

- Радиационная безопасность

С чего все начиналось?

- 1895 г. - У. К. Рентген, открытие X-лучей

Первый сцинтиллятор – платиноцианистый барий
 $\text{BaPt}(\text{CN})_4$

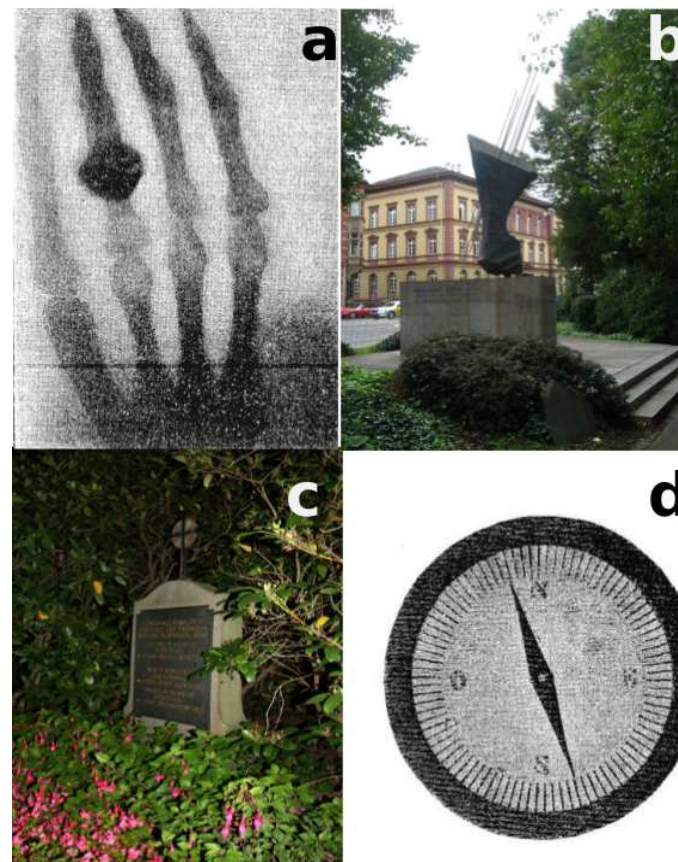
Первый прибор для регистрации
ионизирующего излучения –

Флюорископ (прибор для регистрации
рентгеновского излучения, экран из кристаллов
 CaWO_4) –

Т. Эдисон — 1896 г.



Свечение шеелита





Вильгельм Конрад Рентген (1845 – 1923)

С чего все начиналось?

- 1895 г. - У. К. Рентген, открытие X-лучей

Флюорископ

90% излучения попадало на лицо доктора

«С меня хватит рентгена, радия и всего такого. Мало того, что мой левый глаз сильно пострадал от лучей Рентгена, так и с животом у меня разнообразные проблемы. Я думаю, это от того, что я облакачивался на рентгеновский аппарат во время экспериментов» **Т. Эдисон**



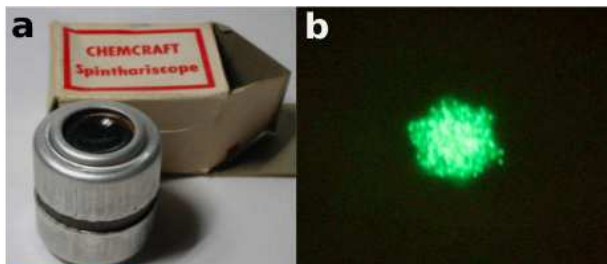
Свечение шеелита



Nature, 1896

1896 год

- Открытие радиоактивности А. Беккерель
- Открытие радиоактивности у урана, тория
- Закон радиоактивного распада (1903 г.) –
- Э. Резерфорд $\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$
- Открытие альфа, бета и гамма-излучения



Сцинтилляционный метод, применявшийся в начале нашего столетия: визуальный счет вспышек от α -частиц в спинтарископе со сцинтилляционным экраном на основе ZnS, был одним из первых методов регистрации радиоактивного излучения.

- **1895 г.** – Открытие рентгеновских лучей. **Вильгельм Конрад Рентген.**
- Нобелевская премия по физике **1901** года
- К Рентгену не раз обращались представители промышленных фирм с предложениями о выгодной покупке прав на использование изобретения. Но учёный отказывался запатентовать открытие, так как не считал свои исследования источником дохода.
- **1896 г.** – Открытие радиоактивности. **Антуан Анри Беккерель.** Нобелевская премия по физике **1903** года
- **1897 г.** – Открытие электрона. **Джозеф Джон Томсон.**
- За это открытие Томсон в **1906** году получил Нобелевскую премию по физике.
- В **1898 г.** **Мария и Пьер Кюри** открыли радий и полоний. Нобелевская премия по физике **1903** года
- Тогда же перед супругами встал вопрос о патентовании своего открытия. И они решили не предпринимать никаких шагов в этом отношении, предоставив своё открытие безвозмездно на пользу человечества.

- Открыв икс-лучи, Рентген изучил их добросовестнейшим образом. Настолько тщательно, что после него долго, не один год, нечего не было сделано нового с рентгеновским излучением.
- М. фон Лауэ решил получить интерференцию на кристалле. М. фон Лауэ понимает, что его мысль не вполне оригинальна, мало того, она не нашла подтверждения в экспериментах В. Рентгена.
- Было заключено пари на коробку шоколада. Чтобы разрешить спор, В. Фридрих поставил на пути икс-лучей кристалл и рядом, сбоку, фотопластинку, чтобы зарегистрировать их, когда они отклонятся под прямым углом. Рентгеновская трубка трещала день за днем, но безрезультатно. Она мешала работавшему в том же помещении П. Книппингу, и он изменил положение пластинки, поставив ее не сбоку, а за кристаллом, дабы на ней ну хоть что-нибудь запечатлелось. И тогда все с удивлением увидели симметричный узор из темных пятен.
- Так появилась знаменитая работа Лауэ, Фридриха и Книппинга. Так, в 1912 году родился рентгеноструктурный анализ. Поначалу он ограничивался получением и изучением лауэграмм.



Один из ранних экспериментов с рентгеновским излучением. Источник, трубка Крукса, подвешен в центре. Экспериментатор стоя наблюдает изображение через флюороскоп. Экспериментатор сидя делает рентгеновский снимок на фотопластинку. Никаких мер защиты от облучения не предпринято

1901	Вильгельм Конрад Рентген (1845-1923)	В знак признания исключительных услуг, которые он оказал науке открытием замечательных лучей , названных впоследствии в его честь <i>in recognition of the extraordinary services he has rendered by the discovery of the remarkable rays subsequently named after him</i>
1914	Макс фон Лауэ (1879-1960) (присуждена в 1915 г.)	За открытие дифракции рентгеновских лучей на кристаллах <i>For his discovery of the diffraction of X-rays by crystals</i>
1915	Уильям Генри Брэгг (1862-1942) Уильям Лоренс Брэгг (1890-1971)	За заслуги в исследовании структуры кристаллов с помощью рентгеновских лучей <i>For their services in the analysis of crystal structure by means of X-rays</i>
1916	<i>Премия не присуждалась</i>	<i>Денежные средства включены в спецфонд секции</i>
1917	Чарлз Гловер Баркла (1877-1944)	За открытие характеристического рентгеновского излучения элементов <i>For his discovery of the characteristic Röntgen radiation of the elements, another important step in the development of X-ray spectroscopy</i>
1924	Манне Сигбан (1886—1978)	За открытия и исследования в области рентгеновской спектроскопии <i>for his discoveries and research in the field of X-ray spectroscopy</i>
1927	Артур Холли Комптон (1892—1962) Чарлз Томсон Риз Вильсон (1869—1959)	За открытие эффекта, названного его именем <i>for his discovery of the effect named after him</i> За метод визуального обнаружения траекторий электрически заряженных частиц с помощью конденсации пара <i>for his method of making the paths of electrically charged particles visible by condensation of vapour</i>

Радиевые институты

Радий отошел на второй план. Тем не менее и в наши дни в мире активно работает несколько радиевых институтов.

Пьер Кюри до конца своих дней мечтал об организации в Париже Института радия.

Такой институт был организован лишь в 1913 г. Он состоял из двух отделений – радиоактивной лаборатории под руководством Марии Склодовской-Кюри и лаборатории биологических исследований и радиотерапии, первым руководителем которого был видный французский медик Клод Реге. Этот институт существует и поныне.

В 1922 г. был основан Радиевый институт в Ленинграде, его первым директором был академик В.И. Вернадский. В этом институте, в отличие от парижского, наряду с физико-химическими отделениями и лабораторией, ведущей медико-биологические исследования, есть отдел, занимающийся геохимией радиоактивных элементов и минералов.

Третий радиевый институт – преимущественно медицинского, радиологического профиля – был основан в Варшаве в 1932 г. Сейчас он называется Онкологическим институтом и носит имя Марии Склодовской-Кюри.

Еще один радиевый институт работает в Вене.

Конечно, во всех этих институтах занимаются не только радием, но и радием тоже.



В **1928 году в Лондоне** был воздвигнут обелиск, на котором высечены имена 136 человек, не щадивших себя в стремлении поставить икс-лучи на службу человечеству и погубленных смертоносной силой таинственных невидимок.

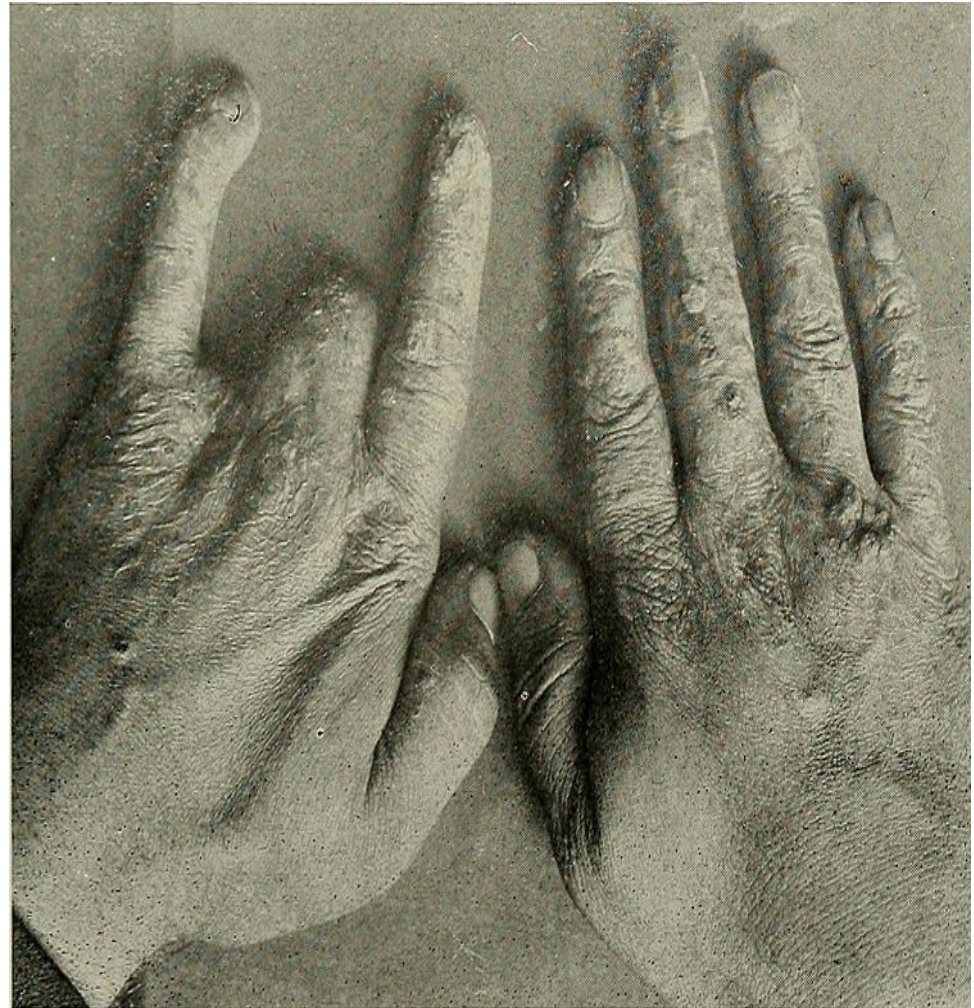
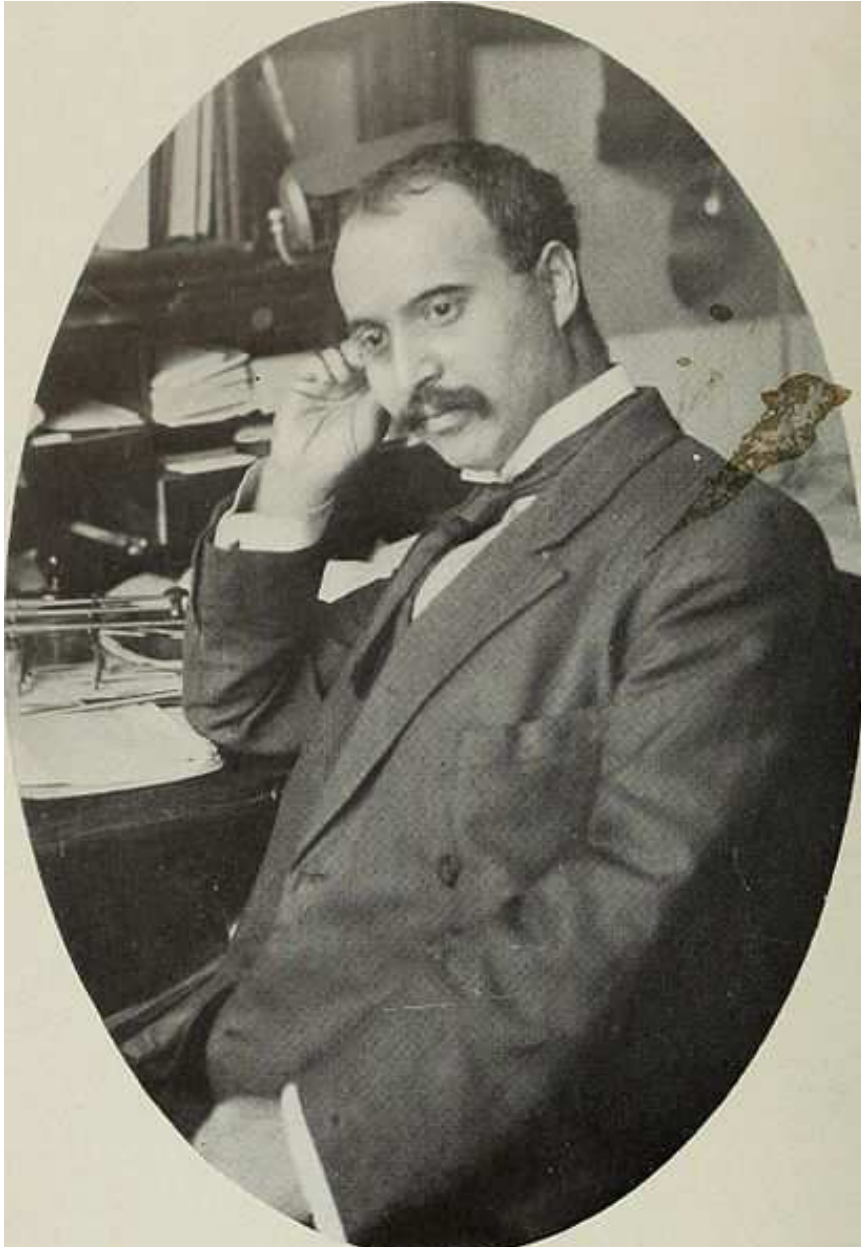
- **Мемориал Радиологии** — памятник в честь погибших от последствий воздействия рентгеновского излучения.
- **Установлен в саду больницы Святого Георгия в Гамбурге, открыт 4 апреля 1936 г.**
- А на гранях камня — печальный мартиролог со 169 фамилиями тех, кто скончался от облучения.
- Надпись на монументе гласит:
«Памятник посвящается рентгенологам и радиологам всех наций, врачам, физикам, химикам, техникам, лаборантам и сестрам, пожертвовавшим своей жизнью в борьбе против болезней их ближних. Они героически прокладывали путь к эффективному и безопасному применению рентгеновских лучей и радия в медицине. Слава их бессмертна».
- Позже мемориал был дополнен ещё четырьмя стеллами, в общем на монументе нанесены 359 имен, в том числе 13 наших соотечественников.



Розалин Франклин.

- **Розалин Франклин (Rosalind Franklin)** родилась 25 июля 1920г. в Лондоне, в известной еврейской семье, приехавшей в Портсмут из Германии еще в 1784г. Она посещала одну из немногих в Лондоне школ для девочек, где преподавали химию и физику, и была весьма упорна в учебе.
- Мужество и цельность натуры Розалин стали всем очевидны, когда она, узнав в 1956г. **о своей смертельной болезни, связанной с непрерывным облучением рентгеновскими лучами**, не жалуясь, продолжала работать почти до самой смерти. Она умерла от рака 16 апреля 1958 г. в 37 летнем возрасте.
- Ф. Крик, Дж. Уотсон, М. Уилкинс в 1962г. стали обладателями Нобелевской премии.
- **Раньше.** Эту знаменитую «двойную спираль» предложили в 1953 году Д. Уотсон и Ф. Крик, воспользовавшись исключительно четкими дифракционными картинками ДНК, полученными М. Уилкинсом.
- **Сейчас.** Когда Уилкинс принес Крику одну из рентгенограмм, полученную Франклин, тот сразу увидел решение: ДНК имеет форму двойной спирали, напоминающей винтовую лестницу. Именно опираясь на результаты, полученные Розалин, Крик и Уотсон разработали модель пространственной структуры молекулы ДНК в 1953г.

Mihran Krikor Kassabian (August 25, 1870 – July 14, 1910) was an Armenian-American [radiologist](#) and one of the early investigators into the medical uses of [X-rays](#). He died of [skin cancer](#) related to his repeated exposure to high doses of radiation.



Введение в дозиметрию

Дозиметрия – раздел ядерной физики, рассматривающий ионизирующее излучение, физические величины, характеризующие взаимодействие излучения с веществом, а также принципы и методы определения этих величин.

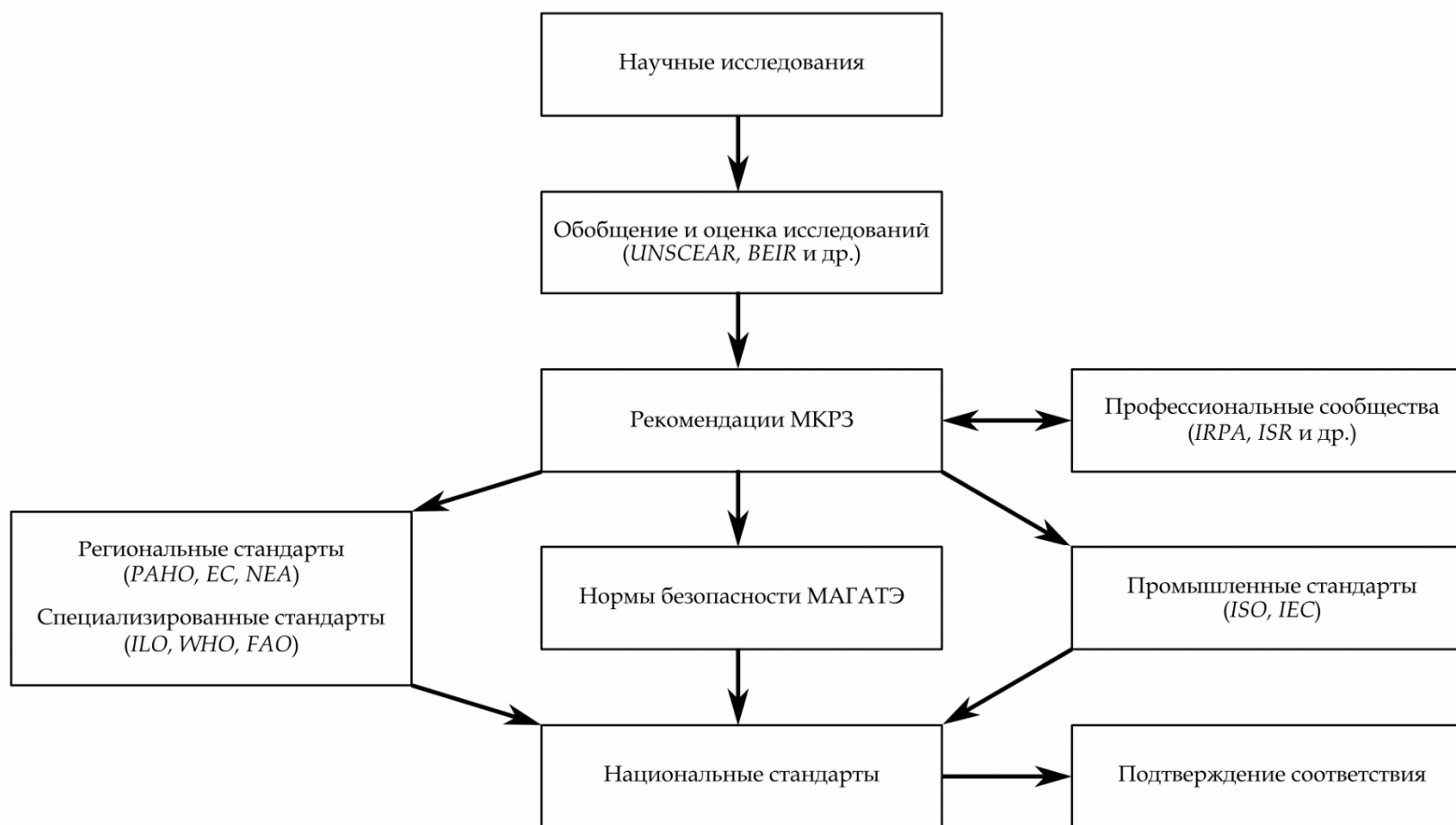
Цель дозиметрии: установить связь между измеряемой физической величиной и ожидаемым радиационным эффектом.

