения и преобразующие их в нервные возбуждения, которые передаются в центральную нервную систему.



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Радиационная безопасность – это совокупность методов защиты от радиоактивного излучения (радиации).

(от латинского «radio» - излучаю, «radius» – луч, «activus» - действенный)

Цель - обеспечить безопасные условия применения атомной энергии в сфере человеческой деятельности.

Радиация – излучение радиоактивных ядер и ускоренных частиц.

ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- 1. Разработка критериев для оценки ионизирующего излучения** как вредного фактора воздействия на отдельных людей, популяцию в целом и объекты окружающей среды
- 2. Разработка способов оценки и прогнозирования радиационной обстановки, а также путей приведения ее в соответствие с выработанными критериями безопасности** на основе создания комплекса технических, медико-санитарных и административно- организационных мероприятий

ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

- самостоятельный раздел прикладной ядерной физики, в которой рассматриваются свойства ионизирующих излучений, физические величины, характеризующие поле излучения или взаимодействие излучения с веществом, а также принципы и методы определения этих величин.

Дозиметрическими называются такие физические величины, которые связаны с ожидаемым радиационным эффектом.

Доза излучения – это рассчитанная на единицу массы облученного вещества поглощенная энергия излучения.

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Единица дозы облучения получила название рентген (Р)

ФИЗИЧЕСКАЯ ДОЗА

- Доза излучения, энергия ионизирующего излучения (потоков частиц и квантов), поглощенная облучаемым веществом и рассчитанная на единицу его массы. Является мерой радиационного воздействия.
- *Доза - мера энергии, которая передана ионизирующим излучением мишени.*

Зависимость величины дозы от энергии частиц, плотности их потока и состава облучаемого вещества различна для разных видов излучения.

Например, для рентгеновского и γ -излучений доза зависит от атомного номера Z элементов, входящих в состав вещества; характер этой зависимости определяется энергией фотонов $h\nu$ (h — Планка постоянная, ν — частота электромагнитных колебаний). Для этих видов излучений доза в тяжёлых веществах больше, чем в лёгких (при одинаковых условиях облучения).

В случае нейтронов (при одинаковых условиях облучения) поглощённая доза в лёгком веществе будет выше, чем в тяжёлом.

По материалам иллюстрированного пособия для учителей английских школ и студентов высших учебных заведений Великобритании

*** Из воздуха, которым мы дышим**

Примерно 30000 атомов (радона, полония, висмута и свинца) каждый час распадаются в наших легких и излучают альфа-частицы или бета-частицы и гамма-кванты, создавая дозу внутреннего облучения ~112 мбэр/год.

"РАДИАЦИЯ И МЫ"

*** Из атмосферы ("с неба")**

Примерно 100000 нейтронов и 400000 других космических лучистых частиц от Солнца и Вселенной проходит через нас каждый час, создавая дозу облучения ~37 мбэр/год.

*** Из пищи**

Примерно 15 млн. атомов калия-40 каждый час распадаются внутри каждого из нас, излучая высокоэнергетичные бета-частицы и испуская гамма-кванты. Доза от внутреннего облучения калием-40 ~18 мбэр/год. Примерно 7000 атомов природного урана распадаются внутри нас каждый час, испуская альфа-частицы, и создают дозу ~0.5 мбэр/год.

*** Из почвы и строительных материалов**

В среднем свыше 200 млн. гамма-квантов проходит через человека каждый час, создавая дозу ~38 мбэр/год.

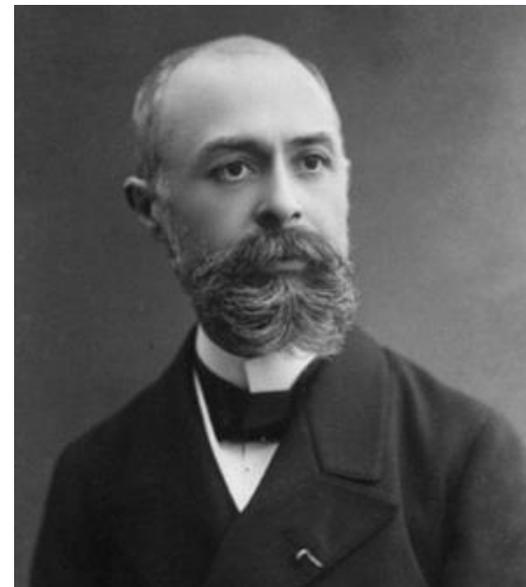
Рис. 13. Радиация и мы

РАДИОАКТИВНОСТЬ

- это процесс самопроизвольного выделения энергии с постоянной скоростью, присущей данному виду ядер (радионуклидов)

1896 г. – Открытие радиоактивности французским ученым Анри Беккерелем (действие солей урана на фотопластинку).

1903 г. - Нобелевская премия по физике «За открытие радиоактивности»



Антуан Анри Беккерель
(15.12.1852 — 25.08.1908)

Он обнаружил, что уран с постоянной интенсивностью испускает проникающее излучение, т.е. непрерывно выделяет энергию со скоростью, величину которой невозможно изменить никакими физическими и химическими воздействиями.

60 - 100 - 90. Sulfate double d'uranyle et de potasse.
Papier noir - Cuir de laiton -
Exposé au soleil le 27 et à la lampe à uranium le 26
27 février à 15 heures.



Une des plaques photographiques de Becquerel impressionnée, malgré le papier opaque à la lumière, par les rayons issus d'une des substances étudiées. On remarque en bas du cliché un - blanc - en forme de croix de Malte. C'est l'empreinte d'une croix de cuivre insérée entre la substance radioactive et le papier enveloppant la plaque. Le cuivre est donc opaque aux rayonnements.

Беккерель установил, что:

- Интенсивность излучения определяется только количеством урана в препарате, и не зависит от того в какие соединения он входит;
- Излучение сильно ионизирует воздух и быстро разряжает электроскоп.

Вывод:

Излучение присуще не соединениям, а химическому элементу урана.

Зачем нужен уран?



Раньше его применяли в качестве пигмента для изготовления керамики и цветного стекла.

Теперь же уран — основа атомной энергетики и атомного оружия. При этом используется его уникальное свойство — способность ядра делиться.

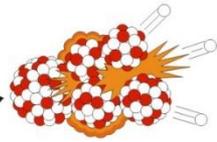
При делении 1 ядра урана-235 выделяется энергии $Q \sim 200 \text{ МэВ} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$ — это превосходит энергию химических превращений при полном делении всех ядер содержащихся в 1г урана, выделяется такая же энергия, как и при сгорании 3т угля или 2,5т нефти.

медленный нейтрон
n

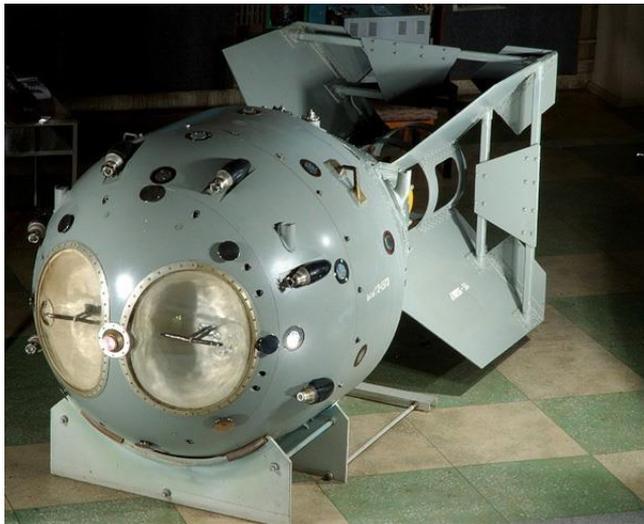


U-235

расщепление
возбужденных
ядер



цепная
реакция

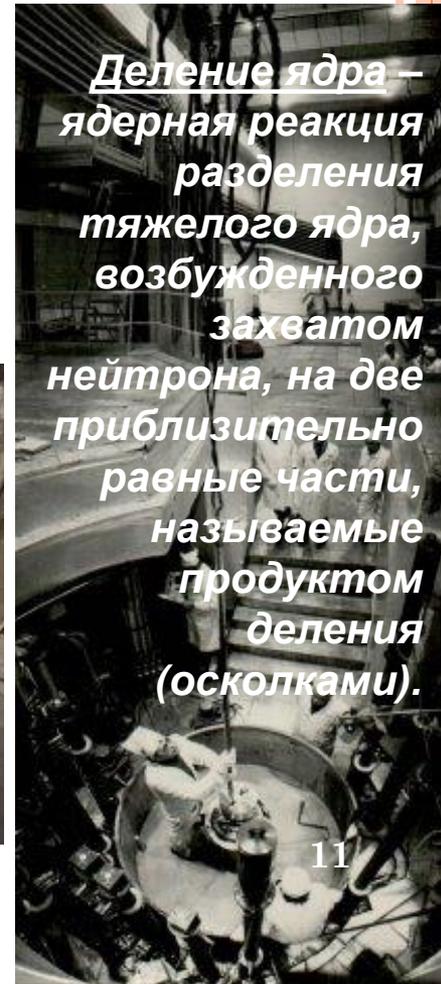


Корпус авиационной атомной бомбы из Музея ядерного оружия РФЯЦ-ВНИИЭФ.