Международные организации

- Международное Агентство по атомной энергии (МАГАТЭ, IAEA)
 - Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ, ICRP)
 - Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР, UNSCEAR)
 - Международная Комиссия по радиологическим единицам и измерениям (МКРЕ. ICRU)
-
- Всемирная ядерная ассоциация (WNA)
 - Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих АЭС (WANO)
 - Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ, WHO)
 - Программа ООН по окружающей среде
 - Международный молодежный ядерный конгресс (IYNC)

- **Международное Агентство по атомной энергии (МАГАТЭ, IAEA)**
- создано в 1957 для развития международного сотрудничества в области мирного использования атомной энергии. Объединяет более 100 государств. Местопребывания - Вена.
- **Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ, ICRP)**
неправительственная научная организация, основанная в 1928 для разработки основных принципов и рекомендаций по радиационной защите. Первый председатель шведский ученый Р. Зиверт известный исследованием естественного гамма-излучения.
- **Международная Комиссия по радиологическим единицам и измерениям (МКРЕ)**
- (International Commission on Radiological Units and Measurements) (ICRU)
создана в 1925 году на Международном конгрессе радиологов, первоначально как Комитет X-Ray Unit до 1950 г.
МКРЕ является дочерней организацией в Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). В общих чертах МКР определяет единицы, и МКРЗЛИ рекомендует, как они используются для защиты от радиации

Схема международного взаимодействия в области радиационной безопасности

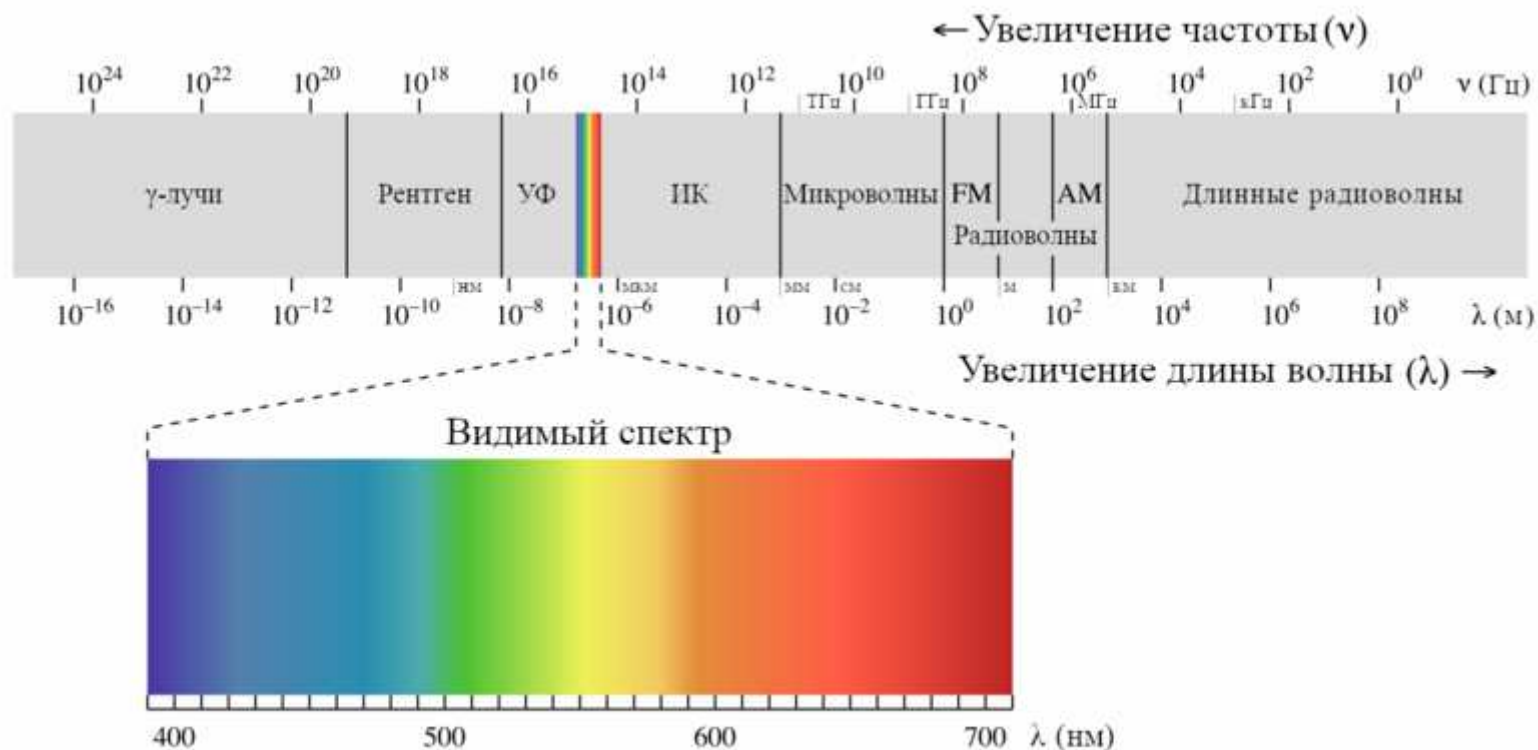


Введение в дозиметрию

- **Ионизирующее излучение** – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков
- **Непосредственно ионизирующее излучение** – ионизирующее излучение состоящее из заряженных частиц (электронов, протонов, α – частиц), имеющих кинетическую энергию достаточную для ионизации атомов вещества при столкновении
- **Косвенно ионизирующее излучение** – ионизирующее излучение состоящее из незаряженных частиц (нейтроны, фотоны), которые могут создавать заряженные частицы и/или вызывать ядерные превращения

Фотонное излучение

- Видимое, ультрафиолетовое излучение не относится к ионизирующим излучениям
- Рентгеновское излучение (тормозное (сплошной спектр) и характеристическое (линейчатый спектр))
- Гамма излучение



Электрoнво́льт (электрон-вольт, редко **электровольт**; русское обозначение: **эВ**, международное: **eV**) — внесистемная единица [энергии](#), используемая в атомной и [ядерной физике](#), в [физике элементарных частиц](#) и в близких и родственных областях науки ([биофизике](#), [физической химии](#), [астрофизике](#) и т. п.). В [Российской Федерации](#) электронвольт допущен к использованию в качестве внесистемной единицы без ограничения срока с областью применения «[физика](#)»

Один электронвольт равен [энергии](#), необходимой для переноса [элементарного заряда](#) в [электростатическом поле](#) между точками с разницей [потенциалов](#) в 1 [В](#). Так как работа при переносе заряда q равна qU (где U — разность потенциалов), а [элементарный заряд](#) составляет $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ [Кл](#) (точно), то:

$$1 \text{ эВ} = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$$

$$E(\text{eV}) = 1239.85 / \lambda(\text{nm})$$

Доза поглощенная

Доза поглощенная (D) - величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу:

$$D=dE/dm \text{ (1Дж/кг=1Грей)}$$

где dE - средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме, а dm - масса вещества в этом объеме.

В единицах СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название - грей (Гр).

Принята с 1975 года с ведением системы СИ

Грэй — единица дозы излучения (поглощенной дозы излучения). До 1975 г. имела наименование джоуль на килограмм. В 1975 г. XV Генеральная конференция по мерам и весам по рекомендации Международной комиссии по радиологическим единицам и измерениям дала этой единице наименование грэй по имени английского ученого Л. Грэя (1905—1965).

Внесистемная единица рад (rad – radiation absorbbbed dose) (100эпр/1гр)

Принята МКРЕ с 1953 года

1Гр=100 рад

Экспозиционная доза

Для фотонного излучения ранее использовалась

Экспозиционная доза (X) (Рентген)

$X = dQ/dm$, (1СГСЭ заряда/масса 1см³ воздуха=1 рентген)

1 Гр=87,3 рентгена

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/Кг}$$

Часто употребляют мощность экспозиционной дозы (dX/dt). Единицы измерения – Р/час, мР/час, мкР/час и др.

Экспозиционная доза (X) (Рентген)

- Несмотря на то, что ГОСТ 8.417-81 прямо запретил использование большинства внесистемных единиц измерения, рентген продолжает достаточно широко использоваться в технике, отчасти потому, что многие имеющиеся измерительные приборы (дозиметры) отградуированы именно в рентгенах.
- Тем не менее, позднее в Российской Федерации **рентген был допущен к использованию в качестве внесистемной единицы без ограничения срока с областью применения «ядерная физика, медицина»** (Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации Утверждено Постановлением Правительства РФ от 31 октября 2009 г. N 879).
- Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ) в своих рекомендациях относит рентген к единицам измерения, «которые могут временно применяться до даты, установленной национальными предписаниями, но которые не должны вводиться, если они не используются».

Кёрма — сумма начальных кинетических энергий всех заряженных частиц, освобождённых незаряженным ионизирующим излучением (таким как фотоны или нейтроны) в образце вещества, отнесённая к массе образца. Определяется коэффициентом

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

где E_{tr} — переданная заряженным частицам энергия. Керма в общем случае отличается от поглощённой дозы. При низких энергиях первичного излучения керма примерно равна поглощённой дозе, тогда как при высоких энергиях K намного выше поглощённой дозы, поскольку часть энергии уносится из поглощающего объёма в форме рентгеновского тормозного излучения или быстрых электронов.

Единица кермы, как и поглощённой дозы — джоуль на килограмм, или грей, Гр (англ. *gray*, Gy); 1 Гр = 1 Дж/кг.

Слово «керма» (англ. *kerma*) является акронимом от английского «*kinetic energy released in material*» или «*...in matter*» (кинетическая энергия, освобождённая в веществе), иногда «*kinetic energy released per unit mass*» (кинетическая энергия, освобождённая на единицу массы).

Энергия фотона передаётся веществу посредством двухступенчатого процесса. Вначале энергия передаётся вторичным заряженным частицам через различные взаимодействия фотона (например, фотоэлектрический эффект, комптоновское рассеяние, рождение пар и фотоядерное возбуждение). Затем эти вторичные заряженные частицы передают энергию среде через возбуждение атомных оболочек и ионизацию.

Введение в дозиметрию

Доза эквивалентная (H) - поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения, w_R :

$$H = D * w_R$$

Единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

1 бэр = 0,01 Зв

Фотоны любых энергий	1
Электроны и мюоны любых энергий	1
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ	5
от 10 кэВ до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 МэВ до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
Альфа - частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

- **Относительная биологическая эффективность (ОБЭ / RBE)** ионизирующих излучений - показатель, необходимый для количественной оценки качества излучения.
- ОБЭ оценивают сравнением дозы излучения, вызывающей определённый биологический эффект, с дозой стандартного излучения, обуславливающий тот же эффект.
- $OBE = \frac{D(R)}{D(X)}$, где D_r - доза рентгеновского излучения, Гр; D_x - доза изучаемого излучения, Гр; при этом эффект сравнивают по одному и тому же показателю.
- В первом приближении можно считать, что при тщательном соблюдении экспериментальных условий ОБЭ зависит только от ЛПЭ.
- **Линейная передача энергии (ЛПЭ, англ. LET - Linear energy transfer)** — физическая характеристика качества ионизирующего излучения; величина ионизационных потерь энергии на единице пути в веществе. ЛПЭ определяется как отношение полной энергии dE , переданной веществу частицей вследствие столкновений на пути dl , к длине этого пути: $L = dE / dl$

Доза эффективная (E) - величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

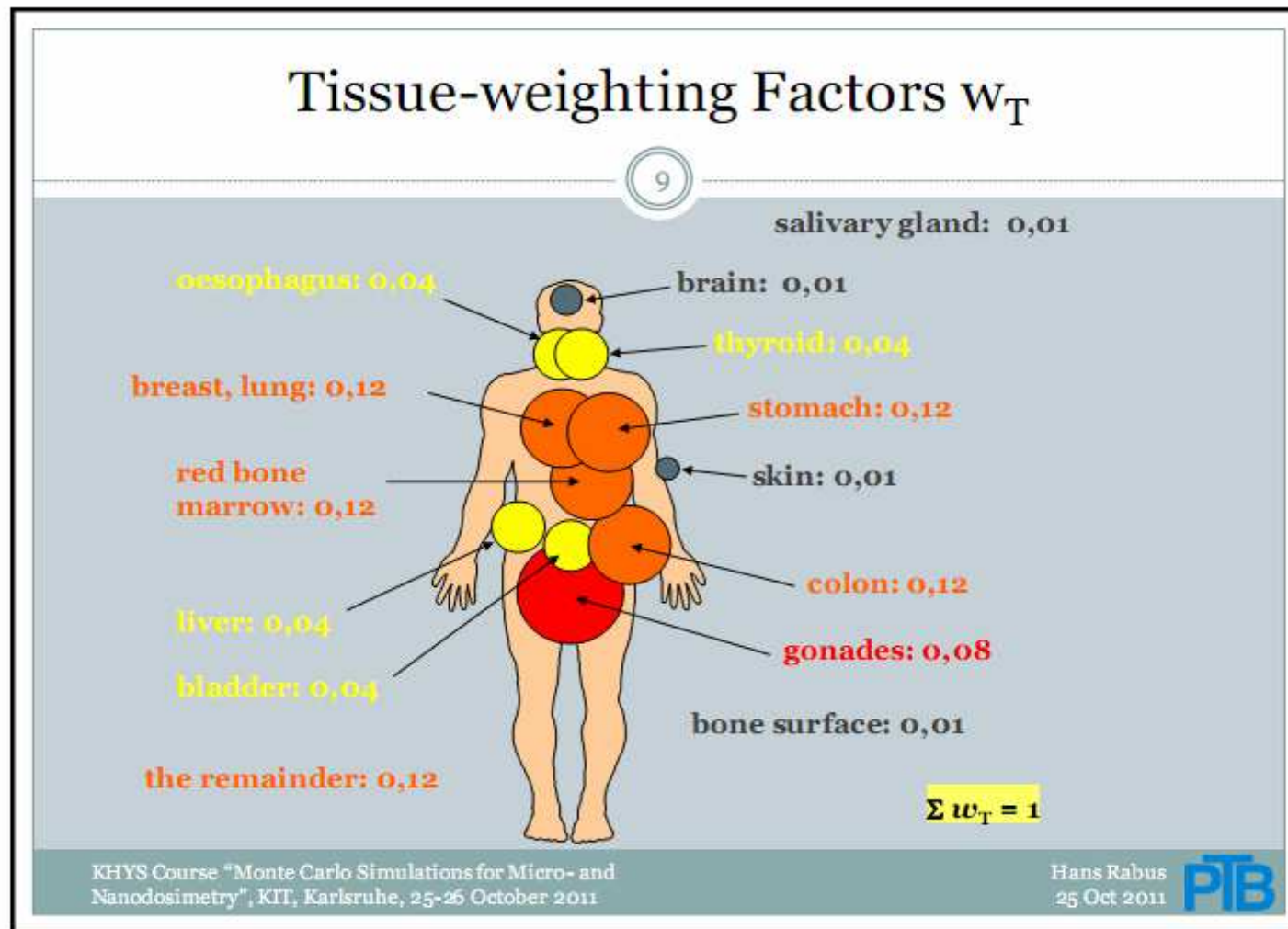
$$E = H \cdot w_T$$

Единица эффективной дозы - зиверт (Зв).

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы (w_T) - множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации:

Гонады	0,20
Костный мозг (красный)	0,12
Толстый кишечник	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01
Остальное	0,05

Введение в дозиметрию



Летальная доза

- Наиболее часто используют ЛД₅₀ - летальную дозу, облучение которой приводит к 50 % гибели биообъектов (Зиверт)
- | | |
|-----------|---------|
| Человек | 3-5 |
| Крыса | 7-9 |
| Птицы | 8-20 |
| Рыбы | 8-20 |
| Змеи | 80-200 |
| Насекомые | 10-100 |
| Растения | 10-1500 |
- **(Deinococcus radiodurans) Micrococcus radiodurens - Микрококк радиорезистентный** (бактерии которые обнаружили в канале ядерного реактора) - являясь одним из самых устойчивых к действию радиации организмов в мире. D. radiodurans способен выживать при дозе до **10000- 15000** Зв.
- Описан в 1960 г. под названием **Micrococcus radiodurans**, переведён во вновь созданный род **Deinococcus** в 1981 году. В настоящее время разрабатываются способы использования Deinococcus radiodurans в биоочистке радиоактивно неблагоприятных сточных вод.
- **Дейнококк** легко переносит высыхание и не погибает даже в вакууме. По - видимому, устойчивость микроба к радиации - это своеобразный побочный продукт приспособления к жизни в засушливых условиях (например, в пустыне).
- Самая большая неприятность, которая происходит с живой клеткой под воздействием радиации или высыхания, - это разрывы ДНК.

- **Радиобиологический парадокс**

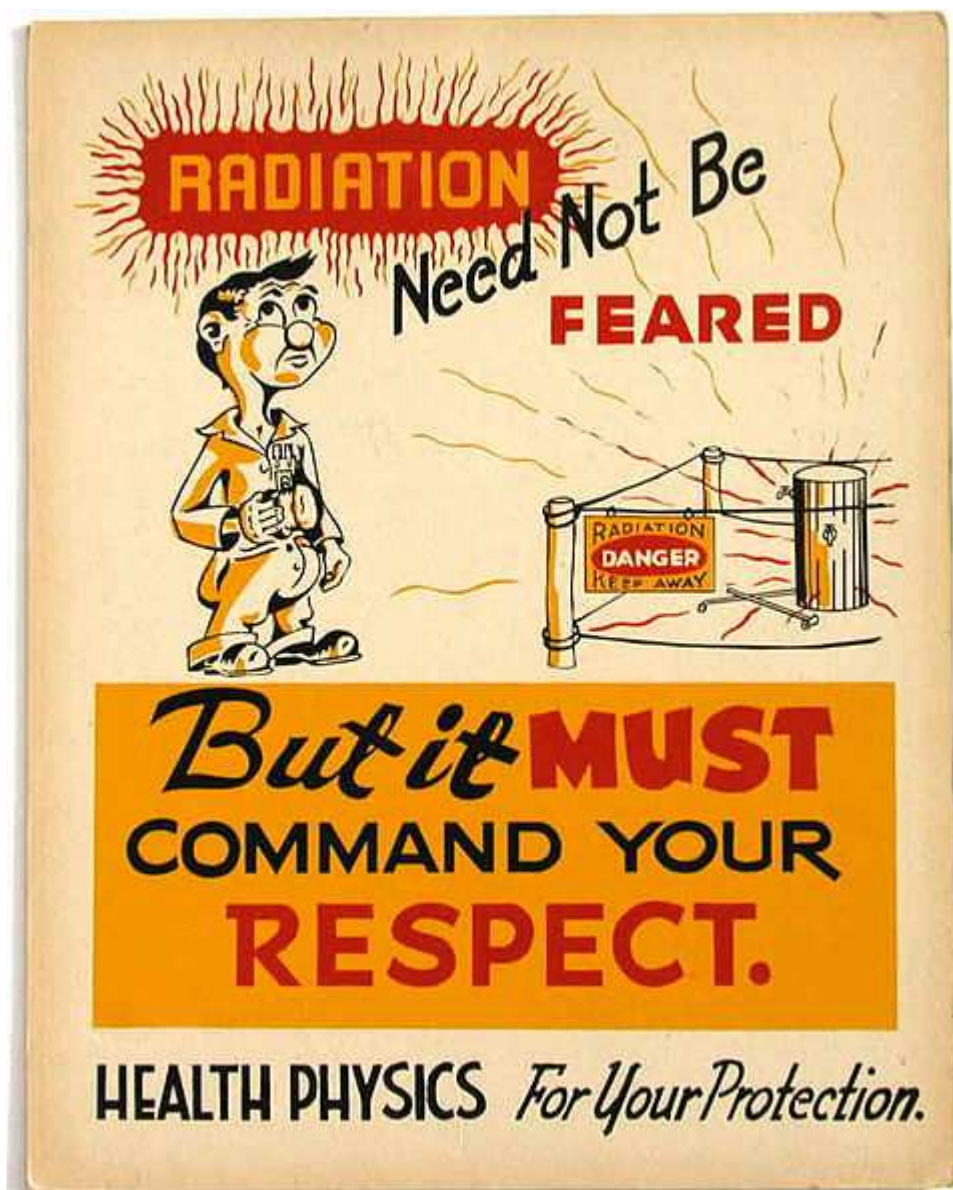
- Большое несоответствие между малой величиной поглощенной энергии и крайней степенью выраженностью реакции биологического объекта вплоть до летального эффекта

Н.В. Тимофеев-Ресовский

Пример:

- при облучении человека массой 70 кг абсолютно смертельной дозой 10 Гр поглощается всего 167 калорий, что при переводе в тепловую энергию будет соответствовать нагреванию организма человека на 0,001 С

- **Иммунологическая толерантность** — иммунологическое состояние организма, при котором он не способен синтезировать антитела в ответ на введение определённого антигена при сохранении иммунной реактивности к другим антигенам.



Плакат по радиационной безопасности 1947-го года.

Надпись гласит:

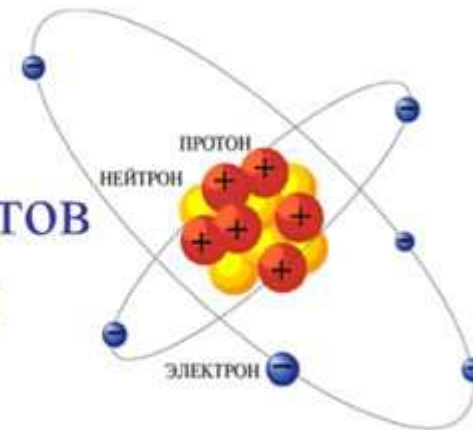
«Радиация не должна
вызывать ужас, но должна
внушать уважение»

Радиоактивность

- **Радиоактивный распад** (от лат. *radius* «луч» и *āctīvus* «действенный», через фр. *radioactif*, букв. — «радиоактивность») — спонтанное изменение состава (заряда Z , массового числа A) или внутреннего строения нестабильных атомных ядер путём испускания элементарных частиц, гамма-квантов и/или ядерных фрагментов.
- Процесс радиоактивного распада также называют радиоактивностью, а соответствующие нуклиды — радиоактивными (радионуклидами).
- Радиоактивными называют также вещества, содержащие радиоактивные ядра.
- **Естественная радиоактивность** — самопроизвольный распад атомных ядер, встречающихся в природе.
- **Искусственная радиоактивность** — самопроизвольный распад атомных ядер, полученных искусственным путём через соответствующие ядерные реакции.

Радиоактивность

- это способность ядер атомов различных химических элементов видоизменяться с испусканием атомных, субатомных частиц, гамма-квантов.



Основные характеристики радиоактивных превращений

- Активность – ожидаемое число dN спонтанных ядерных превращений, происходящих за промежуток времени dt .

$$A = \frac{dN}{dT} \quad A = A_0 e^{-\lambda t}$$

- Период полураспада - время, в течение которого количество радиоактивных атомов уменьшается в 2 раза.

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

- Проникающая способность излучения*

6.7.Измерение радиоактивности.

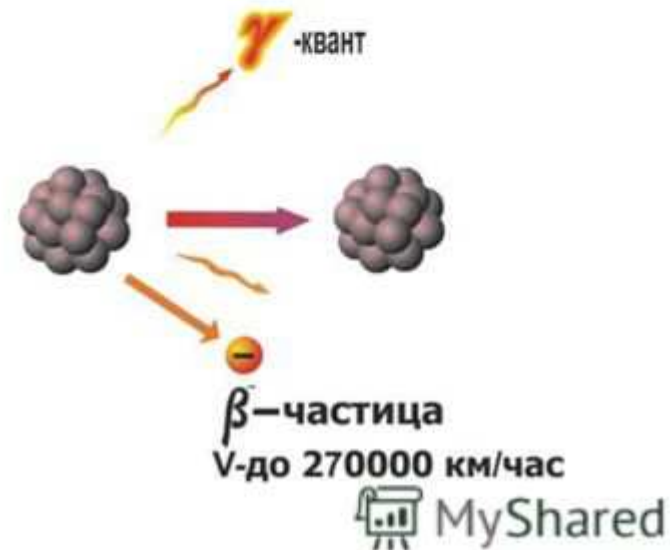
Единицы измерения радиоактивности.

1. Собственно радиоактивность (А).

Радиоактивное излучение возникает при распаде атомных ядер.

Радиоактивность — это количество ядерных распадов, происходящих в образце вещества за одну секунду. Измеряется в **беккерелях**:

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$$



6.7.Измерение радиоактивности.

Радиоактивность продуктов измеряется в беккерелях на килограмм (Бк/Кг).

Допустимая норма для продуктов питания – не более **200 Бк/Кг**.

Допустимая норма для стройматериалов – не более **4 кБк/Кг**.

Для собственно радиоактивных материалов применяется единица **1 Кюри** – это радиоактивность одного грамма радия.

$$1 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

Радиоактивное загрязнение местности измеряется в кюри на квадратный километр (Ки/Км²).

Местность считается загрязненной при величине более **1 Ки/Км²**.

Массовое число атомного ядра — суммарное количество протонов и нейтронов (называемых общим термином «нуклоны») в ядре - **A**. Массовое число близко к атомной массе изотопа, выраженной в атомных единицах массы, но совпадает с ней только для углерода-12, поскольку атомная единица массы (а. е. м.) определяется сейчас как 1/12 массы атома ^{12}C .

Атомная масса — масса атома - **M**. В качестве единицы измерения атомных и молекулярных масс принята 1/12 часть массы нейтрального атома наиболее распространённого изотопа углерода ^{12}C . Эта внесистемная единица измерения массы получила название атомная единица массы (а. е. м.) или дальтон (Да).

Дефект массы в случае атома — разность между массой покоя ядра данного изотопа, выраженной в атомных единицах массы, и массовым числом данного изотопа

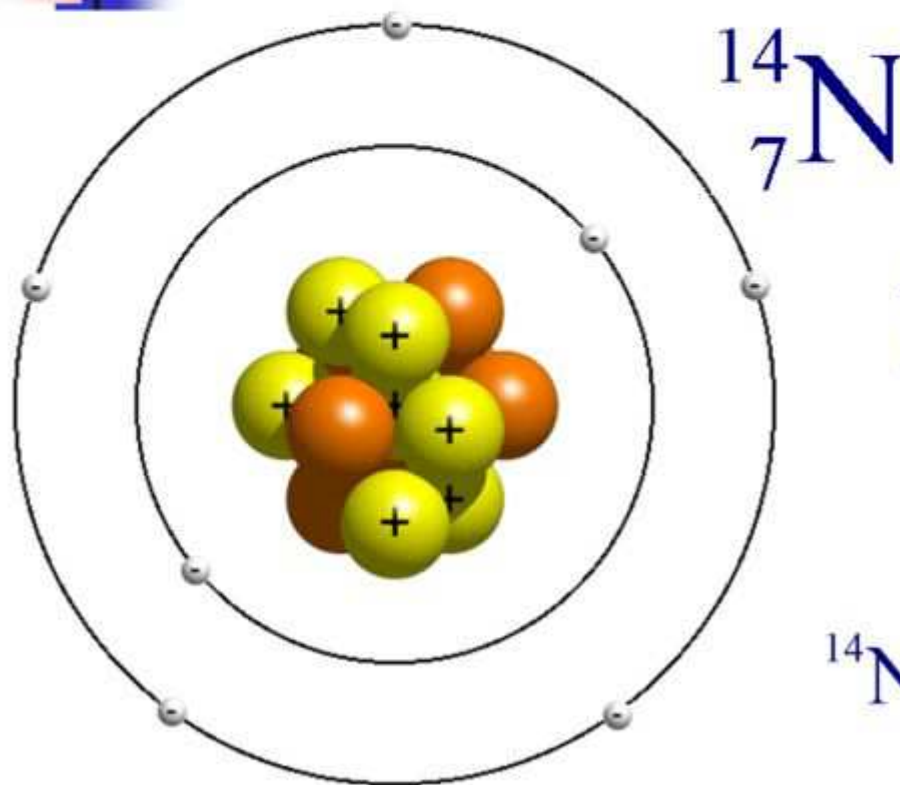
$$\Delta = M - A$$

Энергия связи. Масса ядра — это не просто сумма масс нуклонов. Энергия, которая удерживает вместе эти нуклоны, наблюдается как разница в массе ядра и массах составляющих его отдельных нуклонов.

$$E = (\sum M_i - M_N)c^2$$



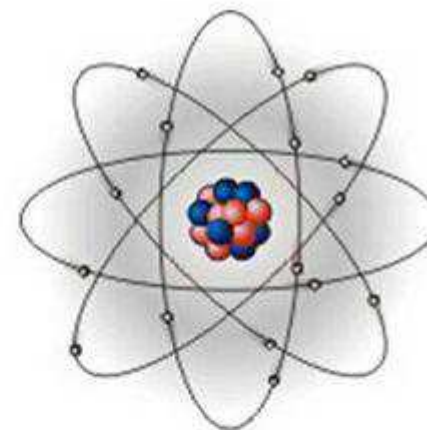
Атом. Химический элемент.



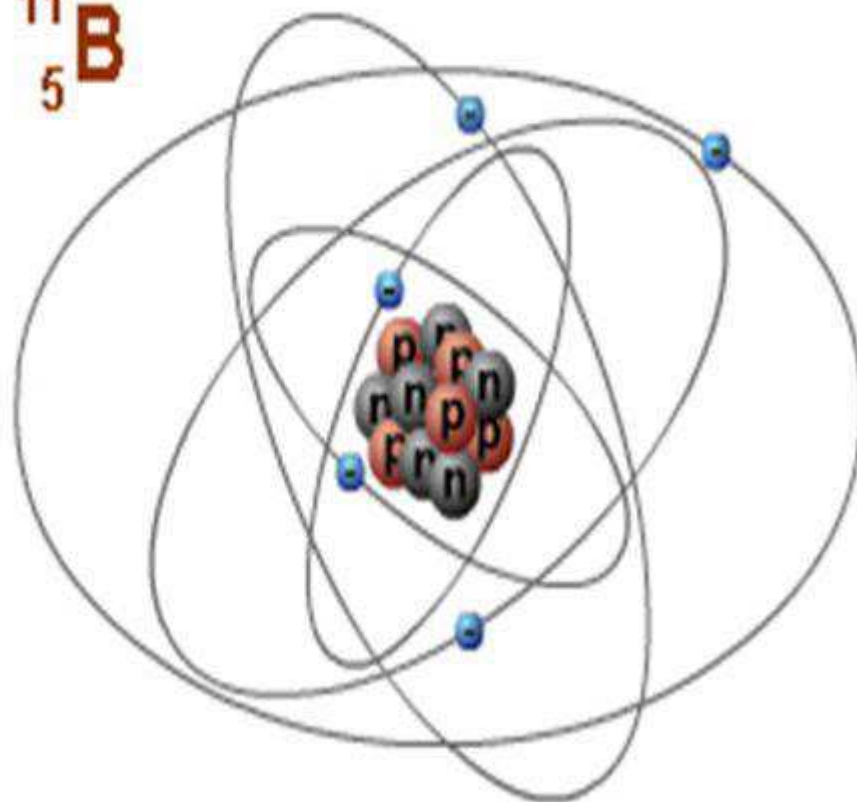
^A_ZX , где: X – обозначение
химического элемента
Z – заряд ядра
A – массовое число

^{14}N , N-14, азот-14

Число протонов – Z ,
число нейтронов – N ,
массовое число – A .
 $A = Z + N$

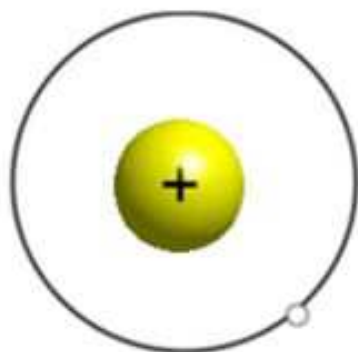


$^{11}_5\text{B}$



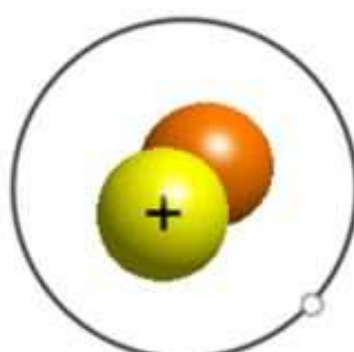


Изотопы



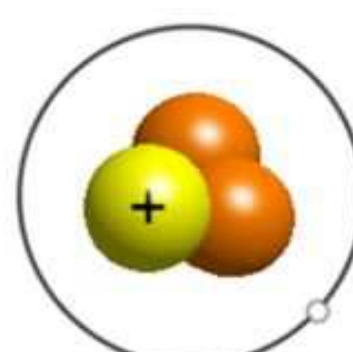
Водород - самый легкий из всех химических элементов: его ядро состоит только из одного протона.

${}^1\text{H}$



Ядро тяжелого водорода, дейтерия, состоит из одного протона и одного нейтрона. Этот изотоп водорода приблизительно вдвое тяжелее обычного атома водорода.

${}^2\text{H} (\text{D})$



Изотоп водорода, ядро которого состоит из протона и двух нейтронов, называется тритий.

${}^3\text{H} (\text{T})$

MyShared

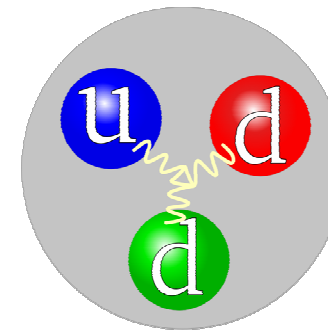
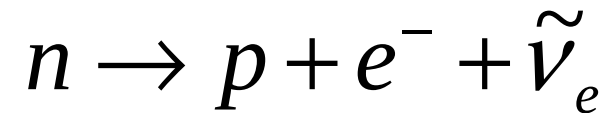
Стандартная модель элементарных частиц

Три поколения материи (Фермионы)			
	I	II	III
масса →	2,4 МэВ	1,27 ГэВ	171,2 ГэВ
заряд →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
спин →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
название →	верхний	очаровательный	истинный
Кварки	4,8 МэВ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d нижний	194 МэВ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s странный	4,2 ГэВ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b прелестный
	< 2,2 эВ 0 $\frac{1}{2}$ ν _e электронное нейтрино	< 0,17 МэВ 0 $\frac{1}{2}$ ν _μ мюонное нейтрино	< 15,5 МэВ 0 $\frac{1}{2}$ ν _τ тау нейтрино
	0,511 МэВ -1 $\frac{1}{2}$ e электрон	105,7 МэВ -1 $\frac{1}{2}$ μ мюон	1,777 ГэВ -1 $\frac{1}{2}$ τ тау
Лептоны			
Бозоны (переносчики взаимодействия)			
			0 0 1 γ фотон
			0 0 1 g глюон
			91,2 ГэВ 0 0 1 Z ⁰ слабое взаимодействие
			80,4 ГэВ ±1 1 W [±] слабое взаимодействие

- Взаимодействия
- электромагнитное,
- слабое
- сильное
- гравитационное

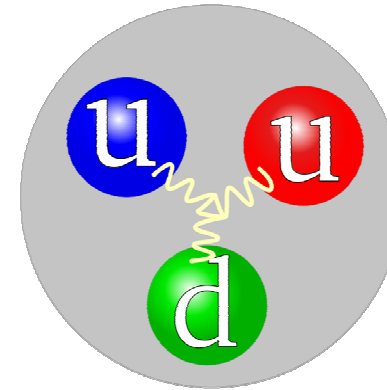
Свободный нейтрон — нейтрон, существующий вне атомного ядра.

- Свободный нейтрон бета-радиоактивен с периодом полураспада около **10 минут (611 секунд)**, что соответствует характерному времени жизни около 15 минут (**880.1 ± 1.1 секунд**).
- Однако, попав в вещество, свободные нейтроны охотно поглощаются ядрами атомов. Скорость поглощения зависит от энергии (скорости движения) нейтрона и сечения захвата, специфичного для каждого изотопа, поглощающего нейтроны.
- Так, тепловые нейтроны, имеющие среднюю скорость 2200 м/с (температура около 300 К), в воде захватываются протонами в среднем через 230 мкс.
- Свободные нейтроны очень низких энергий (так называемые «ультрахолодные нейтроны») можно хранить в специальных сосудах в вакууме до их естественного распада, поскольку они испытывают полное внутреннее отражение от стенок сосуда.



Свободный протон стабилен

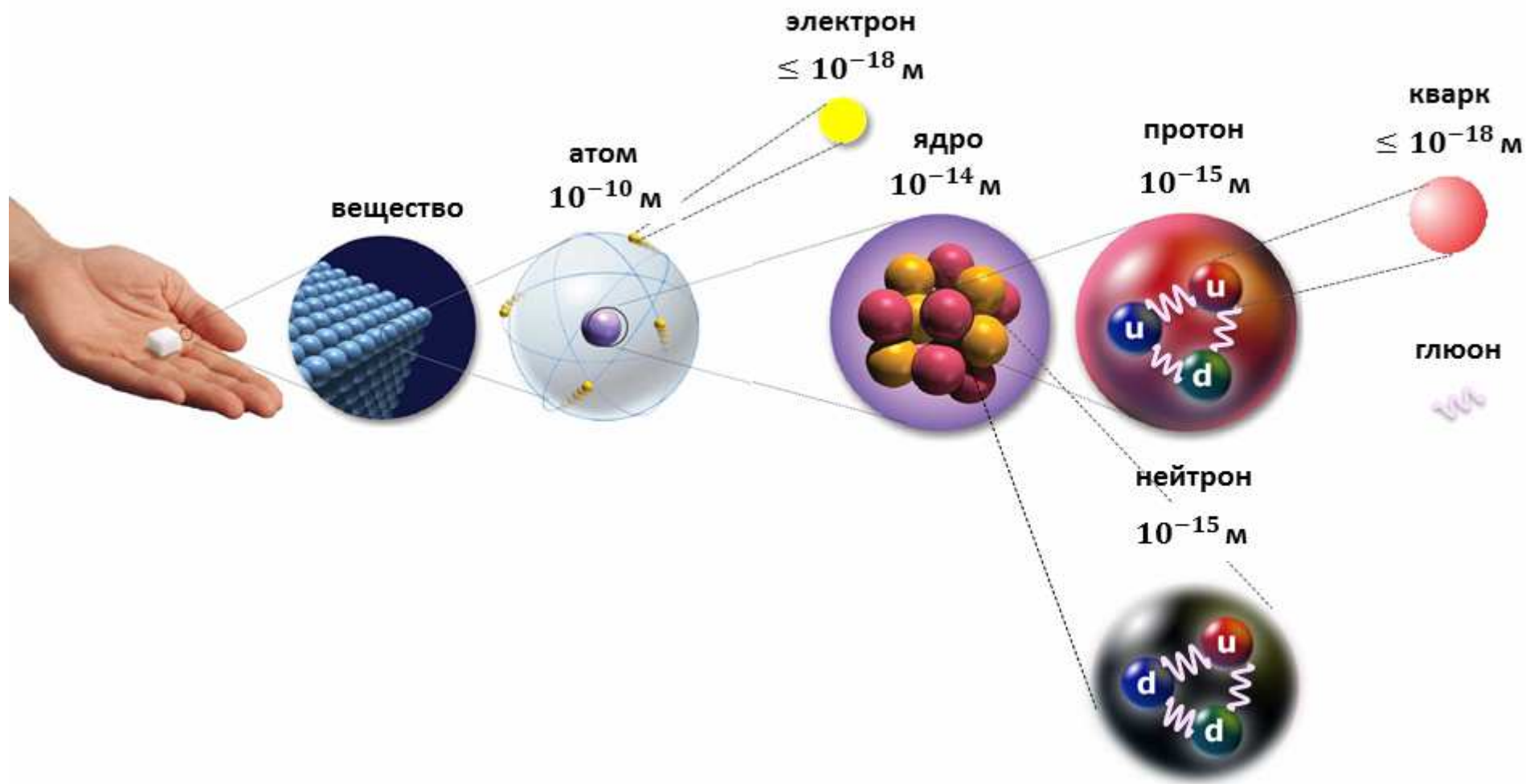
- Свободный протон стабилен, экспериментальные исследования не выявили никаких признаков его распада (нижнее ограничение на время жизни — $2,9 \cdot 10^{29}$ лет независимо от канала распада, $1,6 \cdot 10^{34}$ лет для распада в позитрон и нейтральный пион, $7,7 \cdot 10^{33}$ лет для распада в положительный мюон и нейтральный пион).
- Поскольку протон является наиболее лёгким из барионов, стабильность протона является следствием закона сохранения барионного числа — протон не может распасться в какие-либо более лёгкие частицы (например, в позитрон и нейтрино) без нарушения этого закона.



Возраст Вселенной
составляет $13,799 \pm 0,021$
миллиарда лет

Возраст Земли составляет
4,54 миллиарда
лет ($4,54 \cdot 10^9$ лет $\pm 1\%$)

Схема внутреннего строения вещества - Размеры

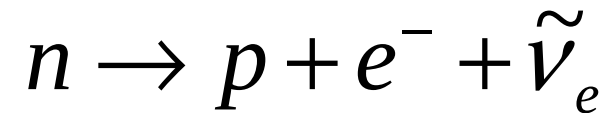


Неустойчивость ядра

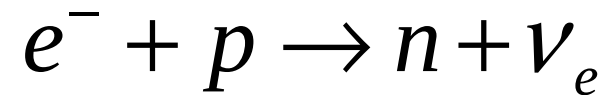
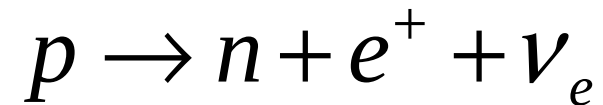
- Неустойчивость ядра связана с двумя основными причинами
- Избыток или недостаток нейтронов по сравнению со стабильными ядрами приводит к преобразованию нейтрона в протон или протона в нейтрон за счет **слабого взаимодействия** – **нейтроноизбыточные ядра** и **нейтронодефицитные ядра**
- У больших ядер **кулоновское отталкивание** протонов уже не может быть удержано сильным взаимодействием между нуклонами (не существует стабильных ядер с зарядом больше 83 и массовым числом 209 - Bi)
- Кроме того:
 - Протонная эмиссия, двойной протонный распад
 - Нейтронная эмиссия, двойной протонный распад
 - Изомеры

Неустойчивость ядер - Слабое взаимодействие

нейтроноизбыточные ядра – испытывают β^- распад



- нейтронодефицитные ядра – испытывают
- β^+ распад или
- электронный захват (K-захват)



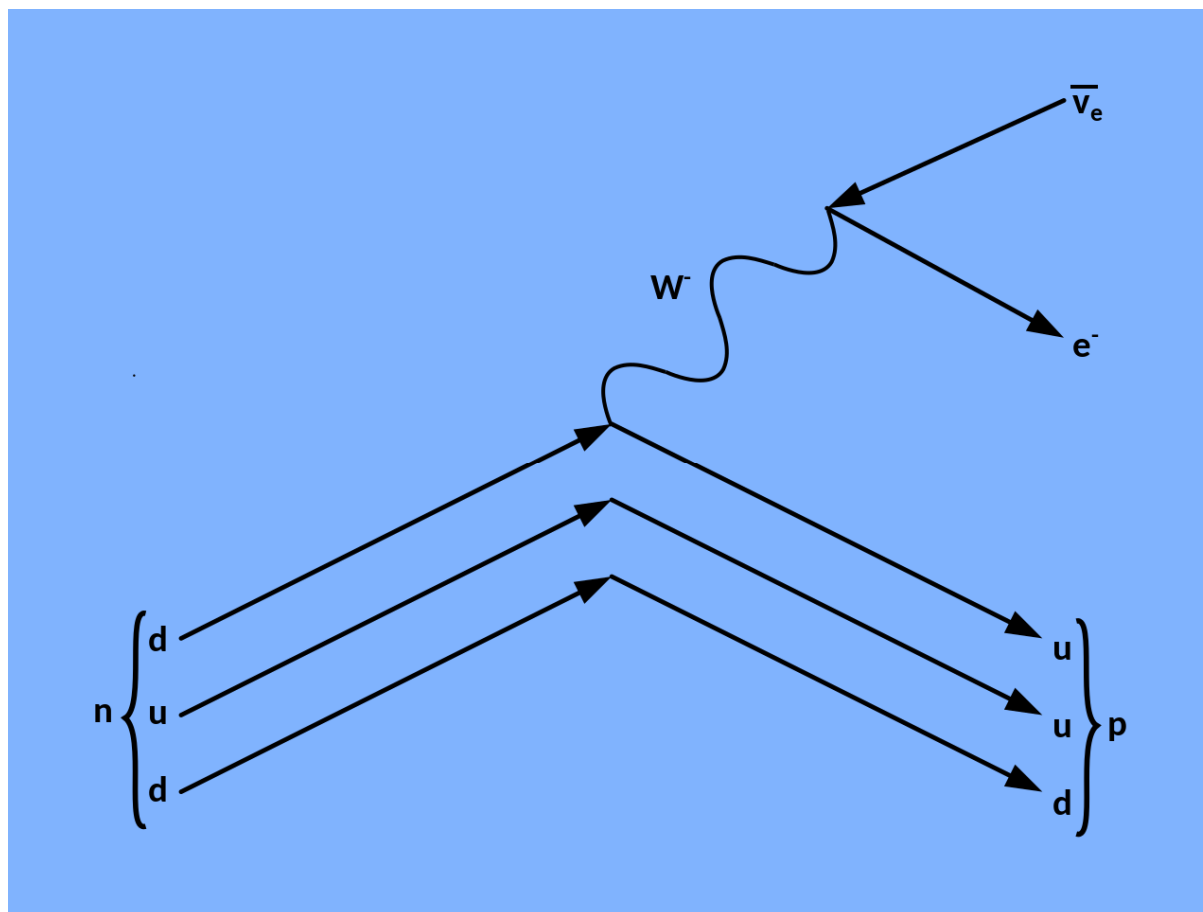
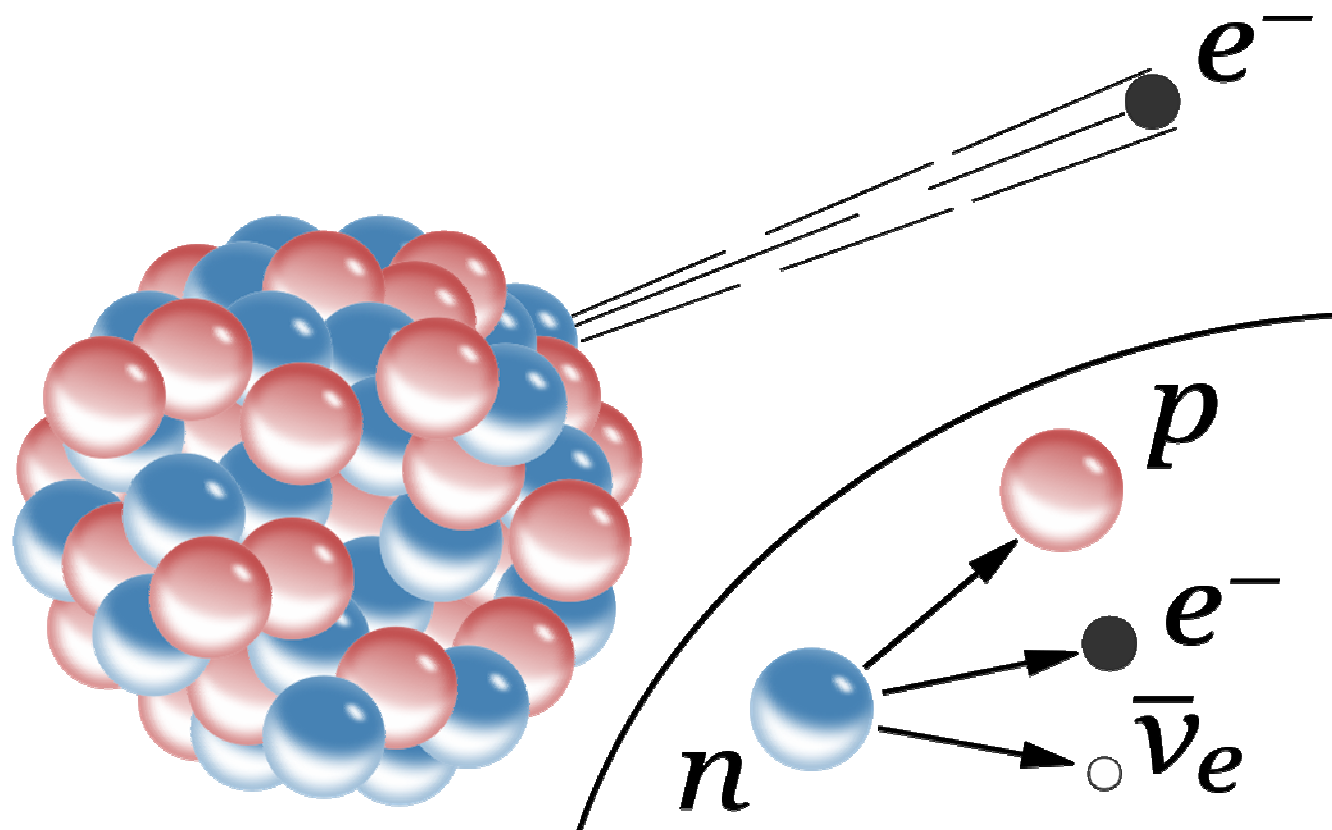
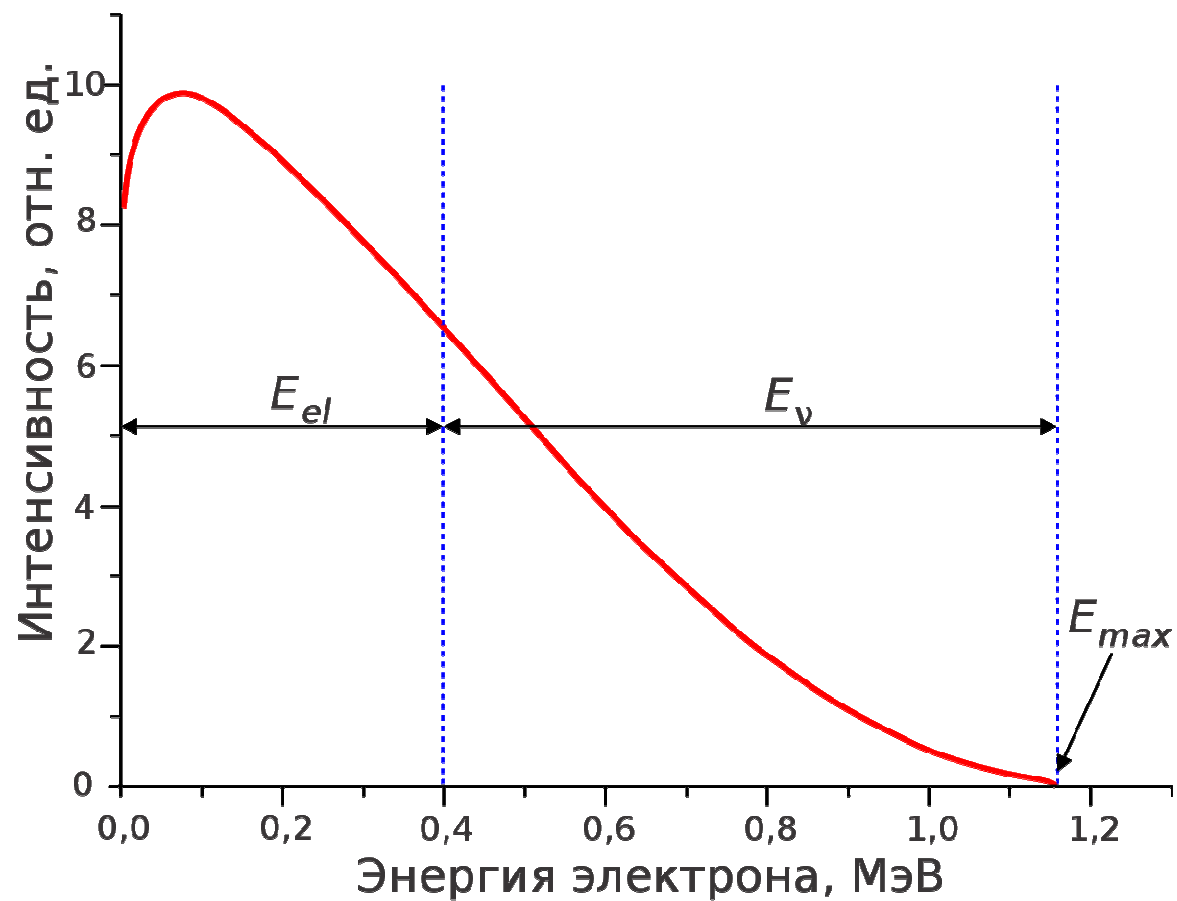