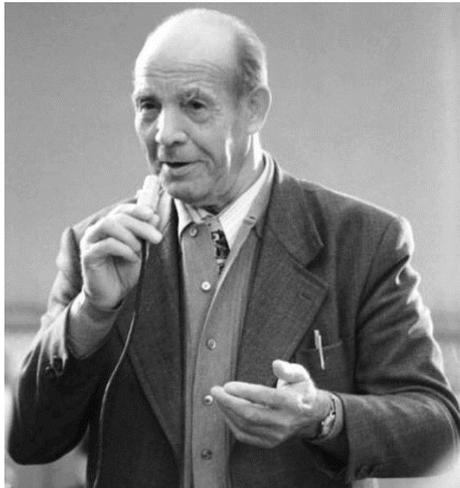
Загрузка ТВЭЛа в реактор на четвертом блоке Калининской АЭС. Фото: ОАО

Росатом, www.rosatom.ru

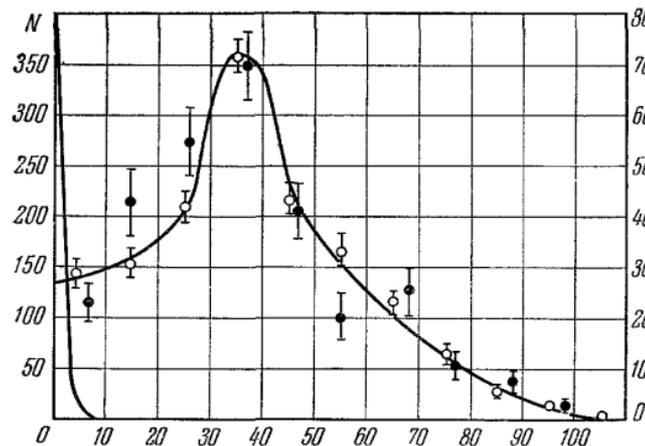
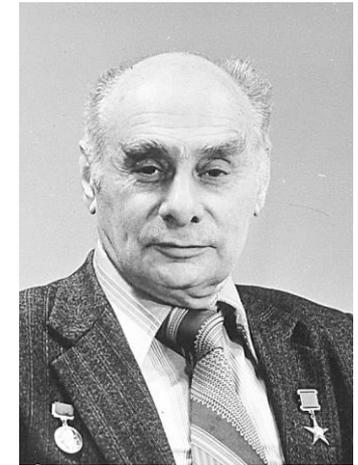


Деление ядра – ядерная реакция разделения тяжелого ядра, возбужденного захватом нейтрона, на две приблизительно равные части, называемые продуктом деления (осколками).

СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА-235 (1940 г. К.А. ПЕТРЖАК И Г.Н. ФЛЕРОВ)



Происходит без внешнего возбуждения. На выходе – 2 осколка и несколько нейтронов – такие же продукты распада, что и у вынужденного деления.



Распределение импульсов ионизационной камеры по амплитуде.
○ — вынужденное деление урана; ● — спонтанное

1961 г. Апрель

Т. LXXIII, вып. 4

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

Многослойная камера ионизационная камера деления, с помощью которой было впервые зарегистрировано спонтанное деления урана

СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР

К. А. Петржак и Г. Н. Флеров

1. ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ

Уже первые работы по изучению естественной радиоактивности

ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ



Последовательность всех технологических процессов, связанных с получением энергии в ядерных реакторах. От добычи урана до захоронения радиоактивных отходов.



Очистка от примесей (аффинаж)



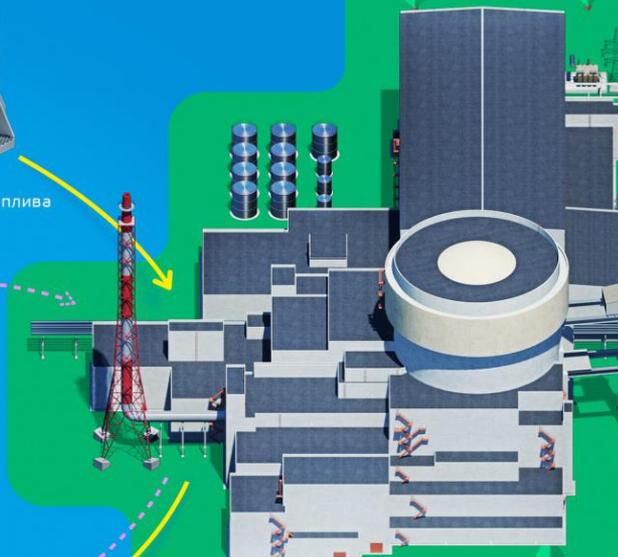
Конверсия урана



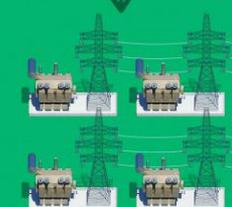
Обогащение урана



Производство ядерного топлива



ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (АЭС)



Передача электроэнергии

Разработано — Ritort

ЗАКРЫТЫЙ топливный цикл

ОТРАБОТАВШЕЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО ПЕРЕРАБАТЫВАЕТСЯ И ВОЗВРАЩАЕТСЯ НА АЭС.

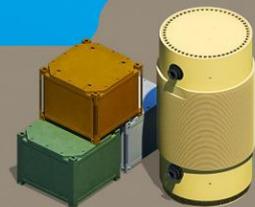
Он экономически выгоден, так как можно использовать уже отработавшее ядерное топливо. К тому же при нем образуется значительно меньше радиоактивных отходов, что повышает безопасность в работе с ядерными отходами.



Производство MOX-топлива

MOX топливо – это смешанное ядерное топливо (уран и оксид плутония).

Его можно получать путем переработки отработавшего ядерного топлива.



Захоронение отработавшего ядерного топлива



Выдержка отработавшего ядерного топлива в бассейнах и его переработка



Сервис и обслуживание оборудования АЭС

ОТКРЫТЫЙ топливный цикл

ОТРАБОТАВШЕЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ПОВТОРНО, А ЗАХОРАНИВАЕТСЯ.

Его преимущество – безопасность, так как радиоактивные вещества находятся в твердом состоянии, и нет риска при производстве MOX-топлива на радиохимическом заводе.



**Пьер Кюри и
Мария Склодовская-Кюри**
лауреаты Нобелевской
премии (1903г.)

Открытие радиоактивности

В 1898 году другие французские ученые Мария Склодовская-Кюри и Пьер Кюри выделили из уранового минерала два новых вещества, отличающиеся значительно более интенсивным излучением, чем ^{238}U (уран) и ^{232}Th (торий).

Так были открыты два неизвестных ранее радиоактивных элемента - полоний и радий.

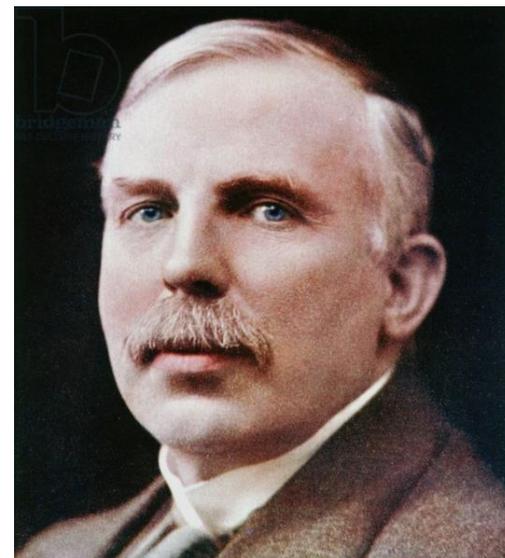
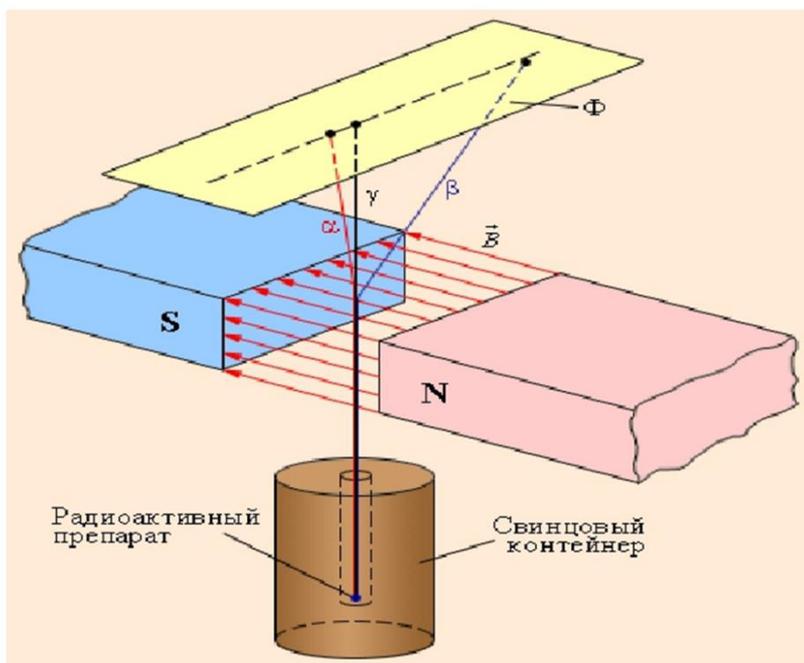
Полоний (^{84}Po) был назван в честь родины Марии – Польши. **Радий (^{88}Ra)** – лучистый, термин радиоактивность предложен был Марией Склодовской.

Препарат радия исследователи получили в 1902 году в количестве 0,1 гр. Для этого им потребовалось 45 месяцев напряженного труда и более 10000 химических операций освобождения и кристаллизации. Это был изнурительный труд, в течение долгих четырех лет супруги почти не выходили из своего сырого и холодного сарая.

1899г. Радиоактивный препарат (радий) помещали на дно свинцового контейнера с узким отверстием. Напротив отверстия, перпендикулярно лучу, располагали фотопластину, на которой после проявления обнаруживали пятно.

Когда установку помещали в сильное магнитное поле, то пучок распадался на три компонента, физическая природа которых различна.

Опыт Э. Резерфорда



Эрнест Резерфорд
(30.08.1871 — 19.10.1937)

Английский физик

Нобелевская премия 1908 г. «за проведённые им исследования в области распада элементов в химии радиоактивных веществ».

КТО ОТКРЫЛ ГАММА ЛУЧИ?

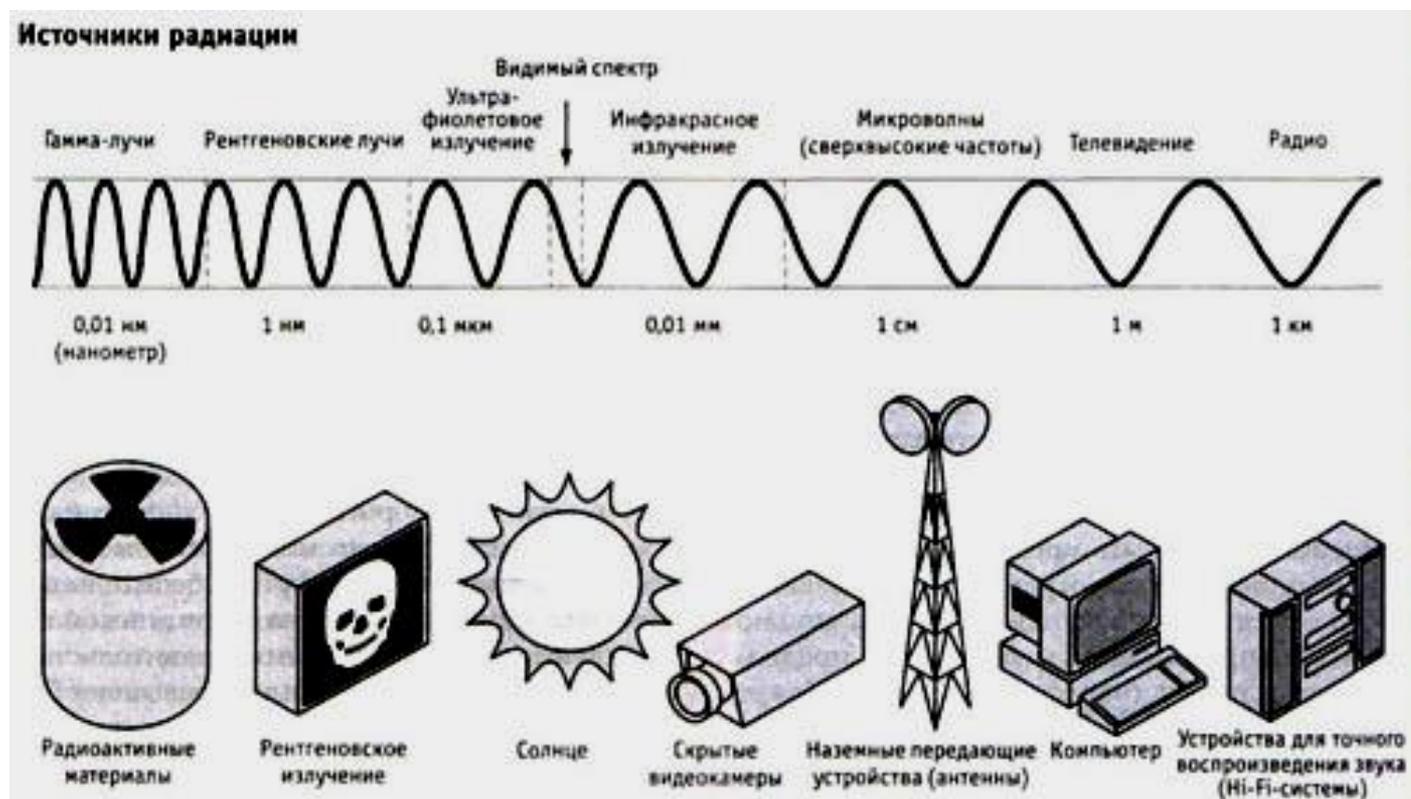
- Поль Виллар



Поль Виллард (Paul Ulrich Villard)

РАДИОАКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- это излучение у которого отсутствует внешний источник энергии, вызывающий его возникновение.



ЕДИНИЦЫ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

В качестве единицы активности принят – **беккерель (Бк)**, соответствующий одному ядерному превращению в секунду (одному распаду в секунду).

$$1\text{Бк} = 1 \text{ расп./с.}$$

Беккерель определяется как активность такого количества вещества, в котором, в среднем, за одну секунду происходит один радиоактивный распад

До последнего времени использовалась в качестве внесистемной активности – **кюри (Ки)**

$$1\text{Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ расп./с.} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк.}$$

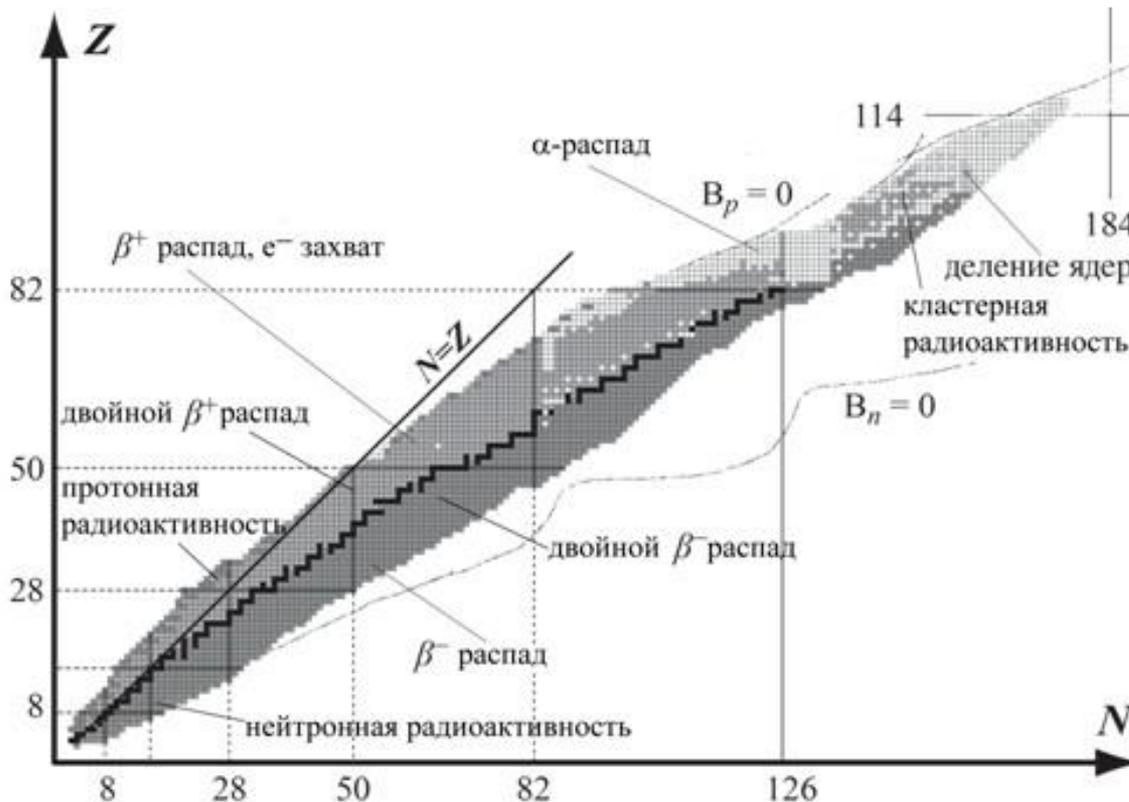
Соответственно

$$1\text{Бк} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ки}$$

Значение 1 кюри изначально было определено как радиоактивность радона, находящегося в радиоактивном равновесии с 1 г ²²⁶Ra

N-Z-диаграмма атомных ядер.