Диаграмма Фейнмана для бета-распада нейтрона на протон, электрон и электронное антинейтрино при участии тяжёлого W -бозона



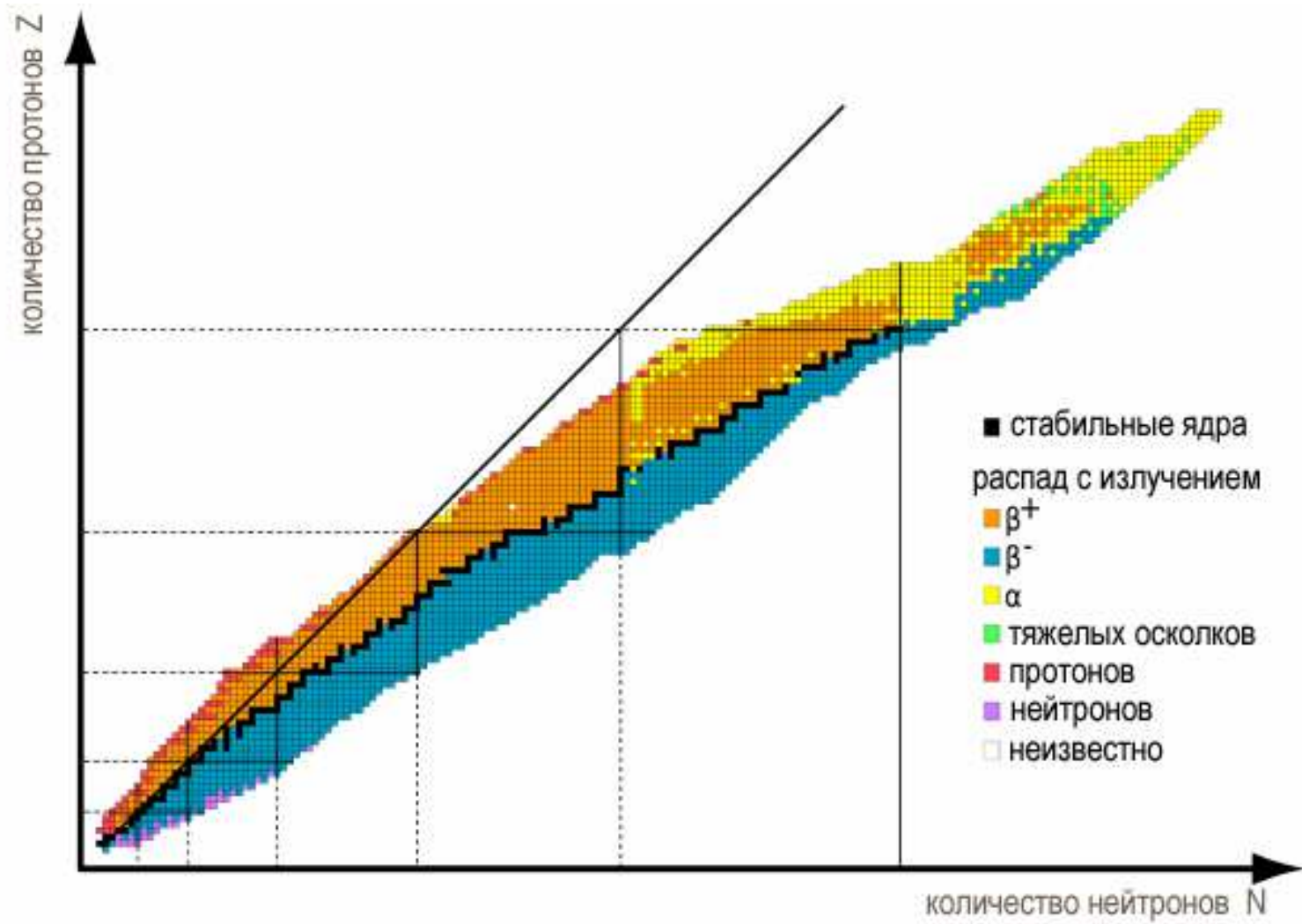
Бета-минус-распад атомного ядра

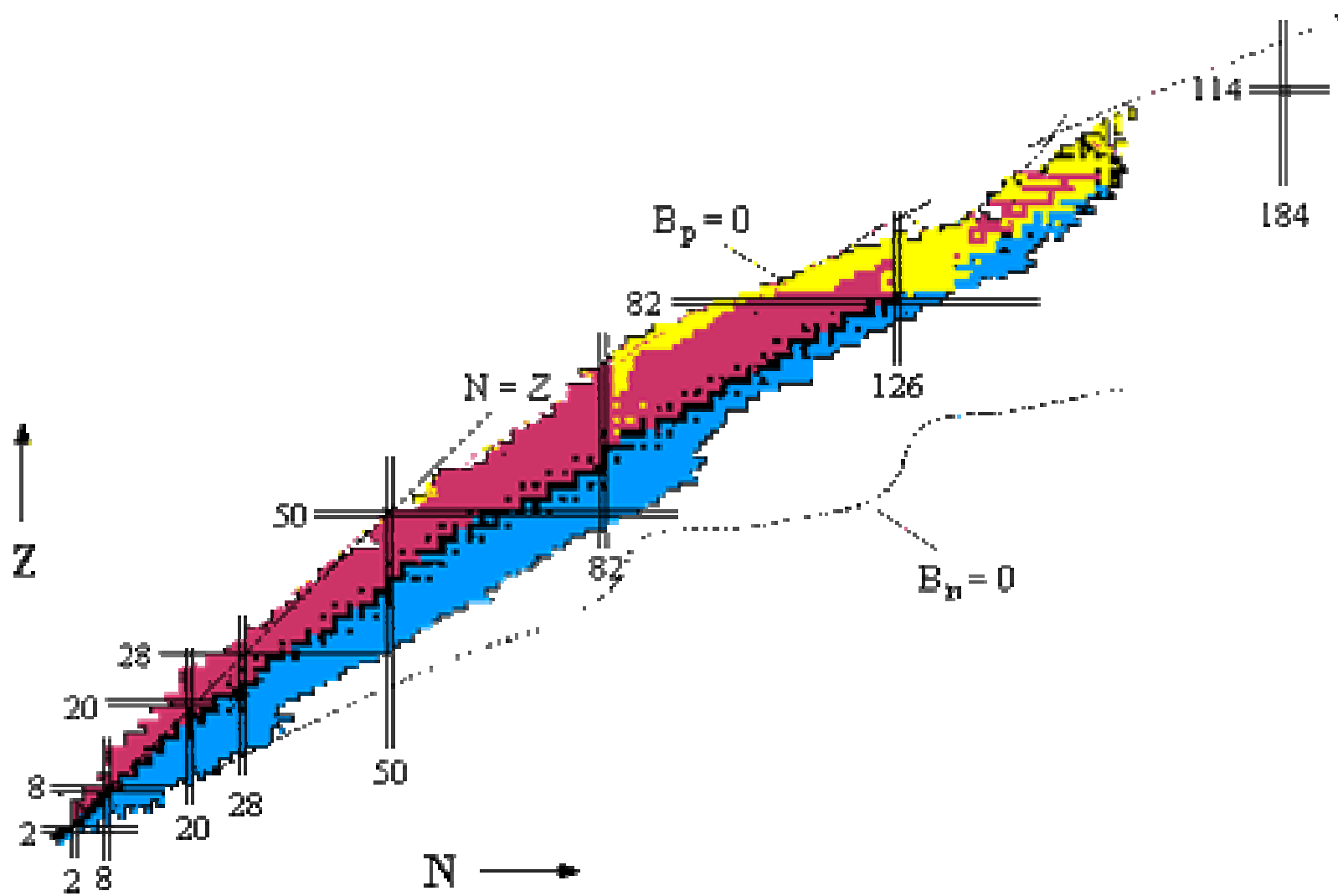


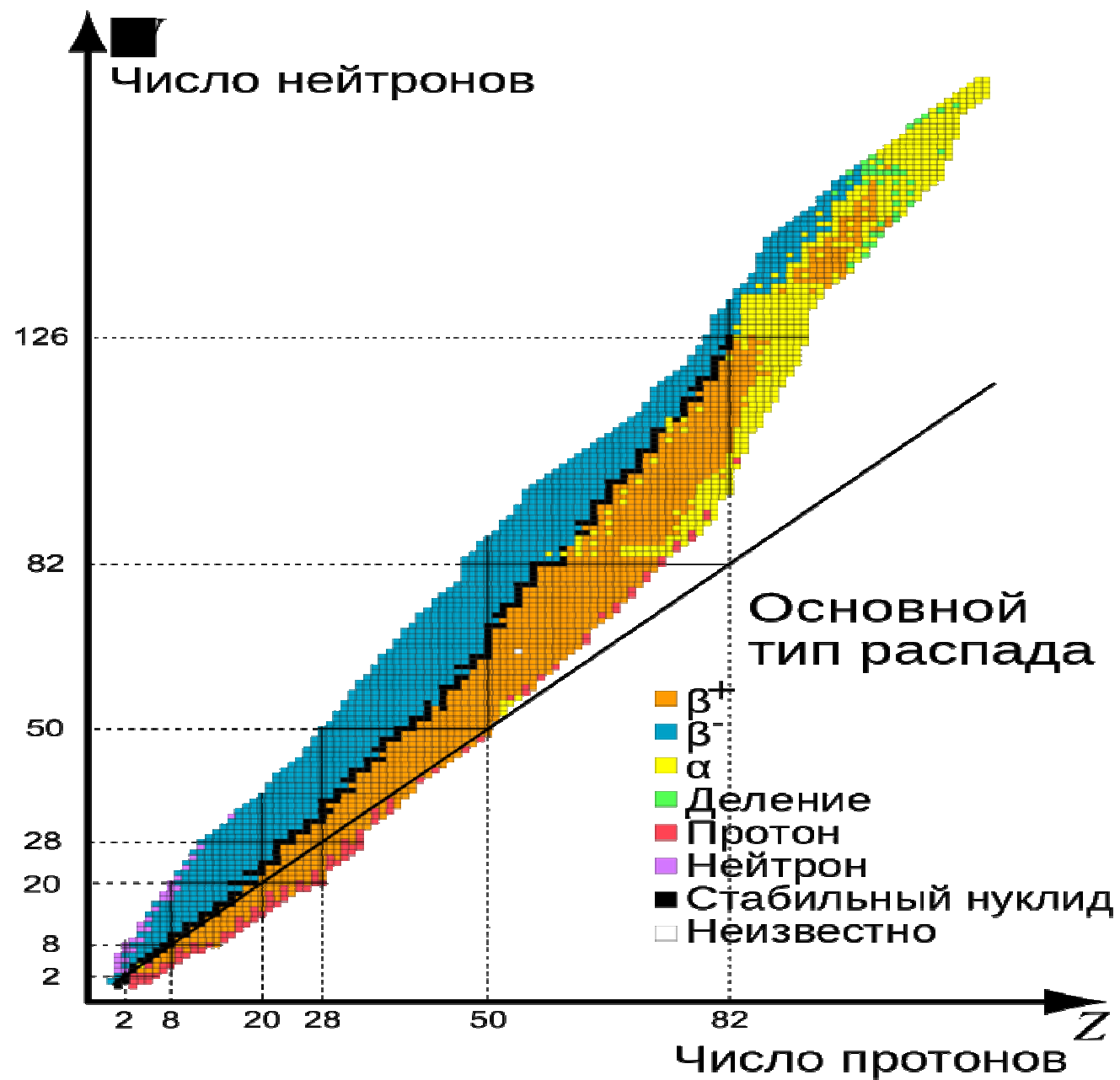
Типичный энергетический спектр электронов при бета-распаде.
Энергия распада делится между электроном и нейтрино.
Спектр ограничен сверху максимальной энергией — энергией распада.

Неустойчивость вследствие кулоновское отталкивание протонов

- Альфа распад α От ядра отделяется α -частица - ядро атома гелия-4.
- Кластерный распад KL Отделяется кластер - ядро тяжелее He, но намного легче дочернего ядра.
- Спонтанное деление SF Ядро делятся примерно пополам. Характерно для тяжёлых ядер (трансурановых)
- Протонная эмиссия p
- Двойной протонный распад $2p$



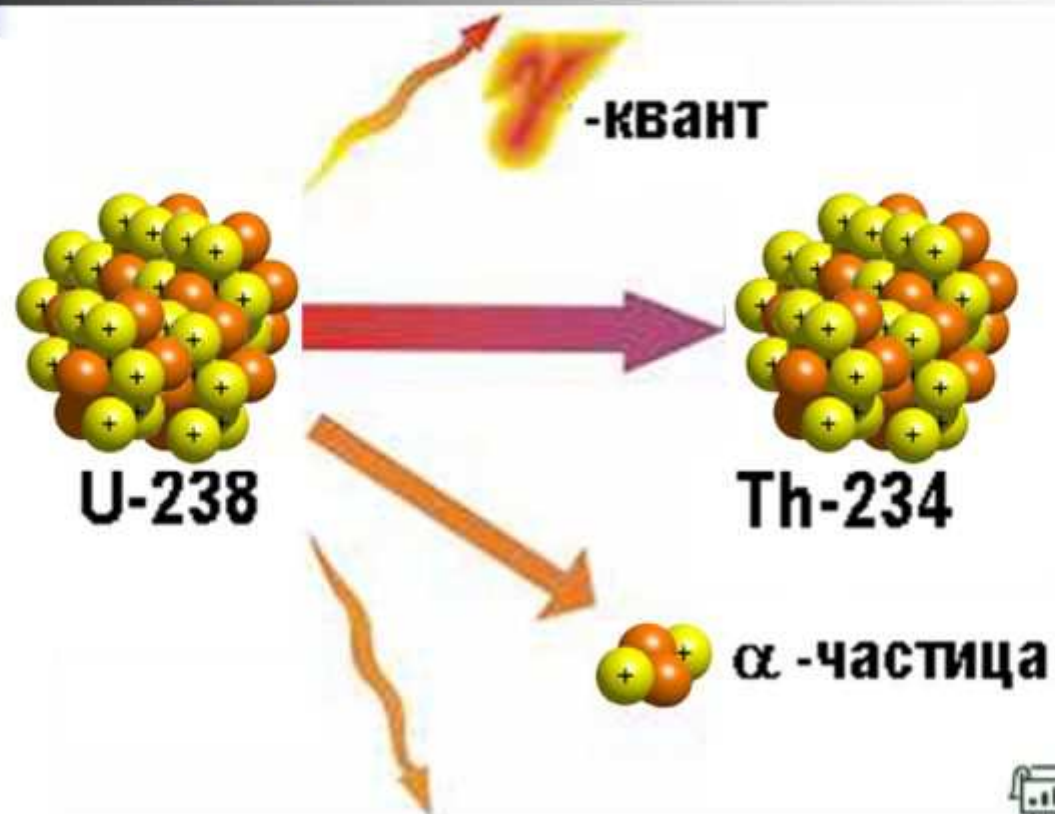




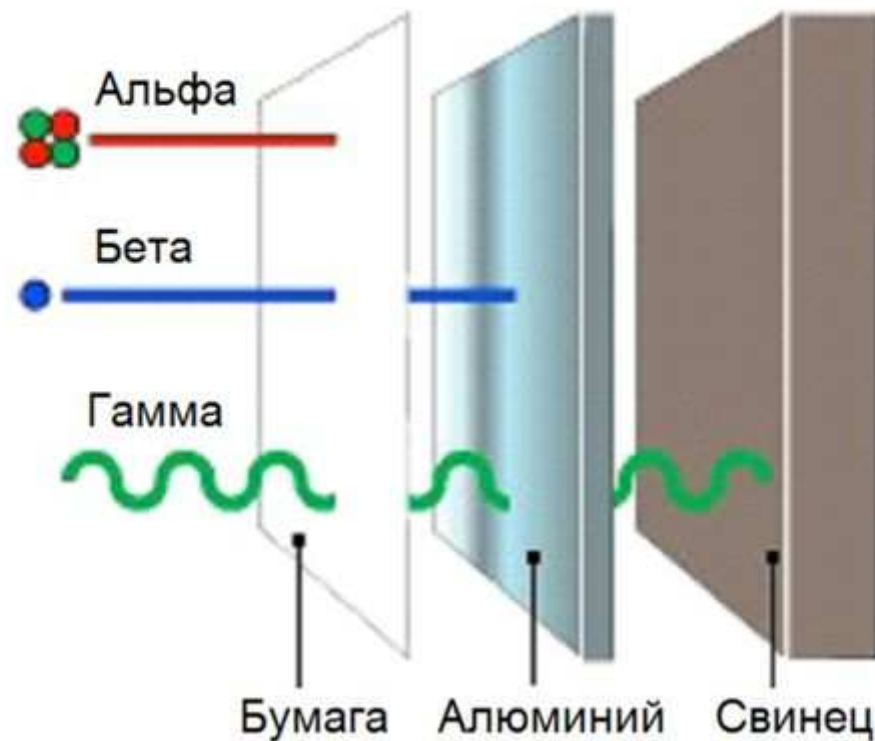
История открытия различных видов радиоактивности

Тип радиоактивности и ядер	Вид обнаруженного излучения	Год открытия	Авторы открытия
Радиоактивность атомных ядер	Излучение	1896	А. Беккерель
Альфа-распад	α (${}^4\text{He}$)	1898	Э. Резерфорд
Бета-распад	e	1898	Э. Резерфорд
Гамма-излучение при распаде	γ -квант	1900	П. Виллард
Спонтанное деление ядер	Два осколка	1940	Г.Н. Флеров, К.А. Петржак
Протонный распад	p	1982	З. Хофманидр.
Кластерный распад	${}^{14}\text{C}$	1984	Х. Роуз, Г. Джонс; Д.В. Александров и др.