Типы радиоактивного распада ядер.



АТОМНЫЕ ЯДРА ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ СВЯЗАННЫЕ КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ ФЕРМИОНОВ. СВОЙСТВА АТОМНЫХ ЯДЕР ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ СОВМЕСТНЫМ ДЕЙСТВИЕМ СИЛЬНОГО, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО И СЛАБОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ОБНАРУЖЕНО ~ 3000 АТОМНЫХ ЯДЕР, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ СОБОЙ РАЗЛИЧНЫЕ СОЧЕТАНИЯ ЧИСЕЛ ПРОТОНОВ Z И НЕЙТРОНОВ N . ПО СУЩЕСТВУЮЩИМ ОЦЕНКАМ ЧИСЛО АТОМНЫХ ЯДЕР МОЖЕТ СОСТАВЛЯТЬ ~ 6500 .

<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

- Стабильные ядра живут бесконечно долго,
- Радиоактивные ядра почему-то в какой-то момент распадаются?

- *Нуклид* – разновидность атома, характеризуемая числом протонов и нейтронов, а в некоторых случаях энергетическим состоянием ядра.
- *Радионуклид* – нуклид, испускающий ионизирующее излучение.

Из 2500 нуклидов, известных в настоящее время, стабильными являются только 271 нуклид.

ЯВЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ

- **Радиоактивность** - свойство атомных ядер **самопроизвольно** изменять свой состав в результате испускания частиц или ядерных фрагментов.
- **Радиоактивность** – свойство некоторых нуклидов подвергаться радиоактивному распаду.

Существуют и несколько другие определения.

- **Радиоактивность** – самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в ядра других элементов, сопровождающееся испусканием частиц или γ -квантов.
- **Радиоактивность** – самопроизвольное превращение неустойчивого изотопа одного химического элемента из основного или метастабильного состояния в изотоп другого элемента, сопровождающееся испусканием элементарных частиц или ядер (например, α -частиц).
- **Радиоактивность** – самопроизвольное изменение состава атомного ядра, происходящее путем испускания элементарных частиц или ядер из основного состояния за время, существенно превышающее время жизни возбужденного составного ядра в ядерных реакциях, или из метастабильного состояния.
- **Радиоактивность** – неустойчивость ядер некоторых атомов, проявляющаяся в их способности к самопроизвольным превращениям (распаду), сопровождающимся испусканием ионизирующего излучения или радиацией.

- Радиоактивность подразделяют на естественную (*наблюдающуюся у существующих в природных условиях изотопов*) и искусственную (*связанную с радионуклидами, получаемыми в результате ядерных реакций, осуществляемых на ускорителях и ядерных реакторах*).

Принципиальной разницы между природной и искусственной радиацией не существует, ибо свойства изотопа не зависят от способа его образования, и радиоактивный изотоп, полученный искусственным путём, ничем не отличается от такого же самого природного изотопа.

ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Способность ядер самопроизвольно распадаться, испуская частицы, называется **радиоактивностью**. Радиоактивный распад - статистический процесс. *Каждое радиоактивное ядро может распасться в любой момент и закономерность наблюдается только в среднем, в случае распада достаточно большого количества ядер.*

Постоянная распада λ - вероятность распада ядра в единицу времени.

Если в образце в момент времени t имеется N радиоактивных ядер, то количество ядер dN , распавшихся за время dt пропорционально N .

$$dN = -\lambda N dt. \quad (1)$$

Проинтегрировав (1) получим закон радиоактивного распада

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}.$$

N_0 - количество радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$.

- Среднее время жизни $\tau = 1/\lambda$ – количество ядер, которое распалось за время τ (в течении которого число ядер уменьшается в e – раз).
- **Период полураспада $T_{1/2}$** - время, за которое первоначальное количество радиоактивных ядер уменьшится в два раза

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda = \tau \ln 2$$

- **Активность A** - среднее количество ядер распадающихся в единицу времени

$$A(t) = \lambda N(t)$$

Активность измеряется в кюри (Ки) и беккерелях (Бк)

$$1 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ распадов/с,}$$

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад/с.}$$

Период полураспада

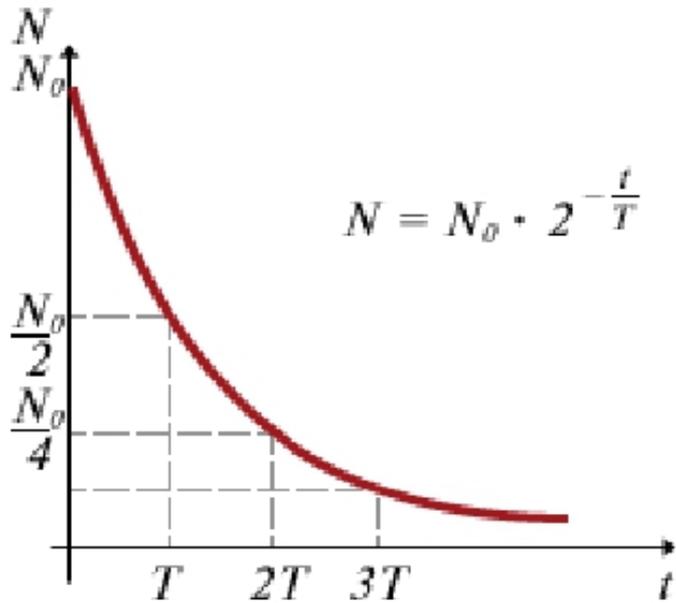
Элемент	Тип распада	Период полураспада
^{14}C (углерод)	β	5730 лет
^{24}Ne (неон)	β, γ	3,38 мин
^{24}Na (натрий)	β, γ	15 часов
^{32}Si (кремний)	β, α, γ	650 лет
^{131}I (йод)	β, α, γ	8 суток
^{210}Pb (свинец)	α, β, γ	22,3 года
^{226}Ra (радий)	α, β, γ	1600 лет
^{235}U (уран)	α, β, γ	7 млн. лет
^{238}U (уран)	α, β, γ	4,5 млрд. лет

ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

- Время, за которое распадается половина из начального числа радиоактивных атомов, называют **периодом полураспада**. За это время активность радиоактивного вещества уменьшается вдвое.
- Период полураспада – основная величина, определяющая скорость радиоактивного распада. Чем меньше период полураспада, тем меньше времени живут атомы, тем быстрее происходит распад. Для разных веществ период полураспада имеет разные значения.
- Среднее время жизни

$$\tau \approx 1,4T$$

ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА (Ф.Содди)



N_0 – число радиоактивных ядер при $t = 0$

N – текущее число радиоактивных ядер

T – период полураспада

Закон определяет число нераспавшихся атомов в любой момент времени.

Пусть в начальный момент времени число радиоактивных атомов N_0 .

По истечении периода полураспада их будет $\frac{N_0}{2}$

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

Ионизирующие излучения.



ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ (ИИ)

ИИ было на нашей планете всегда.

Земная радиация (излучение радионуклидов, содержащихся в геологических породах :

^{238}U ($T_{1/2} \approx 4,5 \cdot 10^9$ лет),
 ^{232}Th ($T_{1/2} \approx 14 \cdot 10^9$ лет),
 ^{40}K ($T_{1/2} \approx 1,3 \cdot 10^9$ лет)).

Космическое излучение.
Протоны (~90%) и α -частиц (~10%)

Порождает радионуклиды (^3He , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na , ^{24}Na и др.)

○ **Ионизирующее излучение** – поток заряженных или нейтральных частиц и квантов электромагнитного излучения, прохождение которых через вещество приводит к ионизации и возбуждению атомов или молекул среды.

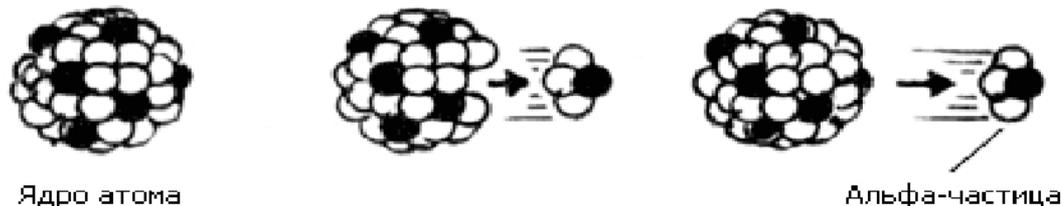
По своей природе делится на фотонное (гамма-излучение, тормозное излучение, рентгеновское излучение) и корпускулярное (альфа-излучение, электронное, протонное, нейтронное, мезонное).