Альфа-распад



Проникающая способность радиоактивного излучения



Радиационный фон

- 1. Естественный радиационный фон
- 2. Техногенный радиационный фон
- 3. Искусственный радиационный фон
- 4. Медицина
- 5. Радиация в быту

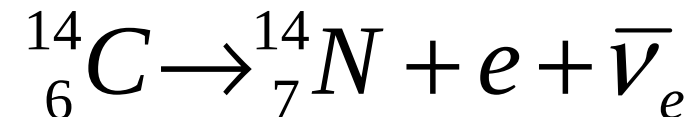
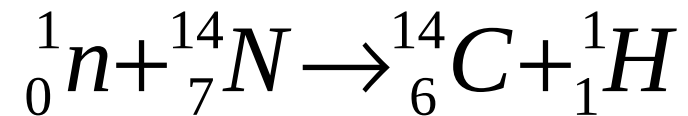
Основные составляющие естественного радиационного фона

Источник облучения; мкЗв/чел:	Годовая эквивалентная доза облучения		
	внешнего	внутреннего	всего
Космические лучи:			
Ионизирующие частицы;	300		300
Нейтроны	55		55
Космогенные радионуклиды		15	15
^{14}C		12	12
^7Be		3	3
^3H		0.01	0.01
^{22}Na		0.2	0.2
Земные радионуклиды:			
^{40}K	150	180	330
^{87}Rb		6	6
Уран-радиевый ряд* (U238)			
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U}$		5	5
распад ^{230}Th		7	7
распад ^{226}Ra	100	7	107
$^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{214}\text{Po}$		1100	1100
$^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Po}$		120	120
Ториевый ряд (Th232)			
распад ^{232}Th		3	3
$^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$	160	13	173
$^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$		160	160
Всего	800	1600	2400

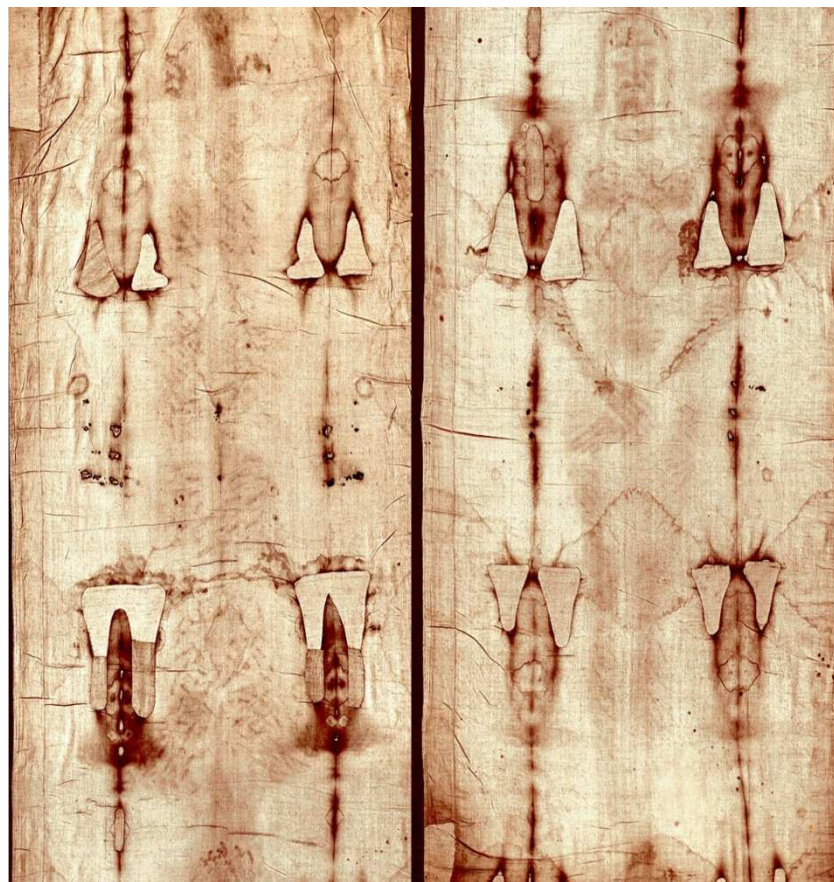
*В радиоактивных рядах указаны этапы распадов, вносящих основные вклады в формирование доз.
В суммарных дозах учтены вклады от остальных радионуклидов, не указанных в таблице.

C14

- **Углерод-14** образуется в верхних слоях тропосферы и стратосферы в результате поглощения атомами азота-14 тепловых нейтронов, которые в свою очередь являются результатом взаимодействия космических лучей и вещества атмосферы.
- Период его полураспада, составляющий **5730±30 лет**. Это позволило использовать данный изотоп для установления возраста радиоактивным путём в геологии при датировании биоматериалов возраста до **50 000 лет**.
- Углерод-14 образуется в атмосфере из азота-14 под воздействием космических лучей. Относительное содержание углерода-14 по отношению к «обычному» (углероду-12) в атмосфере остается примерно постоянным (приблизительно **1:10¹²**)
- Углерод-14 претерпевает β–распад, в результате распада образуется стабильный нуклид ¹⁴N

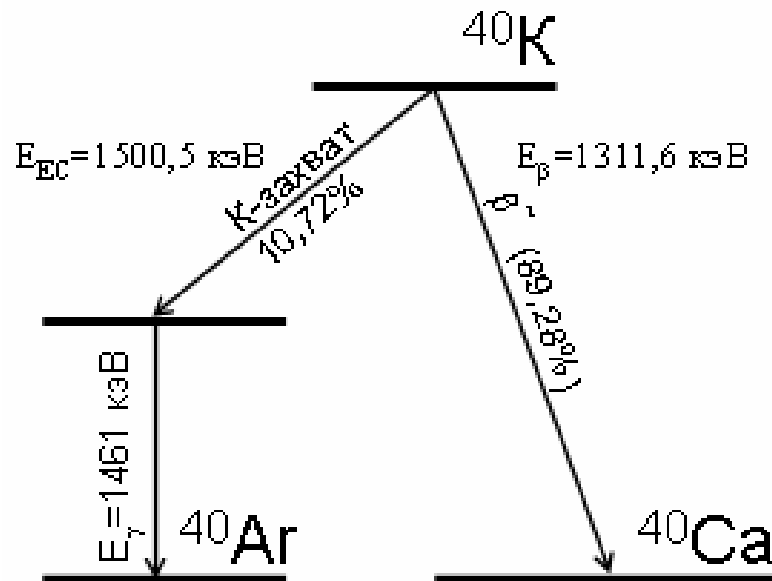


Туринская плащаница (итал. Sindone di Torino) — христианская реликвия, четырёхметровое льняное полотно, в которое, по преданию, Иосиф из Аримафеи завернул тело Иисуса Христа после его крестных страданий и смерти (Мф. 27:59-60). В настоящее время хранится в соборе Святого Иоанна Крестителя в Турине.



В 1988 году было проведено датирование методом радиоуглеродного анализа. Образец был разделён на три части и исследован в лабораториях Аризонского университета (США), Оксфордского университета (Великобритания) и Федерального политехнического института в Цюрихе (Швейцария). Датировки в этих трёх лабораториях проводились «слепым» методом и независимо друг от друга и дали практически один и тот же результат (с учётом небольшой погрешности). Специалисты лабораторий пришли к выводу о радиоуглеродном возрасте плащаницы в 691 ± 31 год, что после калибровки с 95%-ной вероятностью указывает на дату изготовления между **1275 и 1381 гг.**

Калий-40 (лат. Kalium-40) — радиоактивный изотоп химического элемента калия с атомным номером 19 и массовым числом 40. Изотопная распространённость калия-40 в природе составляет 0,0117(1) %. Период полураспада **$1.251 \cdot 10^9$** лет.



Калий очень важен для мягких тканей (сосуды, капилляры, мышцы). Совместно с натрием калий регулирует работу сердечной мышцы.

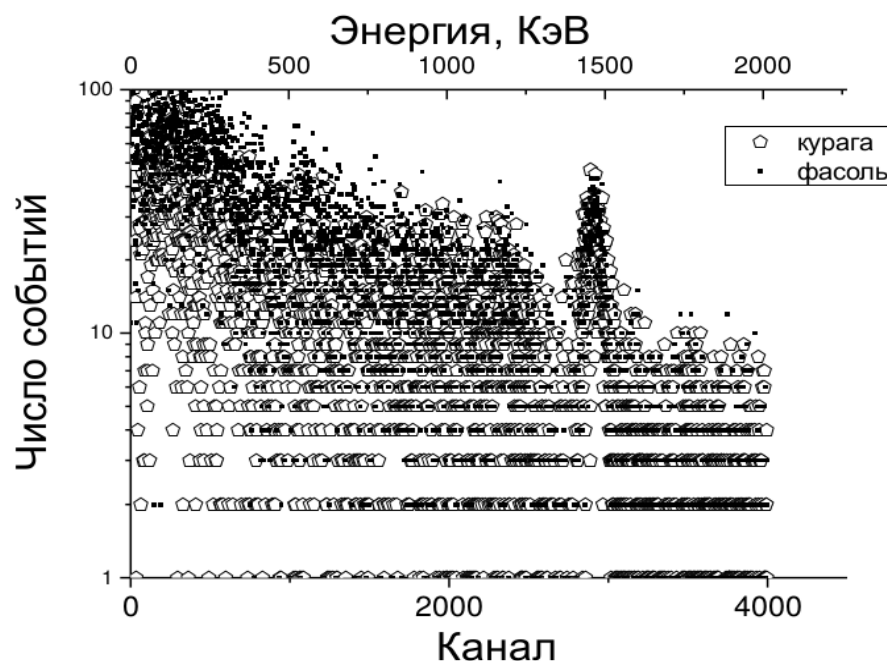
Радиоактивность бананов неоднократно вызывала ложные срабатывания детекторов ионизирующей радиации, используемых для предотвращения незаконного ввоза радиоактивных материалов в США

Некоторые продукты имеют природный уровень радиации выше среднего. Среди них картофель, бобы, орехи и семечки подсолнечника. (**450 Бк/кг и выше**)

Общее содержание калия в организме человека оценивается в 2,5 грамма на килограмм массы тела или 175 г в 70 кг человеке. Такие количества калия имеют активность порядка **4-5 тысяч Бк** (ещё около **3 тысяч Бк** — от изотопа углерода-14)

Применение сцинтилляторов.

Радиоэкология и безопасность



Собственная радиоактивность человека



Собственная радиоактивность кураги
фасоли

Доля калия-40 в природе составляет
0,0117%, $E=1,46$ МэВ

(период полураспада $1,248 \cdot 10^9$ лет)

В грамме природного калия происходит в
среднем 32 распада калия-40 в секунду.



**Комплекс спектрометров излучений
человека СИЧ-Э — единственный в
Европе. Стальная
комната весит 90 тонн.**



**Сцинтилляционные спектрометры
излучения человека**

- **Радон** — это радиоактивный инертный газ, в семь раз тяжелее воздуха. Не имеет стабильных изотопов, самый долгоживущий из них, [\$^{222}\text{Rn}\$](#) , имеет период полураспада чуть меньше четырех суток. Природные запасы распадающегося радона непрерывно пополняются благодаря α -распаду радия в земной коре.

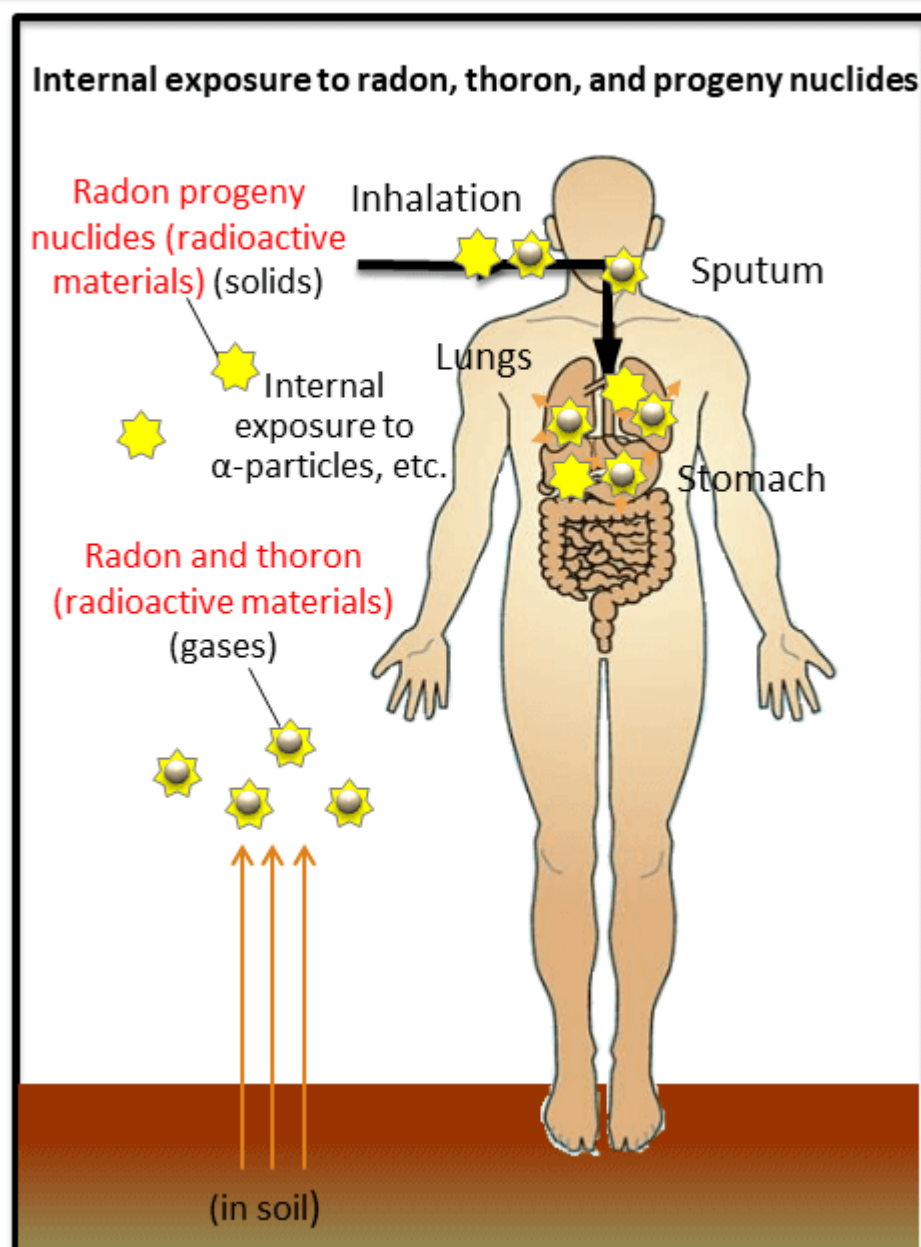
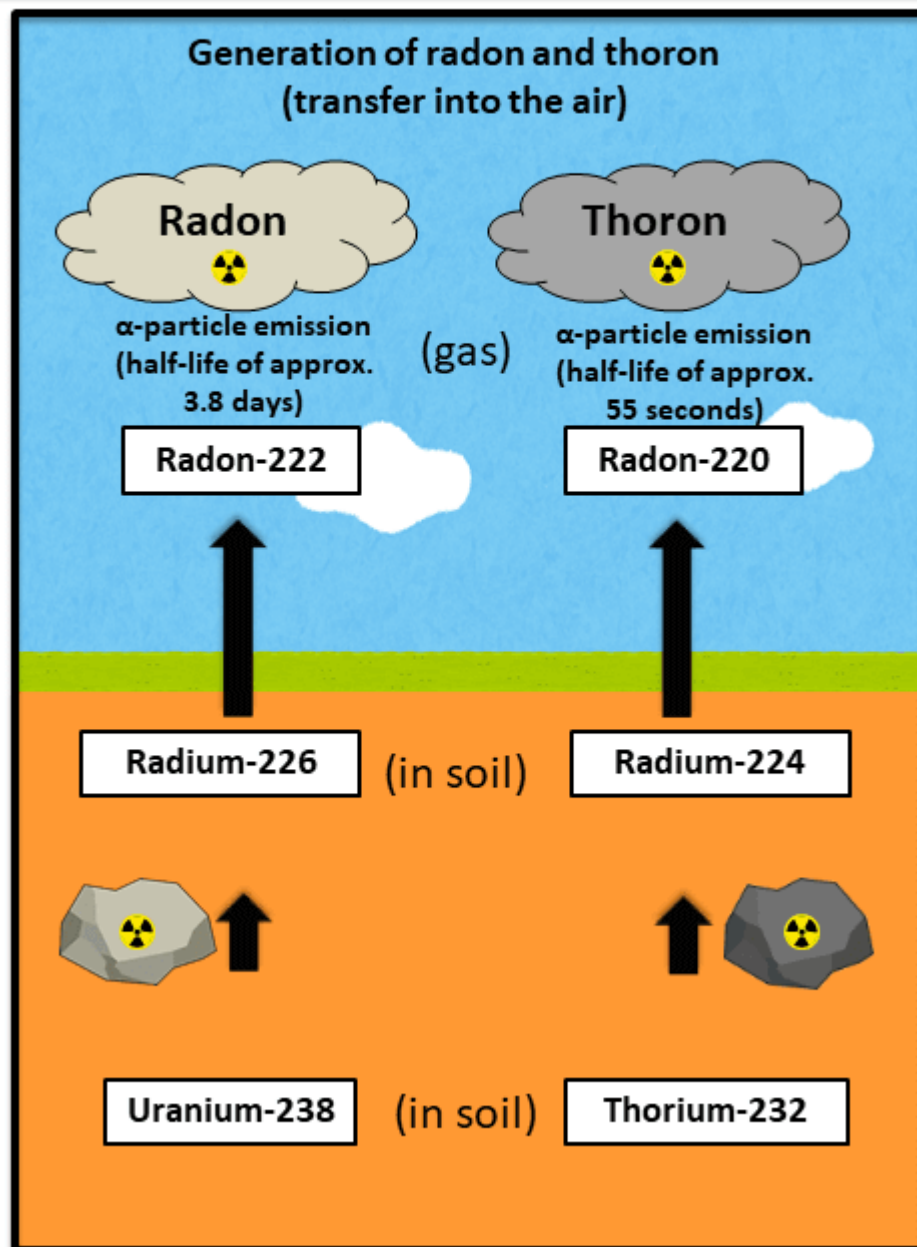


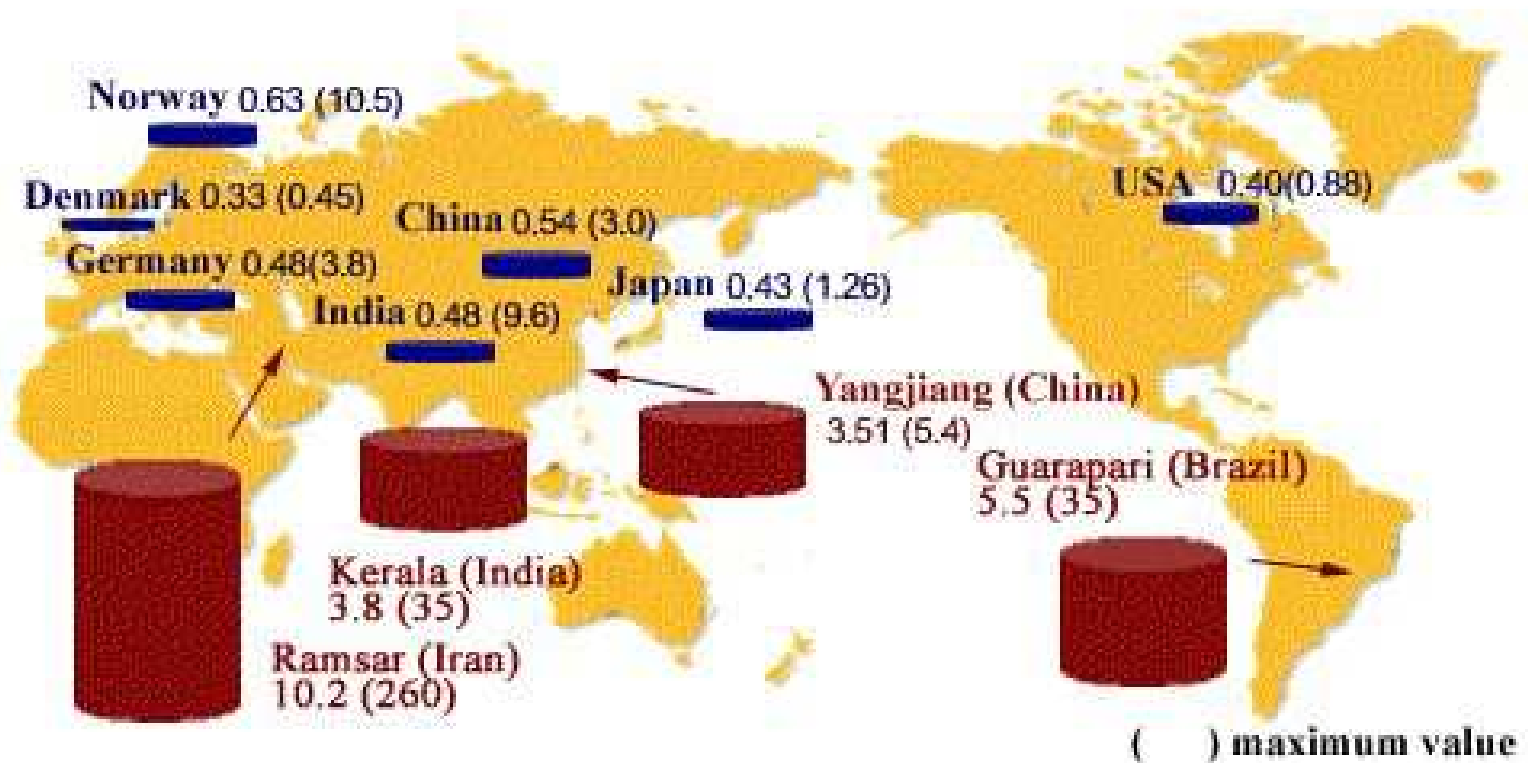
- Из-за своей инертности, атомы радона легко покидают кристаллическую решетку минерала в котором они образовались. Через трещины и поры, газ поднимается к поверхности и попадает в атмосферу, где и рассеивается, не причиняя особого вреда. Другое дело если радон выходит не на открытое пространство, а в замкнутый объем подвала здания. Если подвал не проветривается, радон будет накапливаться. Счетчик Гейгера-Мюллера не может непосредственно засечь радон так как этот газ подвержен α -распаду:



Возникающее в этом распаде ядро полония ^{218}Po также распадается с излучением α -частицы: $^{218}\text{Po} \rightarrow ^{214}\text{Pb} + ^4\text{He}$. Зато ядра свинца ^{214}Pb перегружены нейтронами и распадаются испуская β -излучение которое «видит» счетчик Гейгера-Мюллера. Есть и другие продукты распада (изотопы полония, висмута, свинца и др.) излучающие не только в α но и β -частицы.

Internal Exposure to Radon and Thoron through Inhalation





Средняя величина () максимальная величина, мЗв/год

Дозы радиации, получаемой населением на открытом воздухе в различных странах и районах Земли

Страна	Максимальная мощность дозы, мкЗв/ч	Максимальная доза. мЗв/год
Индия	0,038	9,6
Япония	0,042	1,26
США	0,046	0,88
Австрия	0,050	
Польша	0,058	
Италия	0,078	
Швейцария	0,080	
Германия	0,090	3,8
Иран, Рамсар, Iran, Ramsar	140	260
Индия (шт. Керала, 70 тыс. населения)	1,40	70
Бразилия (г. Гуарапари, пляж, 30 тыс. посетителей ежегодно)	20	35 (800)
Бразилия (г. Гуарапари, город, 13 тыс. населения)	1,70	5,5

Естественный радиационный фон | Рамсар (Ramsar), Иран



В этой части Ирана наблюдается один из самых высоких уровней естественного радиационного фона на Земле. Уровни радиации в Рамсаре достигают 250 миллизивертов в год

Guarapari Beach, Brazil (Гуарапари)

Atlantic coasts of Brazil are covered by the sand with radioactivity which came back with the wave from the sea. The radioactivity was originated from the mountains rich in zirconites and monazites along the coast.

Radioactive beach sands eroded from surrounding mountains.

800 mSv · a⁻¹



Many people visit the beach with black sands, which are radioactive, for sea swimming and treatment of rheumatoid. The city has developed as a number one resort in Brazil with a population of 70,000.



Black sand showed much higher value, i.e., 131μSv/h. Usually it is below 0.1μSv/h.

Древний ядерный реактор

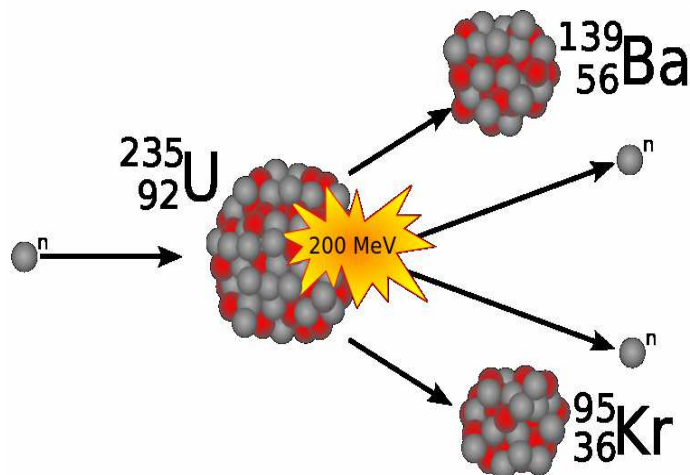
Природный уран состоит из смеси трёх изотопов:

^{238}U (изотопная распространённость 99,2745 %, период полураспада $T_{1/2} = 4,468 \cdot 10^9$ лет),

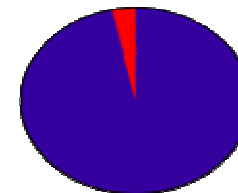
^{235}U (0,7200 %, $T_{1/2} = 7,04 \cdot 10^8$ лет) и

^{234}U (0,0055 %, $T_{1/2} = 2,455 \cdot 10^5$ лет).

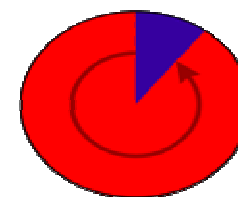
Последний изотоп является не первичным, а радиогенным, он входит в состав радиоактивного ряда ^{238}U .



Natural uranium
> 99.2% U-238
0.72% U-235



Low-enriched uranium
(reactor grade)
3-4% U-235



Highly enriched uranium
(weapons grade)
90% U-235

Относительные пропорции урана-238 (синий) и урана-235 (красный) на разных стадиях обогащения.

Древний ядерный реактор



Естественные реакторы расщепления были найдены только в сердце Африки — в Габоне, в Окло и соседних урановых шахтах в Окелобондо и на участке Бангомбе, расположенном примерно в 35 км.

Повсюду — и в земной коре, и на Луне, и даже в метеоритах — атомы урана-235 составляют 0,720% общего количества урана. Но в образцах из месторождения Окло в Габоне содержание урана-235 составляло всего 0,717%.

- „Феномен Окло заставляет вспомнить высказывание Э. Ферми, построившего первый ядерный реактор, и П.Л. Капицы, которые независимо друг от друга утверждали, что **только человек способен создать нечто подобное.**
- Однако древний природный реактор опровергает эту точку зрения, подтверждая мысль А. Эйнштейна о том, что **Бог более изощрён...**“
- С.П. Капица

Среднегодовые эквивалентные дозы облучения в России (Кириллов В.Ф. и др. 1988)

Источник ионизирующего излучения	Вид облучения	Доза, МкЗв/чел
Естественный радиоактивный фон		
	внешнее	650
	внутреннее	1600
	всего	2250
Техногенный радиационный фон		
Стройматериалы	внешнее	100
	внутреннее	1300
	всего	1400
Минеральные удобрения	всего	0.15
Угольные электростанции	всего	2
Искусственный радиационный фон		
АЭС	всего	0.15
Глобальные выпадения, вследствие испытаний ядерного оружия	внешнее	10
	внутреннее	12
	всего	25
Медицина	всего	1400
Суммарная доза от всех источников		5077

**Федеральное бюджетное учреждение науки
«Санкт-Петербургский научно-исследовательский
институт радиационной гигиены имени
профессора П.В. Рамзаева»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты
прав потребителей и благополучия человека**

**ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2015 ГОДУ**

Информационный сборник

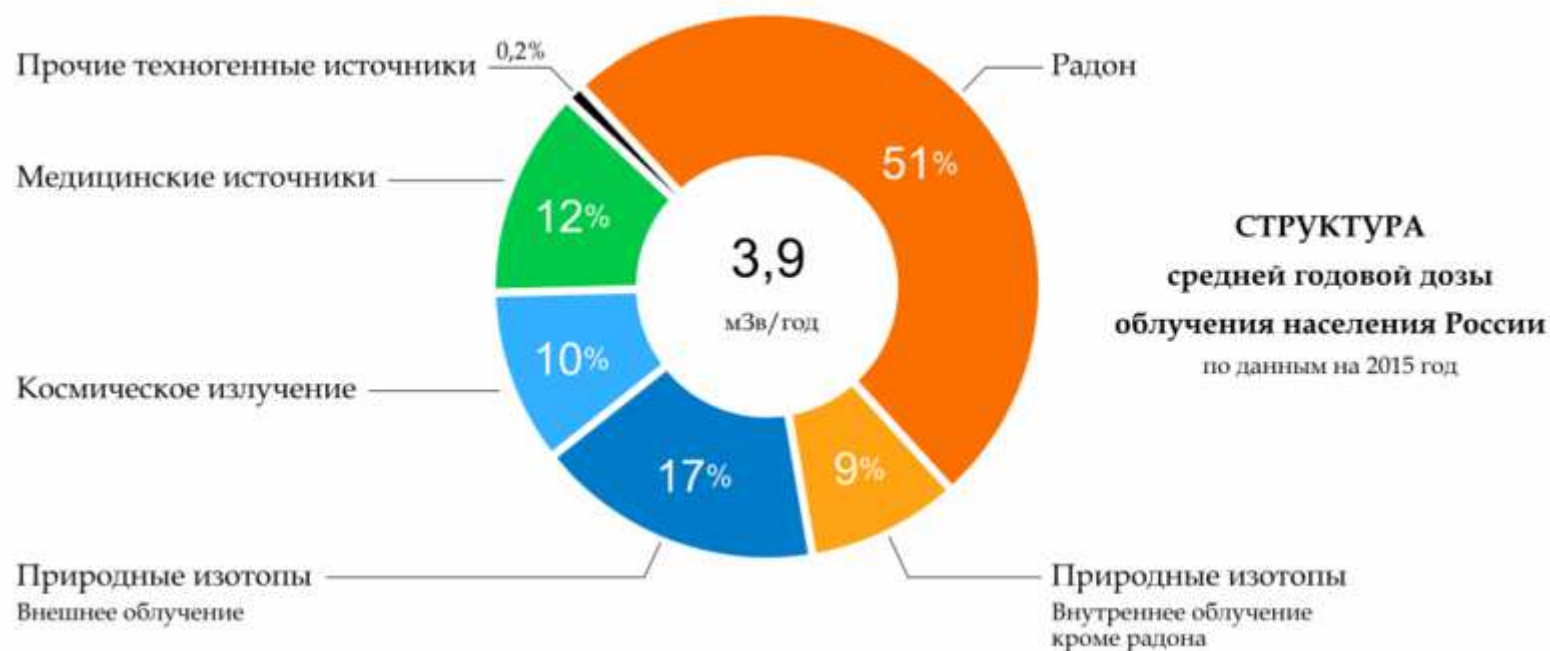
Санкт-Петербург
2016 г.

Структура средней годовой дозы населения России на 2015 год

по данным ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева

"Дозы облучения населения Российской Федерации в 2015 году" /

Информационный сборник. - СПб.: НИИРГ, 2016.- 73 с



Медицина

- При этом **не устанавливаются пределы доз для пациентов**, но применяются принципы обоснования назначения медицинских процедур и оптимизации защиты пациентов.
- При рентгенорадиологических профилактических медицинских и научных исследований практически здоровых лиц, не получающих прямой пользы для своего здоровья от процедур, связанных с облучением, **годовая эффективная доза не должна превышать 1 мЗв.**

Рентгенодиагностика

- **цифровая флюорограмма**, 1 проекция – **0,030-0,060 мЗв** (минимум и максимум, в зависимости от класса аппаратуры и применяемой методики). Это новый, наиболее безопасный метод для проведения профилактических процедур.
- **флюорограмма** (ФГ / ФЛГ, обычная плёночная флюорография), 1 проекция – **0,150-0,250 мЗв** (на фоточувствительную плёнку; используют более жёсткое облучение, чем при рентгенографии). На старых рентгеновских аппаратах, доза – до **0,600–0,800 мЗв**.
- **рентгенография** (РГ / РТГ) органов грудной клетки ("рентген легких") – **0.150-0.4 мЗв** (метод точнее и информативнее чем обычная флюор. и излучение помягче; используется широкая рентгеночувствительная пленка – снимки большие, размеры изображения соответствуют анатомическим).
- **дентальный (зубной) рентген** – **0,150-0,350 мЗв** (на цифр. аппарате - облучение на порядок меньше)
- **рентгеноскопия** (РС, R-обследование) области грудной клетки, в течение 5 мин – **2.5-3.5 мЗв**. В гастроэнтерологии, при диагностике патологии желудочно-кишечного тракта – эффективные дозы варьируют от **2 до 6 мЗв** (миллизивертов) на процедуру, проводимую в течение 2-15 минут.
- **радионуклидные исследования (РН)**, 1 проц. – **2-5 мЗв**. Применяются радиофармпрепараты (РФП) на основе короткоживущих радионуклидов.
- **рентгеновская компьютерная томография** (КТ, РКТ, Computer tomographie - СТ), на обычных аппаратах, доза составит: **1-2 мЗв – череп, голова; 6-11 мЗв – органы грудной клетки, почки, печень** (в зависимости от аппаратуры; низкодозная техника даёт меньшее облучение). В итоге, получается 3D (объёмное) изображение.

- Радиация в быту



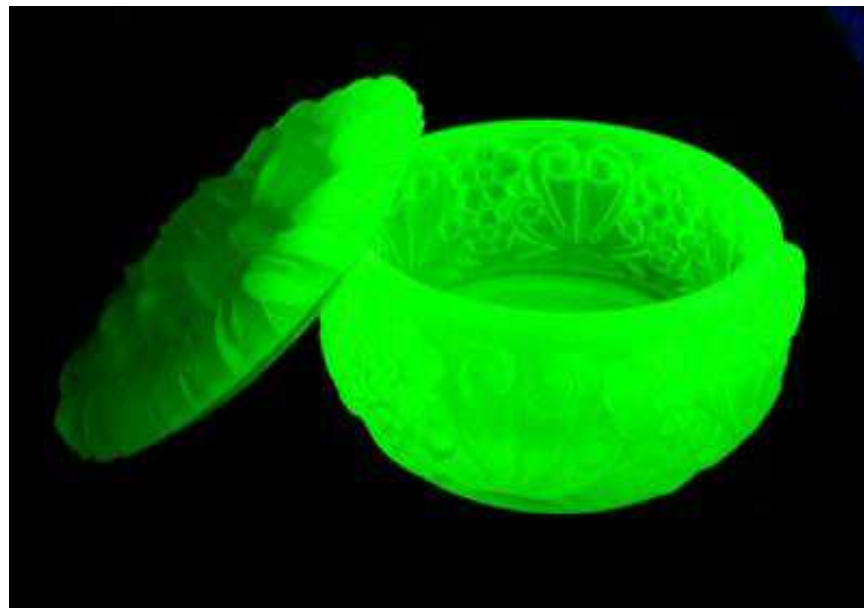
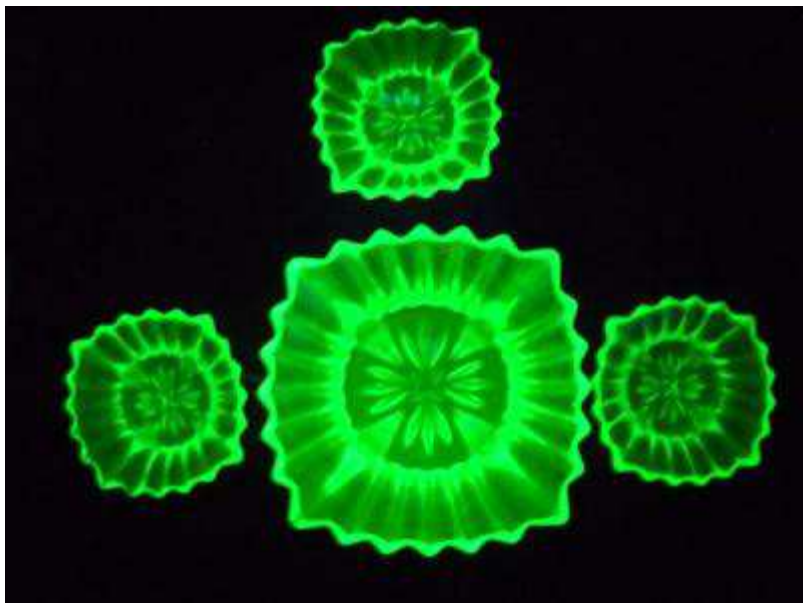
*Радиоактивная лечебная вода Radithor,
выпускалась в США в 1918-1928 гг*

Радиоактивные объективы — Такумары (Takumar)

- Существует большое количество моделей старых объективов с торированной оптикой. Торирование использовалось в качестве просветляющего напыления до 1970-х годов.

- диоксид тория





Своящиеся в темноте предметы



Гамма-источники используются в качестве уровнемеров в каменоломнях и карьерах, в гамма-дефектоскопии и прочей промышленности.

Катастрофа на металлообрабатывающем заводе Ачеринокс, Испания, май 1998 года. Источник цезия-137 каким-то образом затесался среди металлического мусора, незамеченный детекторами. Завод переплавил его, и в атмосферу оказалось выброшено радиоактивное облако. Результат — 40 кубометров загрязнённой воды, 2000 тонн радиоактивного пепла, 150 тонн загрязнённого оборудования. Очистка завода обошлась компании в 26 миллионов долларов

- «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009)
- «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99/2010)
- Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523 - 09
- О радиационной безопасности населения (с изменениями на 19 июля 2011 года)

- **Стохастические эффекты** — это вредные биологические эффекты излучения, не имеющие дозового порога возникновения, вероятность возникновения которых пропорциональна дозе и для которых тяжесть проявления не зависит от дозы. С увеличением дозы повышается не тяжесть этих эффектов, а вероятность (риск) их появления.

В соответствии с общепринятой консервативной радиобиологической гипотезой, любой сколь угодно малый уровень облучения обуславливает определённый риск возникновения стохастических эффектов. Они делятся на **соматико-стохастические** (лейкозы и опухоли различной локализации), **генетические** (доминантные и рецессивные генные мутации и хромосомные aberrации) и **тератогенные** эффекты (умственная отсталость, другие уродства развития; возможен риск возникновения рака и генетических эффектов облучения плода).

- **Детерминированные (пороговые) эффекты** — это неизбежные, клинически выявляемые вредные биологические эффекты, возникающие при облучении, в основном, большими дозами, в отношении которых предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше — тяжесть эффекта зависит от дозы.

Они возникают когда число клеток, погибших в результате облучения, потерявших способность воспроизводства или нормального функционирования, достигает критического значения, при котором заметно нарушаются функции пораженных органов.

Детерминированные эффекты подразделяются на ближайшие последствия (острая, подострая и хроническая **лучевая болезнь**; локальные лучевые повреждения: **лучевые ожоги кожи, лучевая катаракта и стерилизация**) и отдалённые последствия (радиосклеротические процессы, радиоканцерогенез, радиокатарактогенез и прочие).

Основные эффекты облучения человека

Доза	Категории эффектов, примеры	Примечания
>0,2 - <5 Гр для ранних и отсроченных эффектов, десятки Гр – для поздних	<i>Детерминированные эффекты:</i> <u>а) ранние</u> , вскоре после облучения – поражения кожи – эритема, ожог, язва; <u>б) отсроченные</u> , спустя месяцы, годы – стерильность, катаракта, нефро-, кардиосклероз; <u>в) поздние</u> , спустя годы, при больших дозах – фиброзы, нейропатии, поражения костей.	Клинически значимы, степень зависит от дозы при местном и общем облучении.
0,1 - 1 Гр	<i>Поздние детерминированные эффекты</i> при малых дозах: различные функциональные нарушения сердечно- сосудистой, нервной и других систем, отмеченные через 50 лет среди японцев, переживших атомную бомбардировку.	Радиационная природа нуждается в изучении.



Отдалённые последствия облучения

- соматические и стохастические эффекты, проявляющиеся через длительное время (несколько месяцев или лет) после однократного или хронического облучения.
- Включают в себя:
 - изменения в половой системе;
 - склеротические процессы;
 - лучевую катаракту;
 - иммунные болезни;
 - радиоканцерогенез;
 - сокращение продолжительности жизни;
 - генетические и тератогенные эффекты.

НОРМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
НРБ –99/2009
Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523 - 09

Основные пределы доз

Нормируемые величины	персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза Коже кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

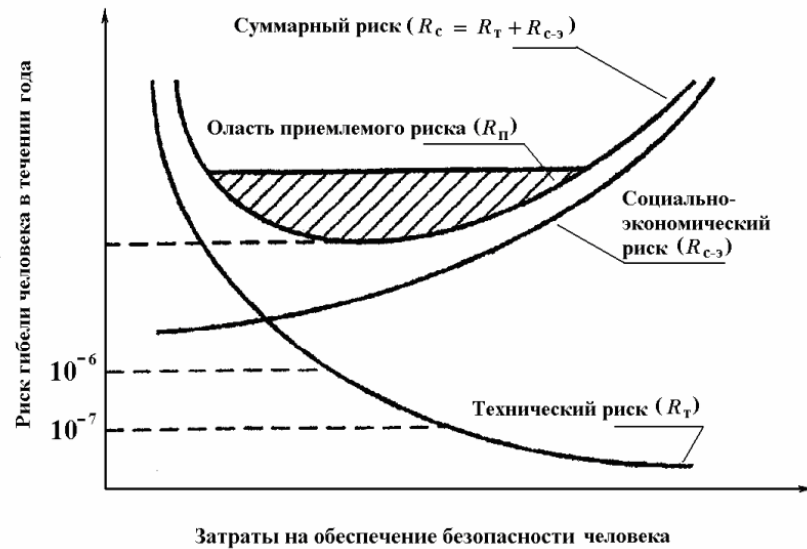
* - Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

** - Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

- 36 часовая рабочая неделя + 3 недели отпуска и получаем мощность дозы для
- Группу А - 11 мкЗв/час
- Естественный фон – 0.1 мкЗв/час
- Самолет – 2 мкЗв/час

- Критическим путем облучения людей за счет ^{222}Rn , содержащегося в питьевой воде, является переход радона в воздух помещения и последующее ингаляционное поступление дочерних продуктов радона в организм.
- Уровень вмешательства для ^{222}Rn в питьевой воде составляет 60 Бк/кг.
- Определение удельной активности ^{222}Rn в питьевой воде из подземных источников является обязательным.
- МКРЗ установила референтный уровень объемной активности радона в жилище на уровне 300 Бк/куб.м.

Риск



Графический метод определения допустимого риска

в США индивидуальный общий риск фатального исхода в год составляет 10^{-4} , а в Голландии индивидуальный риск гибели человека исчисляется 10^{-6} в год

Уровень неприемлемого риска больше 10^{-3}
 Уровень приемлемого (допустимого) риска 10^{-3} - 10^{-6}
 Уровень пренебрежимо малого риска составляет меньше 10^{-6}

- В сентябре 1990 года в г. Кельне состоялся **Первый Всемирный конгресс по безопасности жизнедеятельности**, как научной дисциплины, проходивший под девизом «Жизнь в безопасности».

Таким образом сформировалось следующая **научная категория: риск** — это частота реализации опасностей технического или биологического антропогенного объекта
 Количественная оценка опасности — риск

$$R = \frac{n}{N}$$

где n - число случаев, N - общее количество людей.

По статистике в России $n = 500$ тыс. чел. умирает не достигая пенсионного возраста за год

- $N = 150$ млн. чел.
- 30 тыс. чел. погибает в автокатастрофах
- 20 тыс. чел. погибает на производстве

- Всего в ДТП в России за 2014 погибло 26 963 человека (-0,2% по сравнению с предыдущим годом), ранено 251 785 человек (-2,6%).

- В соответствии с общепринятой в мире линейной беспороговой теорией зависимости риска стохастических эффектов от дозы, величина риска пропорциональна дозе излучения и связана с дозой через линейные коэффициенты радиационного риска, приведенные в таблице:

Облучаемая группа населения	Коэффициент риска злокачественных новообразований, $\cdot 10^{-2} \cdot \text{Зв}^{-1}$	Коэффициент риска наследственных эффектов, $\cdot 10^{-2} \cdot \text{Зв}^{-1}$	Сумма, $\cdot 10^{-2} \cdot \text{Зв}^{-1}$
Все население	5,5	0,2	5,7
Взрослые	4,1	0,1	4,2

- В условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения
- пределы доз облучения в течение года устанавливаются исходя из следующих
- значений индивидуального пожизненного риска:
 - - для персонала - $1,0 \cdot 10^{-3}$;
 - - для населения - $5,0 \cdot 10^{-5}$.
- При обосновании защиты от источников потенциального облучения в течение
- года принимаются следующие граничные значения обобщенного риска
- (произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности
- смерти, связанной с облучением):
 - - персонал - $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$;
 - - население - $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$
- Уровень пренебрежимо малого риска составляет 10^{-6} .

- В основу заключений МКРЗ положена оценка ущерба, нанесенного облучением в течение всей жизни: предел дозы должен устанавливаться таким образом и на таком уровне, чтобы суммарная эффективная доза, полученная в течение полной продолжительности жизни работника на рабочем месте, не превышала 1 Зв и накапливалась постепенно и одинаково год за годом, и чтобы данная система радиологической защиты применялась так, чтобы доза, если и приближалась к этому установленному пределу, то крайне редко.

- В 1934 году впервые Международной комиссией по защите от рентгеновского излучения и радия была рекомендована толерантная доза **200 мР/сутки**.
- В последующем по мере выявления неблагоприятных последствий облучения, а также с накоплением знаний и опыта защиты, нормативы многократно пересматривались в сторону снижения.

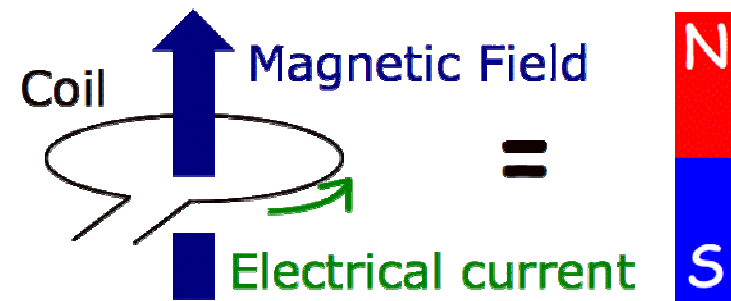
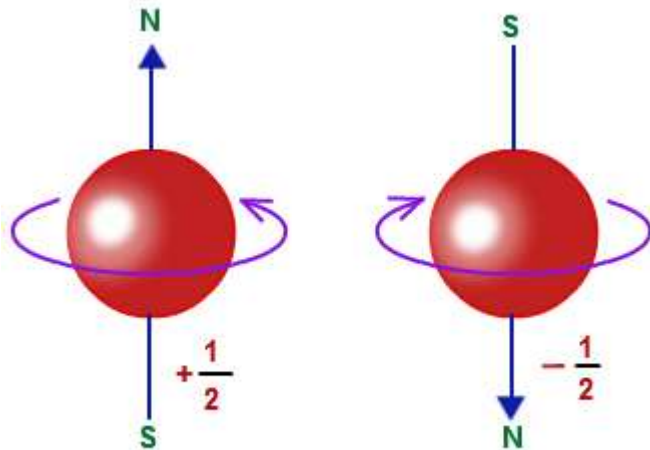
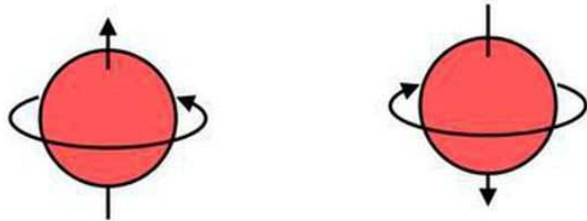
Год	Категория облучаемых лиц	Допустимая доза, мЗв/год	Примечание
1946		600	Различий в допустимых дозах внешнего облучения персонала (участников испытаний ядерного оружия) и населения не делалось
1950		300	В случае аварии допускалось однократное облучение дозой 250 мЗв, но не более 1 Зв в год
1955		150	то же
1957	Категория А Категория Б Все население	150 15	то же Не выше природного фона
1961	Категория А Категория Б Все население	50 5 0.5	то же то же
1969 НРБ-69	Категория А Категория Б Все население	50 5 1.7	Впервые введено понятие «предел» для категории Б и всего населения
1976 НРБ-76	Категория А Категория Б	50 5	
1987 НРБ-76/87	Категория А Категория Б	50 5	
1996 НРБ-96	Категория А Категория Б Население	20 5 1	Указанные допустимые пределы доз введены с 1 января 2000г.
1999 НРБ-99/2009	Категория А Категория Б Население	20 5 1	

Кислородный эффект

В радиобиологии к 1954 г. было установлено, что повреждения в клетках от действия радиации происходят и в результате расщепления воды на свободные радикалы OH и HO_2 .