Ионизация – это акт разделения электрически нейтрального атома на две противоположно заряженные частицы: отрицательный электрон и положительный ион

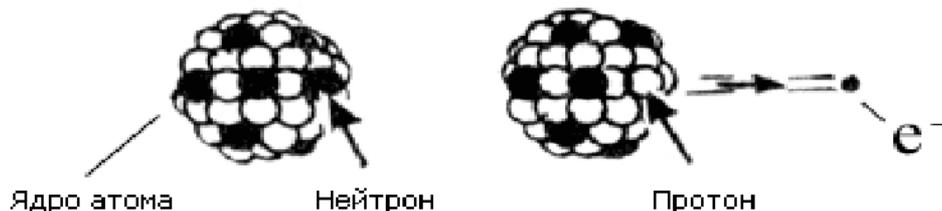
ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

- **Альфа-излучение** - представляет собой ядра гелия, которые испускаются при радиоактивном распаде элементов тяжелее свинца или образуются в ядерных реакциях.

Альфа-распад

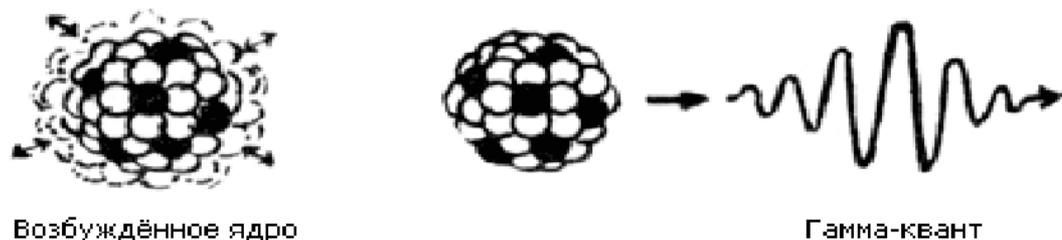


Бета-распад



- **Бета-излучение** - это электроны или позитроны, которые образуются при бета-распаде различных элементов от самых легких (нейтрон) до самых тяжелых.

Гамма-излучение



ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

- **Космическое излучение.** Приходит на Землю из космоса. В его состав входят преимущественно протоны и ядра гелия. Более тяжелые элементы составляют менее 1%. Проникая вглубь атмосферы, космическое излучение взаимодействует с ядрами, входящими состав атмосферы, и образует потоки вторичных частиц (мезоны, гамма-кванты, нейтроны и др.).
- **Нейтроны.** Образуются в ядерных реакциях (в ядерных реакторах и в других промышленных и исследовательских установках, а также при ядерных взрывах).
- **Продукты деления.** Содержатся в радиоактивных отходах переработанного топлива ядерных реакторов.
- **Протоны, ионы.** В основном получают на ускорителях.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Характеристики электромагнитных излучений.			
Энергия, эВ	Длина волны, м	Частота, Гц	Источник излучения
10^9	10^{-16}	10^{24}	Тормозное излучение
10^5	10^{-12}	10^{20}	Гамма излучение ядер
10^3	10^{-10}	10^{18}	Рентгеновское излучение
10^1	10^{-8}	10^{16}	Ультрафиолетовое излучение
10^{-1}	10^{-6}	10^{14}	Видимый свет
10^{-3}	10^{-4}	10^{12}	Инфракрасное излучение
10^{-5}	10^{-2}	10^{10}	Микроволновое излучение
10^{-7}	10^0	10^8	СВЧ
10^{-9}	10^2	10^6	Радиоволны ВЧ
10^{-11}	10^4	10^4	Радиоволны НЧ

ИИ ДЕЛИТСЯ НА:

- Непосредственно ионизирующее излучение – ИИ, состоящее из заряженных частиц, имеющих кинетическую энергию достаточную для ионизации при столкновении (может состоять из электронов, протонов, α -частиц).
- Косвенно ионизирующее излучение – ИИ, состоящее из незаряженных частиц, которые могут создавать непосредственно ИИ и (или) вызывать ядерные превращения (может состоять из нейтронов, фотонов)

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ

Массовые числа стабильных (долгоживущих) изотопов и их распространённость в природе

1 H 1 99,988 2 0,012	Массовые числа стабильных (долгоживущих) изотопов и их распространённость в природе																2 He 3 0,000137 4 99,999863												
3 Li 6 7,59 7 92,411	4 Be 9 100	5 B 10 19,9 11 80,1	6 C 12 98,93 13 1,07	7 N 14 99,632 15 0,368	8 O 16 99,757 17 0,038 18 0,205	9 F 19 100	10 Ne 20 90,48 21 0,27 22 9,25	s, p, d, f-элементы				18 Ar 36 0,337 38 0,063 40 99,60																	
11 Na 23 100	12 Mg 24 78,99 25 10,00 26 11,01	13 Al 27 100	14 Si 28 92,230 29 4,683 30 3,087	15 P 31 100	16 S 32 94,93 33 0,76 34 4,29 36 0,02	17 Cl 35 75,78 37 24,22	18 Ar 36 0,337 38 0,063 40 99,60	19 K 39 93,258 40 0,012 41 6,739	20 Ca 40 96,941 42 0,647 43 0,135 44 2,086 46 0,004 48 0,187	21 Sc 45 100	22 Ti 46 8,25 47 7,44 48 73,72 49 5,41 50 5,18	23 V 50 0,250 51 99,750	24 Cr 50 4,345 52 83,789 53 9,501 54 2,365	25 Mn 55 100	26 Fe 54 5,845 56 91,754 57 2,119 58 0,282	27 Co 59 100	28 Ni 58 68,077 60 26,223 61 1,140 62 3,634 64 0,926												
63 69,17 65 30,83	29 Cu 64 69,17 65 30,83	30 Zn 64 48,63 66 27,90 67 4,10 68 18,75 70 0,62	31 Ga 69 60,108 71 39,892	32 Ge 70 20,84 72 27,54 73 7,73 74 36,28 76 7,61	33 As 75 100	34 Se 74 0,89 76 9,37 77 7,63 78 23,77 80 49,61 82 8,73	35 Br 79 50,69 81 49,31	36 Kr 78 0,35 80 2,28 82 11,58 83 11,49 84 57,90 86 17,30	Изотоп				37 Rb 85 72,17 87 27,83	38 Sr 84 0,56 86 9,86 87 7,00 88 82,58	39 Y 89 100	40 Zr 90 51,45 91 11,22 92 17,15 94 17,38 96 2,80	41 Nb 93 100	42 Mo 92 14,84 94 9,25 95 15,92 96 16,68 97 9,55 98 24,13 100 9,63	43 Tc 99 100	44 Ru 96 5,54 98 1,87 99 12,76 100 12,60 101 17,06 102 31,55 104 18,62	45 Rh 103 100	46 Pd 102 1,02 104 11,14 105 22,33 106 27,33 108 26,46 110 11,72							
107 51,839 109 48,161	47 Ag 106 1,25 108 0,89 110 12,49 111 12,80 112 24,13 113 12,22 114 28,73 116 7,49	48 Cd 110 12,49 111 12,80 112 24,13 113 12,22 114 28,73 116 7,49	49 In 113 4,29 115 95,71	50 Sn 112 0,97 114 0,66 115 0,34 116 14,54 117 7,68 118 24,22 119 8,59 120 32,58 122 4,63 124 5,79	51 Sb 121 57,21 123 42,79	52 Te 120 0,09 122 2,55 123 0,89 124 4,74 125 7,07 126 18,84 128 31,74 130 34,08	53 J 127 100	54 Xe 124 0,09 126 0,09 128 1,92 129 26,44 130 4,08 131 21,18 132 26,89 134 10,44 136 8,87	процентное содержание				55 Cs 133 100	56 Ba 135 0,106 136 7,854 137 11,232 138 71,698	57 (+71) La 138 0,090 139 99,910	58 Ce 136 0,185 138 0,251 140 88,450	59 Pr 141 100	60 Nd 142 27,2 143 12,2 144 23,5 145 8,3 146 17,2 148 5,7 150 5,6	61 Pm 144 3,07 147 14,99 148 11,24 149 13,82 150 7,38 152 26,75 154 22,75	62 Sm 152 0,20 154 2,18 155 14,80 156 26,47 157 15,65 158 24,84 160 21,86	63 Eu 151 47,81 153 52,19	64 Gd 157 15,65 158 24,84 160 21,86	65 Tb 159 100	66 Dy 162 0,14 164 1,61 166 33,61 167 22,93 168 26,78 170 14,93	67 Ho 165 100	68 Er 162 0,14 164 1,61 166 33,61 167 22,93 168 26,78 170 14,93	69 Tm 169 100	70 Yb 173 16,13 174 31,83 176 12,76	71 Lu 175 97,41 176 2,59
197 100	79 Au 196 0,15 198 9,97 199 16,87 200 23,10 201 13,18 202 29,86 204 6,87	80 Hg 200 23,10 201 13,18 202 29,86 204 6,87	81 Tl 203 29,524 205 70,476	82 Pb 204 1,4 206 24,1 207 22,3 208 52,4	83 Bi 209 100	84 Po 209 100	85 At 209 100	86 Rn 209 100	87 Fr 209 100	88 Ra 209 100	89 (+103) Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110											