Электрон

Момент импульса $\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v}$
Спин



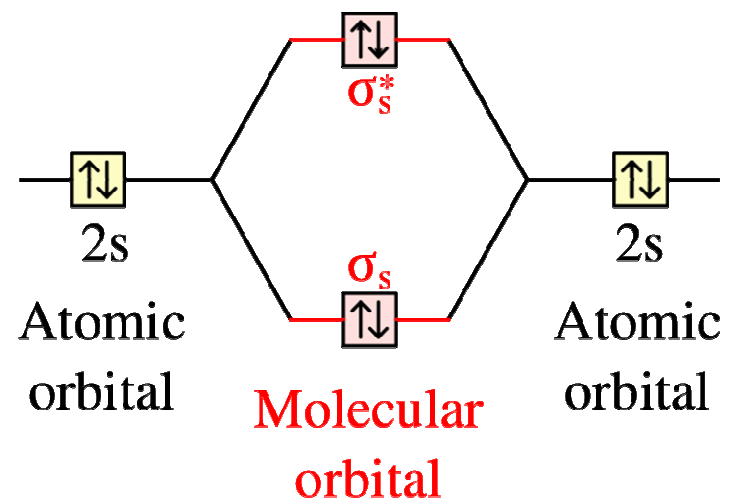
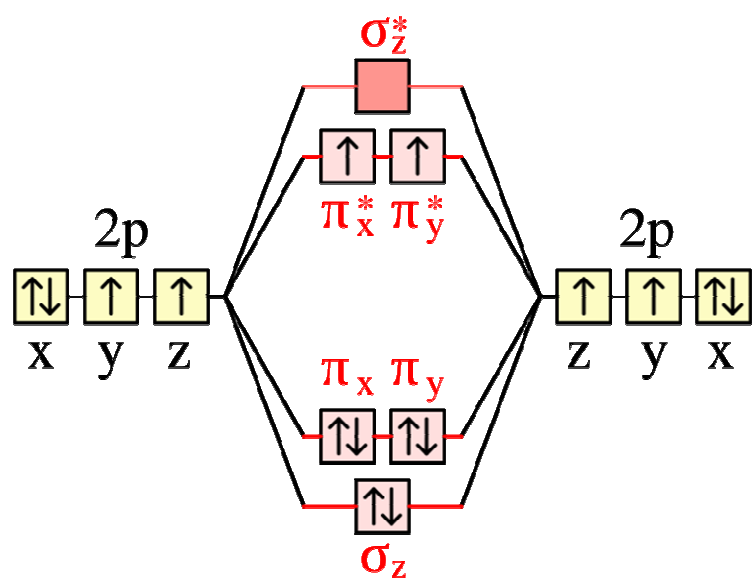
Группа →		16
↓ Период		
2	8	Кислород O 15,999 $2s^2 2p^4$
3	16	Сера S 32,066 $3s^2 3p^4$
4	34	Селен Se 78,96 $3d^{10} 4s^2 4p^4$
5	52	Теллур Te 127,60 $4d^{10} 5s^2 5p^4$
6	84	Полоний Po (209) $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^4$
7	116	Ливерморий Lv (293) $5f^{14} 6d^{10} 7s^2 7p^4$

Подгруппа кислорода

Элементы 6-й группы главной подгруппы.

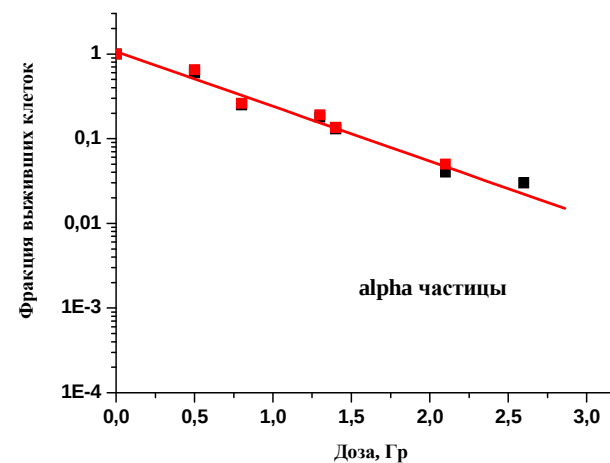
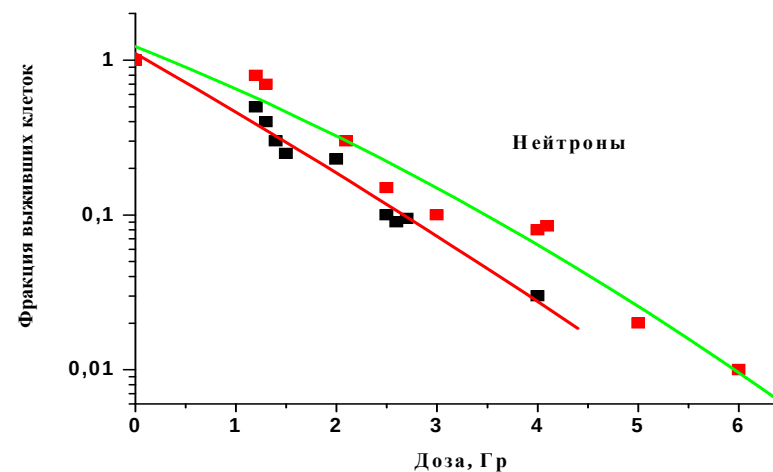
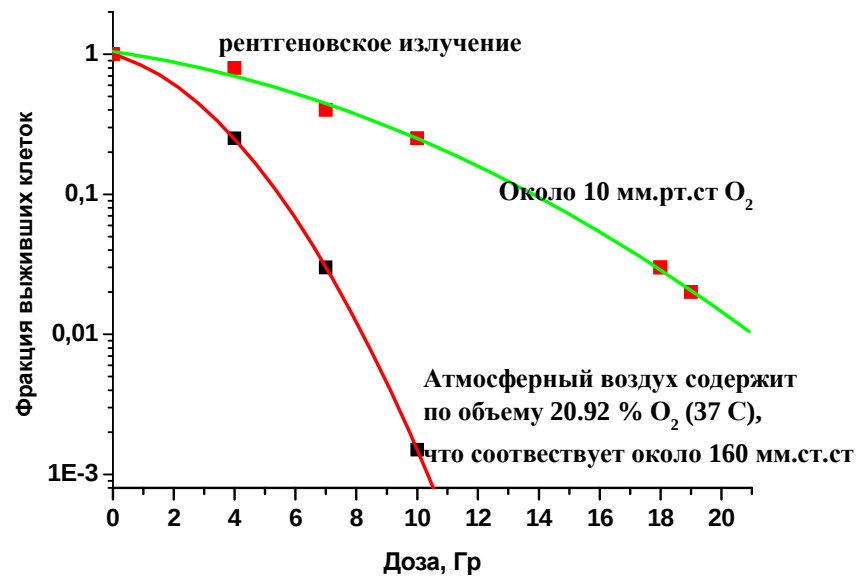
Очень часто употребляемое название — ХАЛЬКОГЕНЫ — «руды рождающие».

Этим названием они в большей степени обязаны сере, чем кислороду

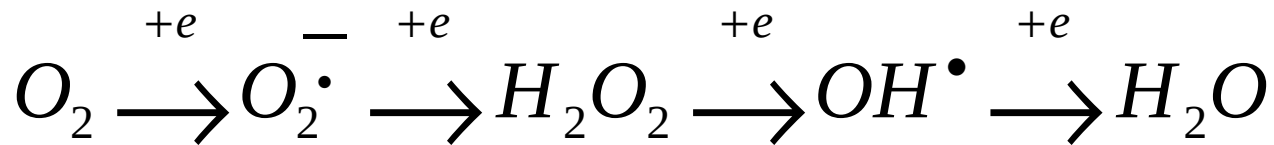


Молекула кислорода

Зависимость кислородного эффекта от вида ионизирующих излучений



+4e Ферментативное



Активные формы кислорода

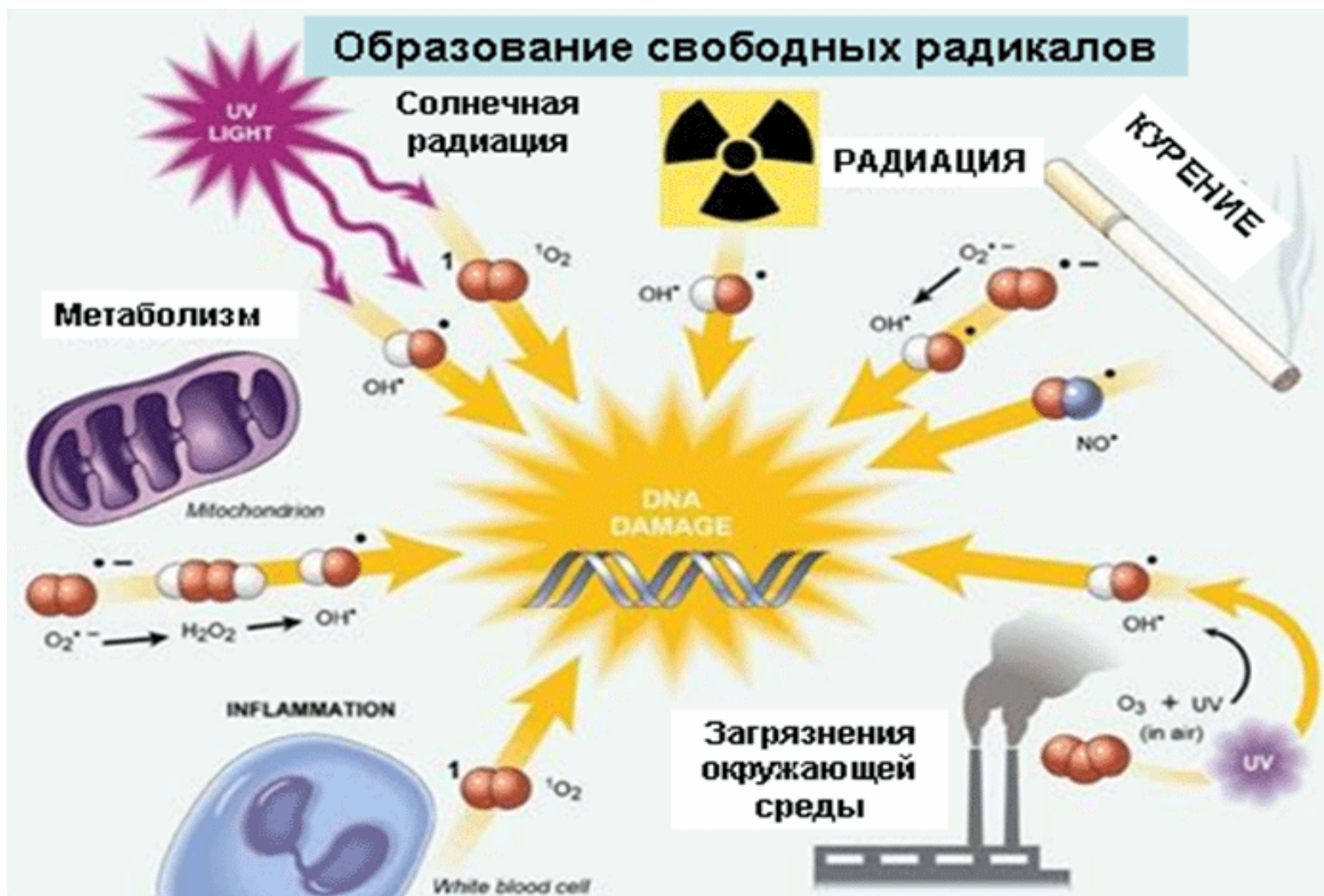
Супероксид

Перекись

Гидроксил-радикал

ОН способен окислить с высокой скоростью практически любое вещество клетки, включая ДНК, со всеми вытекающими отсюда последствиями, которые зачастую оказываются необратимыми

Образование свободных радикалов



К активным формам кислорода относятся:

$\text{H}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$	Оксид водорода (вода)
$\text{H}:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$	Пероксид водорода
$:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{O}}:$	Молекулярный кислород (диоксиген)
$(:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{O}}:)^-$	Супероксид анион-радикал
$(\text{H}:\ddot{\text{O}}:)^-$	Гидроксид-ион
$\text{H}:\ddot{\text{O}}:$	Радикал гидроксила

Основные АФК:

ОН – радикал, гидроксильный радикал;

O_2^- - супероксидный анион;

H_2O_2 - пероксид водорода.

Важнейшими АФК также
считаются :

- синглетный кислород ($^1\text{O}_2$),
- пергидроксил (HO_2),
- гипохлорит анион (ClO^-),
- пероксинитрат (ONOO^-).

АФК наносят огромный вред организму т.к. очень легко вступают в химические реакции.

Для организма важно равновесие, образование не более 2% АФК.

- Такая нестабильная частица, сталкиваясь с другими молекулами, "крадет" у них электрон, что существенно изменяет структуру этих молекул.
- Пострадавшие молекулы стремятся отнять электрон у других "полноценных" молекул, вследствие чего развивается разрушительная цепная реакция, губительно действующая на живую клетку.



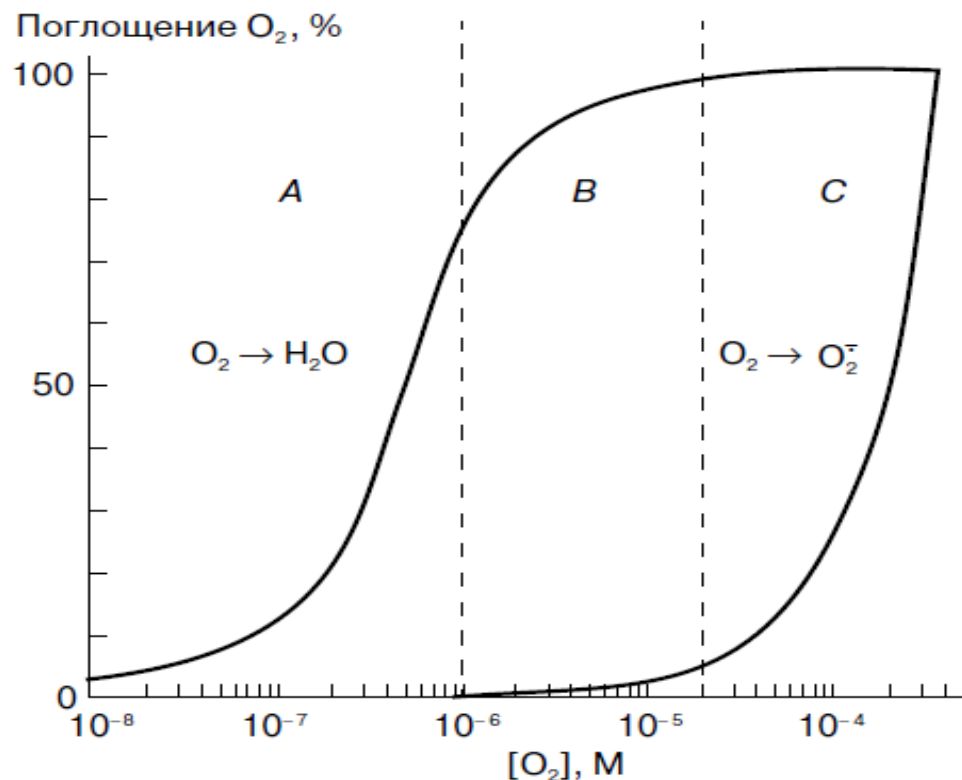


Фон Майер, Юлиус Роберт

Ю́лиус Ро́берт фон Ма́йер
(нем. **Julius Robert von Mayer**;
25 ноября 1814, Хайльбронн — 20
марта 1878) — немецкий врач и
естествоиспытатель.

Изучал медицину в Тюбингене, Мюнхене и Париже. В 1840 в качестве судебного врача совершил путешествие на остров Яву. В процессе лечения матросов кровопусканием, он обратил внимание на то, что **венозная кровь была светлее, чем обычно в северных широтах, и приближалась по яркости к артериальной** («кровь, выпускаемая из ручной вены, отличалась такой необыкновенной краснотой, что, судя по цвету, я мог бы думать, что я попал на артерию»).

Работа Майера долго оставалась незамеченной, и лишь в 1862 году Клаузиус и Тиндаль обратили внимание на это исследование Майера и на дальнейшие его работы: «Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit den Stoffwechsel» (Хайльбронн, 1848), «Beträge zur Dynamik des Himmels» (там же), «Bemerkungen über d. mechanischen Aequivalent der Wärme» (там же 1851), полные местами не вполне точных, но весьма остроумных примеров и идей, касающихся **закона сохранения энергии** в неодушевленной и одушевленной природе.

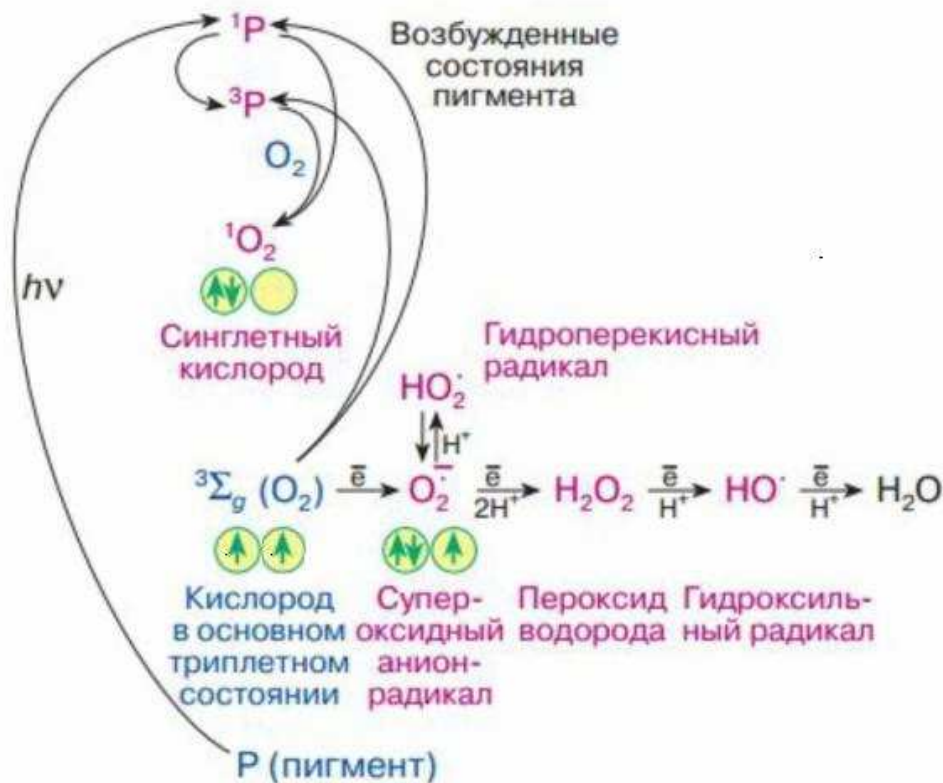


A - кислорода мало

B –оптимально

C –кислорода много

Рис. 1. Ферментативное (четырёхэлектронное) и неферментативное (одноэлектронное) восстановление O_2 как функция от концентрации кислорода $[O_2]$. Концентрация O_2 , обеспечивающая полумаксимальную скорость ферментативного восстановления ($O_2 \rightarrow H_2O$), принята равной $3 \cdot 10^{-7}$ М. Принято также, что скорость неферментативного восстановления ($O_2 \rightarrow O_2^-$) линейно повышается с ростом концентрации O_2 . Скорость поглощения O_2 при уровне O_2 , соответствующем атмосферному давлению кислорода (0,22 М), принята за 100%. При этом следует помнить, что абсолютная скорость поглощения O_2 , взятая за 100% для реакции $O_2 \rightarrow H_2O$, примерно на два порядка больше, чем для реакции $O_2 \rightarrow O_2^-$.



Основные формы активного кислорода.

Стрелками в кружках показаны направления спинов электронов молекулярного кислорода, супероксидного аниона и синглетного кислорода.

В основном состоянии молекулярный кислород находится в триплетном состоянии с параллельными спинами и малоактивен.

Формы АК (выделены красным цветом), к которым относят кислородные радикалы, возникающие из них продукты, и синглетный кислород обладают высокой реакционной способностью и повреждают липиды, ферменты, нуклеиновые кислоты, мембранные структуры клетки.

Схематично показаны основные этапы последовательного одноэлектронного восстановления молекулярного кислорода до воды, в ходе которого образуются супероксидный анион-радикал, пероксид водорода и гидроксильный радикал.

Возникновение синглетного кислорода связано преимущественно с фотохимическими реакциями: поглощением пигментом (P) кванта света ($h\nu$) и переносом энергии с его возбужденных синглетных (1P) и триплетных (3P) состояний на молекулярный кислород

- Агрессивная окислительная способность синглетного кислорода реализуется при лечении рака кожи с помощью фотодинамической терапии.
- **Фотодинамическая терапия (ФДТ)** — метод лечения онкологических заболеваний, некоторых заболеваний кожи или инфекционных заболеваний, основанный на применении светочувствительных веществ — фотосенсибилизаторов — и света определённой длины волны (обычно красный лазер).
- Эта идея была реализована в 1978 году американским профессором Т. Догерти, который сообщил об успешном лечении 25 пациентов.
- С 1992 года этот метод получил развитие и в нашей стране

Защита от вредного действия окислителей

Молекулярные повреждения, вызванные свободными радикалами, предотвращаются или ликвидируются защитными механизмами, которые, по-видимому, несовершенны. Ряд данных указывает на то, что некоторые из этих механизмов также теряют эффективность со временем.