Лантаноиды

136 0,185 138 0,251 140 88,450	58 Ce	141 100	59 Pr	142 27,2 143 12,2 144 23,5 145 8,3 146 17,2 148 5,7 150 5,6	60 Nd	144 3,07 147 14,99 148 11,24 149 13,82 150 7,38 152 26,75 154 22,75	61 Pm	152 0,20 154 2,18 155 14,80 156 26,47 157 15,65 158 24,84 160 21,86	62 Sm	151 47,81 153 52,19	63 Eu	157 15,65 158 24,84 160 21,86	64 Gd	159 100	65 Tb	162 0,14 164 1,61 166 33,61 167 22,93 168 26,78 170 14,93	66 Dy	165 100	67 Ho	169 100	68 Er	169 100	69 Tm	168 0,13 170 3,04 171 14,28 172 21,83 173 16,13 174 31,83 176 12,76	70 Yb	175 97,41 176 2,59	71 Lu
--------------------------------------	----------	---------	----------	---	----------	---	----------	---	----------	------------------------	----------	-------------------------------------	----------	---------	----------	--	----------	---------	----------	---------	----------	---------	----------	---	----------	-----------------------	----------

Актиноиды (трансураниевые элементы)

232 100	90 Th	91 Pa	234 0,005 235 0,720 238 99,275	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 Nb	103 Lw
---------	----------	----------	--------------------------------------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

приведен список изотопов с указанием их процентного содержания в природных условиях

Основные характеристики ИИ.

Корпускулярное ИИ – поток элементарных частиц с массой покоя отличной от нуля, образующихся при радиоактивном распаде, ядерных превращениях либо генерируемых на ускорителях.

(α - и β - частицы, нейтроны, позитроны, мезоны и др.)

Корпускулярное ИИ, состоящее из потока заряженных частиц (α - и β - частиц, протонов, электронов), кинетическая энергия которых достаточна для ионизации атомов при столкновении, относится к классу **непосредственно ионизирующего излучения**.

Корпускулярное ИИ, состоящее из потока незаряженных частиц (например, нейтроны), которые в процессе взаимодействия со средой высвобождают заряженные частицы (электроны, протоны и др.), способные ионизировать атомы и молекулы среды, через которую они проходят, - относится к классу **косвенно ионизирующего излучения**.

Фотонное излучение (γ -излучение, тормозное и рентгеновское) является **косвенно ионизирующего излучения**.

Основные характеристики ИИ.

Фотонное излучение (γ -излучение, тормозное и рентгеновское) является **косвенно ионизирующего излучения**.

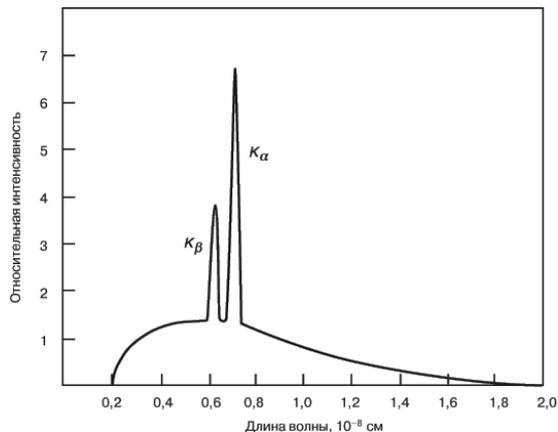
--- при перестройке внутренних электронных оболочек атомов, называется **характеристическим**.

Гамма – излучение – это излучение, испускаемое в процессе радиоактивного распада или ядерных реакций, т.е. при изменении энергетического состояния атомных ядер.

Фотонное излучение, образующееся при аннигиляции частиц, также называется γ -излучением.

Оба излучение обладают дискретным спектром, т.к. электроны в атоме и атомное ядро могут находиться во вполне определенных энергетических состояниях. Следовательно, переход электрона или ядра из одного энергетического состояния в другое происходит скачкообразно, и испускаемые при этом фотоны характеристического или γ -излучения будут обладать набором дискретных значений энергии.

При взаимодействии заряженных частиц с электрическим полем ядра возникает фотонное излучение, которое называется тормозным. (фотонное излучение генерируемое при торможении электронов в рентгеновских трубках, называются рентгеновским излучением.



Типичный рентгеновский спектр
 Энергетический диапазон от 100 эВ до 0,1 МэВ.
 Рентгеновские лучи с длиной волны $l < 0,2$ нм условно называются жёсткими, с $l > 0,2$ нм — мягкими рентгеновскими лучами.

Обычный рентгеновский спектр состоит из непрерывного спектра (континуума) и характеристических линий (острые пики). Линии K_{α} и K_{β} возникают вследствие взаимодействий ускоренных электронов с электронами внутренней K-оболочки.

Характеристический спектр – линейчатый рентгеновский спектр, возникающий при переходах электронов верхних оболочек атома на более близко расположенные к ядру K-, L-, M-, N – оболочки.

Фотон. излучение можно охарактеризовать определенной длиной волны или рассм. как поток незаряженных частиц – фотонов, которые обладают определенной массой и энергией. Энергия фотона:

$E = h\nu$, где $h = 6,625 \cdot 10^{-27}$ эрг*сек ($6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж*с) – квант действия или постоянная Планка, ν – частота излучения.

$$\nu = c/\lambda$$

$c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с ($3 \cdot 10^8$ м/с) – скорость распространения фотонного излучения в вакууме.

Основные характеристики ИИ.

В процессе взаимодействия ИИ с веществом изменяются его энергетическое и пространственно-временное распределение в рассматриваемой среде. Для установления закономерностей распространения и поглощения ИИ в среде необходимо знать:

- сколько частиц или фотонов,
- с какой энергией и в каком направлении приходят в кажд. точку пространства, т.е. необходимо иметь представление о поле излучения.

Для характеристики поля ИИ необходимы понятия:

- поток частиц и поток энергии,
- плотность потока частиц и энергии,
- флюенс (перенос) частиц и энергии.

ПОТОК ИОНИЗИР.ЧАСТИЦ И ПОТОК ЭНЕРГИИ ИИ

$$F = \frac{dN}{dt}$$

dN – число ионизир. частиц, проходящих через данную поверхность за интервал времени dt .

$$F_{\omega} = \frac{d\omega}{dt}$$

$d\omega$ – суммарная энергия (исключая энергию покоя) всех ионизир. частиц, проходящих через данную поверхность за интервал времени dt .

Т.о., поток частиц или энергии характеризует число частиц или их энергию, проходящую через данную поверхность за единицу времени.

$$[F] = [c^{-1}]$$

(c^{-1}) равна потоку ионизирующих частиц, при котором через данную поверхность за 1с проходит одна частица.

$$[F] = \left[\frac{\text{Дж}}{c} \right] = [\text{Вт}] = [\text{эВ}]$$

Ватт равен потоку энергии ИИ, при котором через данную поверхность за 1с проходит излучение с энергией 1 Дж.

ФЛЮЭНС (ПЕРЕНОС) ИОНИЗИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ Φ –

- это отношение числа ионизирующих частиц dN , проникающих в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS этой сферы:

$$\Phi = \frac{dN}{dS} \quad [\Phi] = [\text{м}^{-2}]$$

равен флюенсу ионизир. частиц, при котором в сферу с площадью центрального сечения 1м^2 проникает 1 частица.

ФЛЮЭНС (ПЕРЕНОС) ЭНЕРГИИ ИИ Φ –

- это отношение суммарной энергии ИИ $d\omega$ (исключая энергию покоя), проникающего в элементарную сферу с площадью центрального сечения dS :

$$\Phi_{\omega} = \frac{d\omega}{dS} \quad [\Phi] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^{-2}} \right] = \left[\frac{\text{эВ}}{\text{м}^2} \right]$$

ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА ИОНИЗИР. ЧАСТИЦ

$$\varphi = \frac{dF}{dS}$$

dF – поток ионизир. частиц, проникающих в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS .

Т.о., плотность потока частиц или энергии характеризует число ионизир. частиц или энергию, проходящую через единицу поверхности в единицу времени, а флюенс (перенос) – число частиц или энергию, проходящих через единицу поверхности. **Число частиц или энергия, проходящая в единицу времени через единицу поверхности, есть плотность потока ионизирующих частиц или излучения и является характеристикой интенсивности излучения.**

$$[\varphi] = [c^{-1} \cdot m^{-2}]$$

равна плотности потока ионизирующих частиц, при котором в сферу с площадью центрального сечения $1m^2$ за $1c$ проникает одна частица.

ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА ЭНЕРГИИ ИИ

$$\varphi_{\omega} = \frac{dF_{\omega}}{dS}$$

dF_{ω} – поток энергии ИИ, проникающего в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS этой сферы.

$$[\varphi_{\omega}] = \left[\frac{Дж}{c \cdot m^2} \right] = \left[\frac{Вт}{m^2} \right] = \left[\frac{эВ}{c \cdot m^2} \right]$$

КАК ЖЕ МЕНЯЮТСЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИИ

При упругом взаимодействии:

- не изменяется природа частиц и их суммарная энергия остается постоянной до и после взаимодействия,
- происходят только распределения энергии между взаимодействующими частицами.
- Либо не изменяется энергия каждой из взаимодействующих частиц, а происходит только изменение направления их движения. (*Например, рассеяние α -частиц или протонов на ядрах, рассеяние электронов на электронах и ядрах и т.п.*)

При неупругом взаимодействии:

- не изменяется природа частиц, но их суммарная энергия после взаимодействия оказывается меньше, часть энергии затрачивается на производство какой-либо работы (нагревание системы, возбуждения атомов или молекул, излучение и др.)
- могут происходить и изменение природы частиц в результате протекания тех или иных ядерных реакций, рождения и аннигиляции частиц и т.д.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕЙТРОНОВ

как инструмента для физики конденсированного состояния вещества

Нейтроны **не имеют электрического заряда**

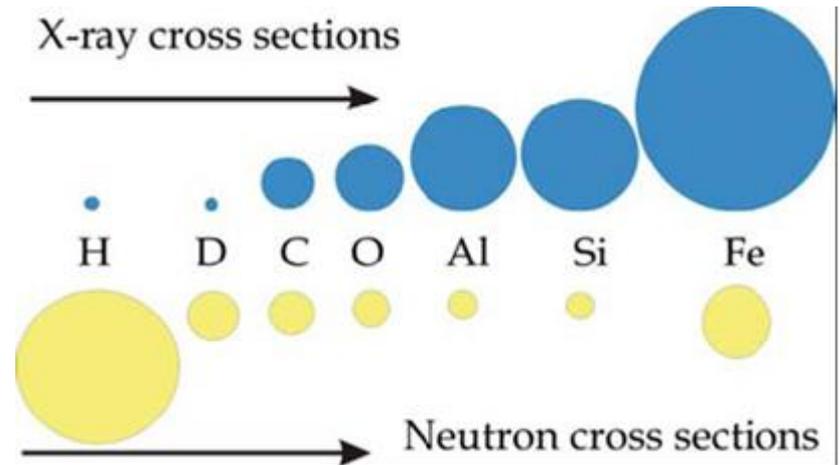
Глубоко проникают в большинство материалов.

Позволяют исследовать внутреннюю структуру больших объектов без их разрушения.

Нейтроны **рассеиваются** и **поглощаются атомными** **ядрами**

Хорошо «видят» легкие атомы и различают атомы с близкими порядковыми номерами.

Позволяют *напрямую* исследовать водородсодержащие объекты.



Нейтроны **по-разному рассеиваются** и **поглощаются изотопами** одного и того же химического элемента

Позволяют контрастировать отдельные элементы структуры при изменении изотопического состава объекта

Нейтроны **имеют собственный магнитный момент**

«Видят» магнитную структуру объекта
вследствие рассеяния на магнитных моментах электронных оболочек атомов

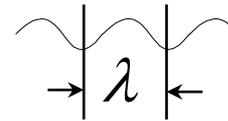
Взаимодействие нейтронов с веществом.



Частица



Волна



Заряд

: 0

Масса

$$m = 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

“Радиус”

$$r_0 = 6 \cdot 10^{-16} \text{ m}$$

Длина волны

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

Спин

: 1/2

Волновое число

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Магн. момент

$$\mu = -1,9\mu_N$$

Импульс

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Импульс

$$\vec{p} = \frac{h \cdot \vec{k}}{2\pi} = \hbar \cdot \vec{k}$$

Энергия

$$E = \frac{m}{2} v^2$$

Энергия

$$E = \frac{h^2}{2m\lambda^2} = \frac{\hbar^2 \cdot k^2}{2m}$$

Нейтрон может быть представлен как частица и как волна. Какое из двух представлений используется в конкретном случае зависит от рассматриваемого явления. Эти два представления эквивалентны.

ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД ИСПОЛЬЗУЮТСЯ КЛАССИФИКАЦИЯ:

Тип нейтронов/ Характеристика нейтронов	Ультрахолодные	Холодные	Тепловые	Эпитепловые
Энергия, мэВ	0,25мкэВ	1	25	1000
Температура, К	3мК	12	290	12000
Длина волны, Å	570	9	1,8	0,29
Скорость, м/с	6,9	440	2200	14000

Для производства нейтронов в достаточных количествах для проведения экспериментов в области исследования свойств конденсированных сред требуется создание больших и дорогостоящих установок.

Использовать рассеяние нейтронов для решения научных задач следует в том случае и только в том случае, если данную задачу нельзя решить другим, более дешевым методом. Постановка любого эксперимента требует тщательного планирования, предварительной оценки возможности получения необходимой информации и оптимизации проведения самого эксперимента с целью уменьшения материальных затрат на получение конкретного результата.

Исследования на пучках нейтронов

Ультрахолодные

$E_n < 10^{-7}$ эВ

Нейтронная ядерная физика

(β -распад нейтронов, ЭДМ)

Квантовая нейтронная оптика

Холодные

$< 10^{-3}$ эВ

Аморфные материалы и жидкости

Полимеры и мягкие материалы

Биология, Нейтронная оптика

Тепловые

$< 10^{-1}$ эВ

Атомная структура и динамика

Магнетизм и сверхпроводимость

Химические реакции, катализ

Науки о Земле, Науки о материалах

Радиационная физика твердого тела

Инженерные науки, Ядерные данные

Резонансные,

Промежуточные

$< 10^5$ эВ

Структура ядер, Нарушение четности и

временной инверсии, Физика распада,

Астрофизика, Ядерные данные,

Радиационная физика твердого тела

Высокоэнергетические,

Быстрые

$< 10^{10}$ эВ

Ядерные данные

Радиационная физика твердого тела

Уровни и стадии радиобиологических процессов



К вопросу о сравнении действия ионизирующего и неионизирующего излучений.



В более узком смысле к ионизирующему излучению не относят ультрафиолетовое излучение и излучение видимого диапазона света, которое в отдельных случаях также может быть ионизирующим. Излучение микроволнового и радиодиапазонов не является ионизирующим.

ТЕРМИНОЛОГИЯ

- Разработкой терминологии дозиметрии в международном масштабе занималась Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ).
- Принятая терминология в области радиационной безопасности и дозиметрии ионизирующих излучений основана на международных стандартах, рекомендациях Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) и Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ).

- Единая международная система единиц (международное сокращенное наименование — SI, в русской транскрипции — СИ) принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) и уточнена на последующих ГКМВ.
- В любой стране терминология и единицы физических величин в конкретной сфере (в том числе –дозиметрии и радиационной безопасности) определяются государственными стандартами – ГОСТ. С учетом этих ГОСТов строятся основные нормативные документы,
- например, «Нормы радиационной безопасности», «Санитарные правила» и др.

- Введение ГОСТ 8.417-81 изъяло из обращения все основные широко использовавшиеся ранее в области ионизирующих излучений и радиационной защиты внесистемные единицы активности и дозовых характеристик излучения.
- Среди них единица кюри для активности радионуклида в источнике, рад для поглощенной дозы и кермы, бэр для эквивалентной дозы, рентген для экспозиционной дозы фотонного излучения, миллиграмм-эквивалент радия для нестандартной величины γ -эквивалента. Все же было разрешено применять без ограничения срока внесистемную единицу энергии электрон-вольт (эВ) и ее десятичные кратные единицы, такие, как кэВ, МэВ, ГэВ.
- На практике, выполнить эти рекомендации оказалось достаточно трудно – все учебники, методические пособия, задачки, справочники построены на старых, внесистемных единицах. На этих же единицах строятся расчеты доз и защиты. Поэтому мы в данном курсе лекций будем рассматривать как единицы системы СИ, так и внесистемные единицы.

Задачи дозиметрии ионизирующего излучения

Вид дозиметрии	Область применения	Диапазон измерений	Краткое обозначение
Индивидуальная	Повседневный радиационный контроль Аварийная дозиметрия Дозиметрия в условиях ядерной войны Дозиметрия при космических полетах Дозиметрия естественного излучения	$10^{-3}—10$ бэр $1—1000$ бэр* $10—1000$ бэр $10^{-3}—1000$ бэр $10^{-4}—10^{-1}$ бэр	И1 И2 И3 И4 И5
Клиническая	При внешнем и внутреннем лечебном облучении	$1—10^4$ рад	К
Дозиметрия в радиобиологии	При воздействии ионизирующего излучения на биологические объекты в процессе радиобиологических исследований	$1—10^7$ рад	Б
Дозиметрия в радиационной технике	Радиационная химия Лучевая стерилизация Облучение продуктов питания	$10^3—10^8$ рад $\sim 2,5 \cdot 10^6$ рад $10^3—5 \cdot 10^6$ рад	Т
Внутриреакторная	Измерение потоков нейтронов Измерение дозы излучения	$10^7—10^{14}$ нейтрон/(см ² ·сек) $10^3—10^9$ рад	Р

* Совещание экспертов МАГАТЭ в 1970 г. рекомендовало при авариях измерять дозу в радах отдельных компонентов излучения. Диапазон измерений, учитывая вероятность локальных облучений, должен быть расширен до 5000 рад. — Прим. ред.

Физико-химические эффекты, используемые в дозиметрии

Рабочее тело	Эффект	Измеряемый параметр	Область применения (по табл. 1)	
Газ	Ионизация	Ионизационный ток	И 1—5, К, Б, Р	
	Химические превращения	Изменение концентрации	К, Б, Т, Р	
Жидкость	Нагревание	Изменение температуры	Т, Р	
	Активация	Активность	И 2, Р	
	Засвечивание фотоэмульсии	Почернение пленки	И 1—5, К, Б	
	Термолюминесценция	Свечение термолюминесценции	И 1—5, К, Б	
	Радиофотолюминесценция	Свечение радиофотолюминесценции	И 1—4, К, Б	
	Экзоэлектронная эмиссия	Ток экзоэлектронов	—	
	Твердое тело	Деградация люминесценции	Интенсивность люминесценции	Т, Р
		Окрашивание	Пропускание света	И 3, К, Б, Т, Р
Образование трека		Число треков	И 1—4	
Сцинтилляция		Световой поток, число сцинтилляций	И 1, К, Б	
Изменение сопротивления полупроводников		Ток, напряжение	И 1—3, К, Б	

ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС

- 1895 г. – Открытие рентгеновских лучей. Рентген.
- 1896 г. – Открытие радиоактивности. Беккерель.
- 1897 г. – Открытие электрона. Томсон.
- 1911 г. – Открытие атомного ядра. Резерфорд.
- 1919 г. – Осуществление первой ядерной реакции. Резерфорд.
- 1930 г. – Запуск первого циклотрона. Лоуренс.
- 1932 г. – Открытие нейтрона. Чадвик.
- 1932 г. – Обоснование протон-нейтронной модели ядра. Гейзенберг, Иваненко.
- 1935 г. – Обоснование капельной модели ядра. Вайцзеккер.
- 1938 г. – Открытие деления ядер. Ганн, Штрассман.
- 1940 г. – Обнаружение спонтанного деления ядер. Флеров, Петржак.
– Открытие первого трансуранового элемента ($Z=93$, нептуний). Мак-Миллан, Абельсон.
- 1942 г. – Запущен первый ядерный реактор. П/р Ферми.
– Осуществлена управляемая ценная реакция деления тяжелых ядер.
- 1945 г. – Первый взрыв атомной бомбы. США в Хиросиме. Через 3 дня второй – в Нагасаки. **Только в Хиросиме сразу погибло 78 000 и были ранены и облучены 164 000 чел.**
- 1949 г. – Первый взрыв атомной бомбы в СССР.
– Обоснование оболочечной модели ядра. Гепперт-Майер, Йенсен, Хаксель, Суэсс.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС

1952 г. – Обоснование обобщенной модели ядра. О. Бор, Моттelson, Рейнуотер.

– Первый взрыв наземного водородного (термоядерного) устройства. США.

1953 г. – Первый взрыв водородной бомбы в СССР.

1954 г. – Запуск первой атомной электростанции. Обнинск. СССР.

1956 г. – Обнаружение антиядер дейтерия. США.

1970 г. – Обнаружение антиядер гелия-3. СССР.

1975 г. – Обнаружение антиядер трития. СССР.

В пятидесятых (и последующих десятилетиях) разрабатываются мощные ускорители заряженных частиц.

- 1956 г. – Запущен синхрофазотрон в Дубне (энергия 10 Гэв, длина орбиты частиц около 200м, вес кольцевого электромагнита 40 тысяч тонн). СССР.
- 1967 г. – Построен синхротрон в Протвино (близ Серпухова). СССР. Энергия частиц 70 Гэв, длина орбиты 1.5км, вес электромагнита 22 тысячи тонн. Он и поныне остается крупнейшим в России.
- В США, Японии, Германии, а также в Европейской организации ядерных исследований (Церн, Швейцария) работают коллайдеры-ускорители на встречных пучках.
- 1983 г. – В Протвино начались работы по сооружению УНК (ускорительно-накопительный комплекс) с предполагаемой энергией частиц 3000 Гэв (или 3Тэв). Энергия частиц в самом мощном в мире ускорителе лаборатории имени Э. Ферми (ФНАЛ) в США – 1Тэв (10^{12} эв).
- Для УНК прорыли кольцевой тоннель длиной 21км и диаметром ~5м. Работы затормозились в связи с распадом СССР. В настоящ. вр. – планируется синхротрон СИЛА.

- 1984 г. – Обнаружение кластерной радиоактивности (самопроизвольное испускание тяжелыми ядрами углерода). Роуз. Джонс. Позже – испускание Ne, Mg, Si, S.
- 1994 - 2000 гг. – Синтез сверхтяжелых элементов с $Z=110, 111, 112, 114, 116, 118$ ($A=271, 272, 277, 285, 289, 293$). Германия. Россия. США.
- 2000 г. – Получение кварк-глюонной плазмы в столкновениях ультрарелятивистских тяжелых ядер. Европейский центр ядерных исследований. Швейцария.
- ...

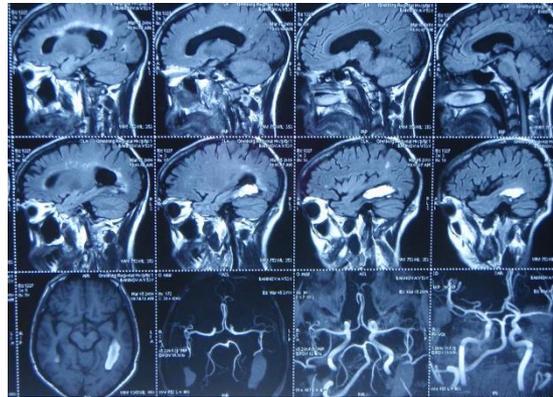
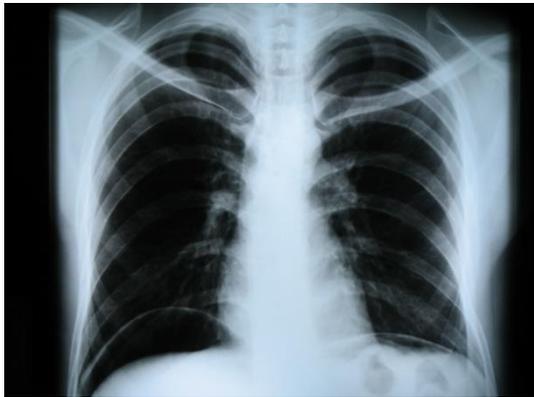
О.И. ВАСИЛЕНКО, Б.С. ИШХАНОВ, И.М. КАПИТОНОВ,
Ж.М. СЕЛИВЕРСТОВА, А.В. ШУМАКОВ
РАДИАЦИЯ

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/radiation/index.html>

<http://rb.mchs.gov.ru> - Межведомственная
информационная система по вопросам обеспечения
радиационной безопасности населения и проблемам
преодоления последствий радиационных аварий.

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

- 1. Сравнить дозы для флюорографии, МРТ и панорамного снимка зубов.



- 2. Определить активность 1г. $^{226}_{88}\text{Ra}$, находящегося в равновесии с дочерними продуктами распада.
 $T_{1/2}=1600$ лет.



ОРБиРИ. Старший техник
Е.Б.Титов заменяет
дозиметры для контроля
радиоактивности в
санитарно-защитной зоне
реактора ИБР-2

Фото: ЛНФ ОИЯИ

Благодарю за внимание!



Можно еще ознакомиться с лекцией доц.
Широкова Е.В.

«Радиация и радиоактивность»

<https://youtu.be/TxZ6YTAM4R8>