Антиоксиданты (нейтрализуют свободные радикалы или иначе ограничивают их активность)	Ферменты	Супероксиддисмутазы	Превращает супероксидный радикал ($O_2^{\cdot-}$) в перекись водорода (H_2O_2)
		Глутатион-пероксидазы и каталазы	Превращает перекись водорода в воду (H_2O) и молекулярный кислород (O_2)
	Другие	Витамин Е и β -каротен	Взаимодействует со свободными радикалами тем самым не давая им влиять на клеточные компоненты; будучи жирорастворимыми, могут защищать мембраны
		Мочевая кислота и витамин С	Взаимодействуют со свободными радикалами в цитоплазме
		Хелатирующие агенты	Не дают железу, меди и другим переходным металлам участвовать в катализе окислительных реакций
Система репарации (осуществляет деградацию, восстановление или замену поврежденных молекул)	Репарация белков	Протеиназы	Расщепляют окисленные белки
		Пептидазы	Расщепляют продукты протеиназной активности; образующиеся аминокислоты могут использоваться для синтеза новых белков
	Репарация липидов	Фосфолипазы	Расщепляют поврежденные участки окисленных липидов в составе мембран, так что другие ферменты могут заменить эти участки
		Ацетилтрансферазы	Заменяют жирные кислоты, отщепленные от липидных молекул
		Глутатион-пероксидаза и глутатион-трансфераза	Участвуют в замене окисленных жирных кислот без удаления крупных участков мембран
	Репарация ДНК	Экзонуклеазы и эндонуклеазы	Выщепляют поврежденные участки ДНК
		Гликозилазы и полимеразы	Заполняют пустые места, оставленные экзо- и эндонуклеазами
		Лигаза	«Сшивает» восстановленные участки с остальной цепью

Витамины, обладающие антиоксидантным действием

- 1. Витамины группы Е (токоферолы)
- 2. Аскорбиновая кислота (витамин С)
- 3. Ретинол (витамин А) и β-каротин (провитамин А)
- Антиоксиданты работают хорошо только тогда, когда они работают в группе, поддерживая друг друга.
- Например: Витамин Е - главный прерыватель реакций окисления липидов, расходуется и видоизменяется в этих реакциях. Если рядом с ним находится витамин С, то он его восстана

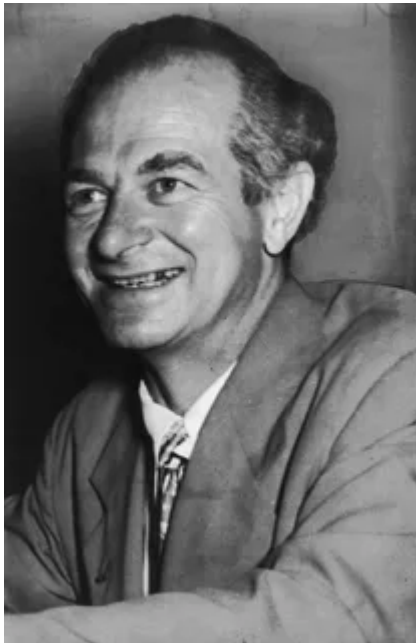


- История открытия витамина "С" изобилует трагическими событиями. В эпоху географических открытий (15 – 18 век) мореплаватели гибли от цинги. Особенно большие потери в людях несла Англия – великая морская держава. В 1740 г. адмирал Джордж Энсом отправился в кругосветное путешествие на 6 кораблях. Через 4 года он вернулся на одном корабле. Более 1000 моряков погибло от цинги. Эта трагедия подтолкнула морское министерство к поиску способа борьбы с этой болезнью.
- За решение поставленной задачи взялся морской врач доктор Линд. Он отобрал матросов, больных цингой, разбил их на группы. Каждая группа в дополнение к обычному рациону получала разные вещества: уксус, чеснок, минеральную воду, лимоны и др. Через некоторое время все больные умерли, кроме тех, кто получал в дополнение лимоны. Через 6 лет доктор Линд выпустил книгу «Лечение цинги».
- Однако общественность ему не поверила и ещё 48 лет матросы питались только консервами. Но капитан Кук поверил своему другу и, отправляясь в дальнее путешествие, взял на свой корабль лимоны и тем сохранил жизни всем матросам... После этого вышло распоряжение, обязывающее капитанов снабжать матросов фруктами.

- **Витамин "С", его строение и свойства**
- Впервые витамин "С" был выделен из лимона в 1928 г. венгерским учёным Сцентом Дьерди (Нобелевский лауреат 1937 г.). И только в 1932 г. была установлена связь витамина "С" с цингой. Витамин "С" имеет состав $C_6H_8O_6$, а его структурная формула представлена на рис. Она имеет некоторое сходство с молекулой глюкозы. С точки зрения химии, витамин "С" является аскорбиновой кислотой. В молекуле этой кислоты имеются два асимметрических атома углерода, поэтому существует 4 оптически активных изомера. Один из них L - аскорбиновая кислота обладает биологической активностью и является витамином "С". В промышленности этот витамин получают из глюкозы.

В 1970 г. Полинг опубликовал книгу «Витамин «С» и обычная простуда»

С 1940 году у Полинга было диагностировано воспаление почек (англ. Bright's disease — название устарело, в современной медицине ему соответствует группа диагнозов «хронический нефрит»). Для его лечения Полинг придерживался рекомендованной Томасом Аддисом строгой диеты[30].



В 1966 году, получив от Ирвина Стоуна рекомендацию лечить простуду витамином С, Полинг начал принимать 3 грамма аскорбиновой кислоты каждый день. Почти сразу он почувствовал себя живее и здоровее. В течение нескольких последующих лет эпизоды простуды, которые мучили его длительное время, стали менее тяжелыми и менее частыми. Благодаря этому опыту Полинг поверил, что ежедневный приём больших доз витамина С приносит пользу здоровью. Он стал пропагандировать приём витамина С, читать посвящённые этому вопросу лекции и написал популярные книги, что вызвало недовольство американского медицинского сообщества

В 1972 г. в Сан-Франциско умерла очень богатая и бездетная вдова. Свое состояние она завещала пожертвовать на создание в Калифорнии института по разработке методов продления жизни. Президентом такого института покойница хотела видеть Лайнуса Полинга.



Кислородный эффект

- Английский радиолог Грей (L.H. Gray) в 1953 г. впервые предложил для избирательного усиления действия облучения на ткань злокачественных опухолей использовать облучение в условиях дыхания чистым кислородом при атмосферном давлении или под давлением до 3×10^5 Па (около 3 атм) в специальной барокамере.
- Разработанные им методы получили соответственно названия оксигенорадиотерапия и оксигенобарорадиотерапия.
- Однако оказалось, что даже при дыхании кислородом под давлением 4×10^5 Па (около 4 атм) до 30% опухолевых клеток не насыщается кислородом до такой степени, как это нужно для повышения их радиочувствительности, т.к. кислород не доходит до участков, наиболее отдаленных от капилляров, активно расходуясь по пути.



Радиопротекция

- Использование химических соединений (радиопротекторов) для защиты биологических объектов от действия ионизирующего излучения;
- наиболее эффективна при использовании содержащих сульфгидрильные группы веществ (цистеин и др.), меркаптоамины, индолилалкиламины;
- гипоксиррадиотерапия, когда на время сеанса лучевой терапии больного переводят на дыхание газовыми смесями, обедненными кислородом (содержащими 10—8% кислорода).

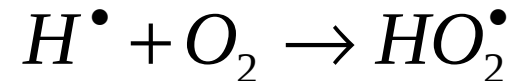
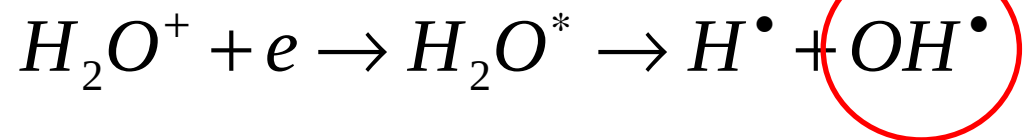
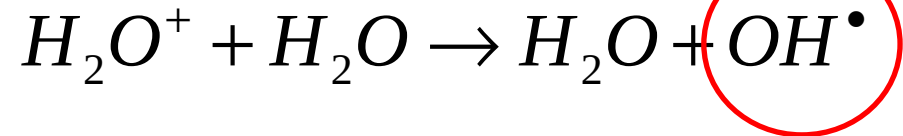
- Поскольку появление радиационных технологий, включая военные, приводило к неизбежному контакту людей с радиацией, то для уменьшения степени радиационных повреждений тканей стали применяться так называемые **радиационные протекторы** – вещества, способные очень быстро реагировать со свободными радикалами кислорода, защищая таким образом более важные биомолекулы. Эти вещества рекомендовалось принимать работникам атомной промышленности, например шахтерам на урановых рудниках, персоналу на атомных реакторах или на заводах по производству радиоактивных изотопов, для защиты их здоровья от действия радиации.
- Теория о том, что **старение** является результатом накопления повреждений клеточных структур **свободными радикалами кислорода**, выдвинутая Денманом Харманом еще в 1956 г., оставалась в то время наиболее популярной.
- По замыслу опыта эти вещества должны были связывать, «гасить» свободные радикалы, которые образуются при окислительных реакциях, защищая ткани от повреждения, и в результате этого увеличивать продолжительность жизни.
- В первом опыте Харман испытывал пять радиопротекторов-антиоксидантов в течение 15 месяцев, добавляя их в диету животных. Три соединения, **цистеин, меркаптоэтиламин и диаминдиетил**, снижали смертность мышей на 10 – 20%. Два других, включавших **аскорбиновую кислоту**, не оказывали никакого действия. Однако опыт ни разу не показал различия в максимальной продолжительности жизни контрольных и опытных популяций мышей.

Прямое и косвенное действие ионизирующего излучения

- Под **прямым действием** понимают такие изменения, которые возникают в результате поглощения энергии излучения самими исследуемыми молекулами («мишенями»).

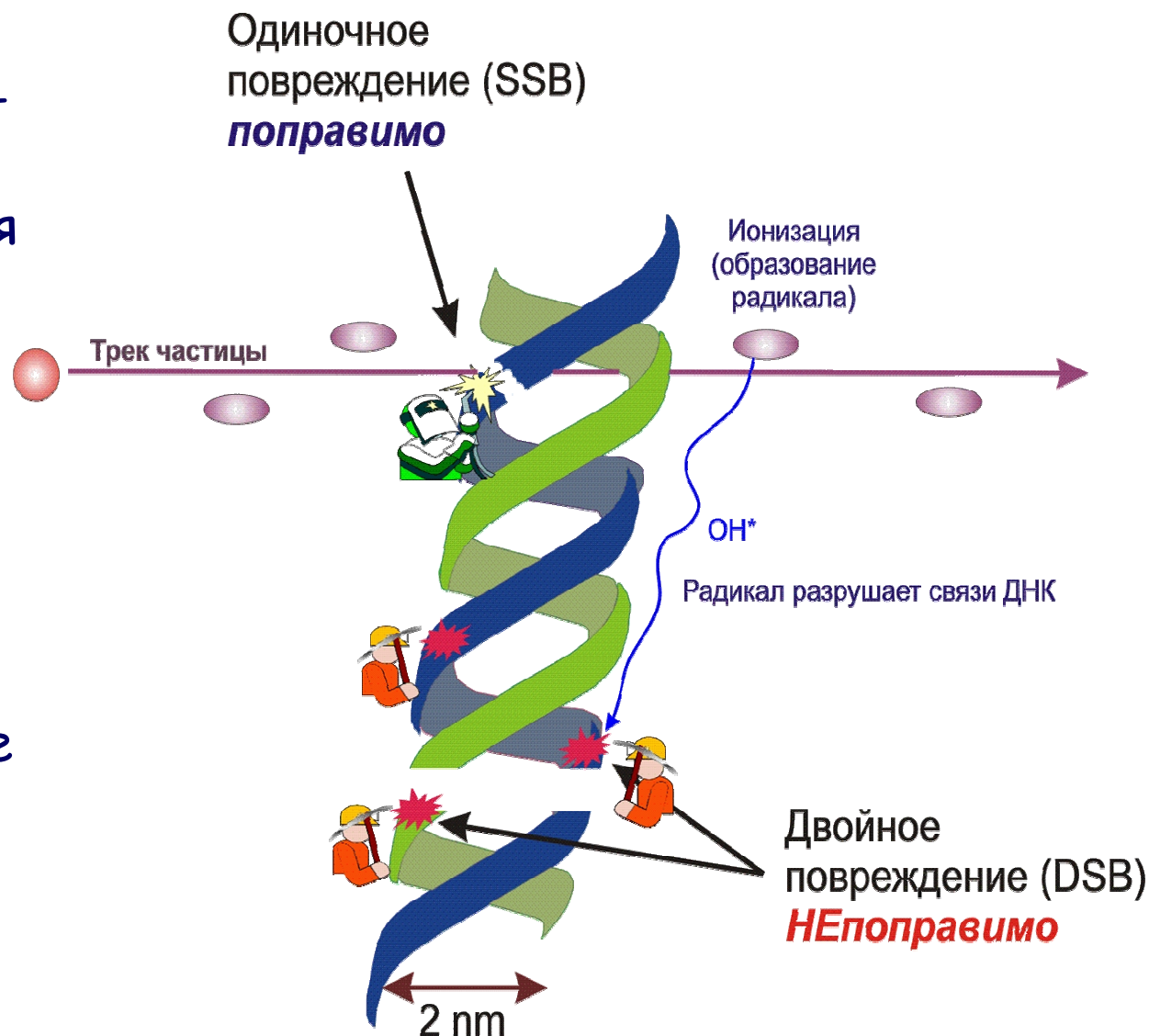


- Под **косвенным действием** понимают изменения молекул в растворе, вызванные продуктами радиационного разложения (радиолиза) воды (90%) или растворенных веществ, а не энергией излучения, поглощенной самими исследуемыми молекулами



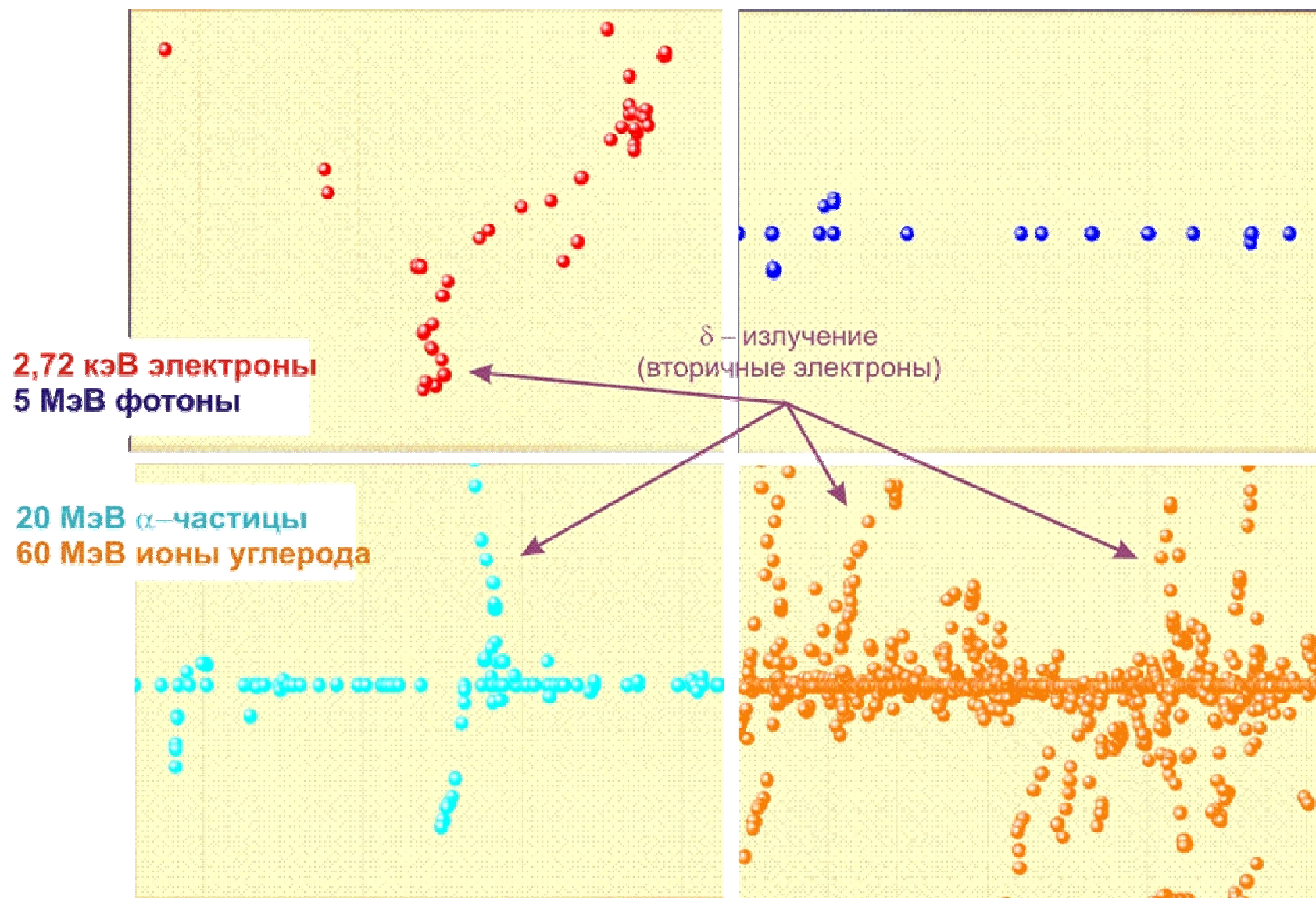
➤ Радиочувствительные мишени, т.е. ДНК, располагаются в ядрах клеток и имеют нанометровые размеры.

➤ Невосстановимые повреждения биологически более значимы, т.к. они неизбежно ведут к мутации и гибели клеток.



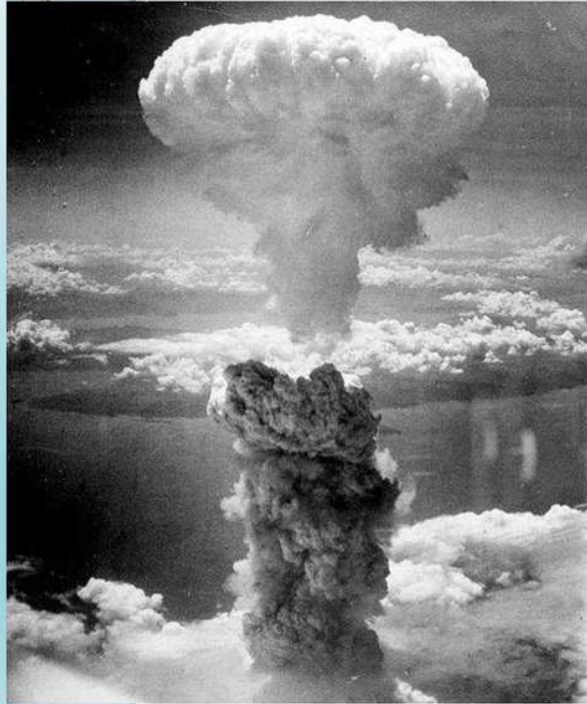
Среднее расстояние диффузии ОН радикала до его взаимодействия с ДНК составляет 2-3 нм

Треки частиц длиной 100 нм (~ 300 пар оснований ДНК)



- Аварии и катастрофы

6 августа 1945 года американский бомбардировщик B-29 «Enola Gay» сбросил на японский город Хиросима атомную бомбу «Little Boy» («Малыш»)… Три дня спустя атомная бомба «Fat Man» («Толстяк») была сброшена на город Нагасаки…



Считается, что 140 000 человек умерло в Хиросиме от взрыва и его последствий; аналогичная оценка для Нагасаки составляет 74 000 человек. Эти цифры опубликованные в феврале 1946 года штабом американской оккупационной армии в Японии не учитывают военных и умерших впоследствии от лучевой болезни

- **Ядерное оружие** относится к оружию массового поражения (наряду с биологическим и химическим оружием). Ядерный боеприпас — взрывное устройство, использующее ядерную энергию, которая высвобождается в результате лавинообразно протекающей цепной ядерной реакции деления тяжёлых ядер и/или термоядерной реакции синтеза лёгких ядер
- Все ядерные боеприпасы могут быть разделены на две основные категории:
- **«атомные»** — однофазные или одноступенчатые взрывные устройства, в которых основной выход энергии происходит от ядерной реакции деления тяжёлых ядер (урана-235 или плутония) с образованием более лёгких элементов;
- **термоядерные** (также «водородные») — двухфазные или двухступенчатые взрывные устройства, в которых последовательно развиваются два физических процесса, локализованных в различных областях пространства: на первой стадии основным источником энергии является реакция деления тяжёлых ядер, а на второй реакции деления и термоядерного синтеза используются в различных пропорциях, в зависимости от типа и настройки боеприпаса.
- При подрыве ядерного боеприпаса происходит ядерный взрыв, **поражающими факторами** которого являются:

ударная волна

световое излучение

проникающая радиация

радиоактивное заражение

электромагнитный импульс (ЭМИ)

Оружие массового поражения



Ядерное – Биологическое - Химическое

26 апреля 1986, Чернобыль



Загрязнению подверглось более 200 000 км², примерно 70 % — на территории Белоруссии, России и Украины. Радиоактивные вещества распространялись в виде аэрозолей, которые постепенно осаждались на поверхность земли. Загрязнение было очень неравномерным, оно зависело от направления ветра в первые дни после аварии. Наиболее сильно пострадали области, в которых в это время прошёл дождь. Большая часть стронция и плутония выпала в пределах 100 км от станции, так как они содержались в основном в более крупных частицах. Йод и цезий распространились на более широкую территорию.

Авария на АЭС Фукусима-1

крупная радиационная авария максимального 7-го уровня по Международной шкале ядерных событий, произошедшая 11 марта 2011 года в результате сильнейшего в истории Японии землетрясения и последовавшего за ним цунами.



По состоянию на март 2014 года более 130,000 человек из префектуры Фукусима по-прежнему остаются перемещёнными из мест своего проживания. Ещё 137,000 проживают в местах временного размещения

LA-13638-TR

Разрешено к публикации в открытой печати
Распространение не ограничено

Обзор ядерных аварий с возникновением СЦР

Редакционная версия 2003 г.



Лос-Аламосская
НАЦИОНАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Лос-Аламос, Нью-Мексико 87545

Лос-Аламосская национальная лаборатория находится под управлением Калифорнийского университета
по поручению Департамента энергетики США в соответствии с контрактом W-7405-ENG-36

В отчете описаны случаи аварий с возникновением неконтролируемой самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР) на установках атомной промышленности и на исследовательских ядерных установках (критстендах).

Авторы

Соединенные Штаты Америки:

Томас П. Маклафлин,

Шан П. Монахан,

Норман Л. Прувост

*Лос-Аламосская национальная
лаборатория*

Лос-Аламос, Нью-Мексико 87545, США

Российская Федерация:

В. В. Фролов,

Б. Г. Рязанов

В. И. Свиридов

*Физико-энергетический институт,
Обнинск*

I. Промышленные аварии

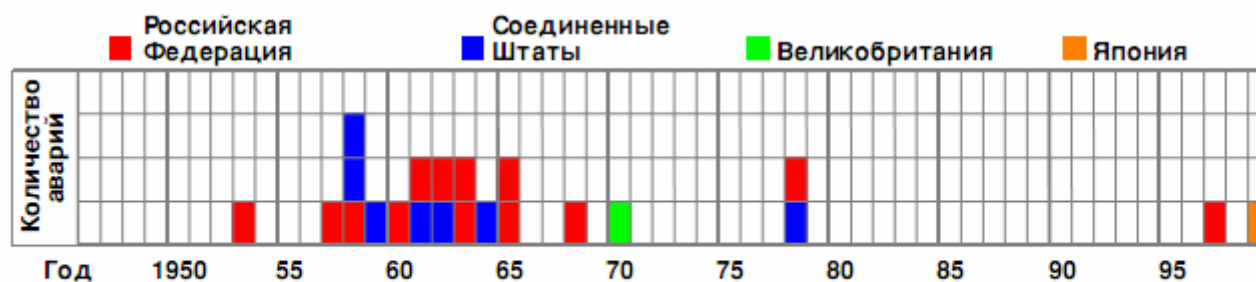


Рисунок 1. Хронология промышленных ядерных аварий.

Описаны 22 аварии

Россия -13

США-7

Великобритания -1

Япония -1

II Аварии при экспериментах с реакторами и критических экспериментов

Заряд-демон (англ. Demon core) — название, данное подкритическому объёму плутония массой 6,2 кг, который участвовал в двух несчастных случаях в лаборатории Лос-Аламоса в 1945 и 1946 годах. В обоих случаях радиоактивное облучение в результате незапланированного перехода в критическое состояние приводило к гибели учёных, после чего сборка и получила своё название. Конструкция состояла из двух половин шаров плутония в дельта - фазе, покрытых слоем никеля, общей массой 6,2 кг, с плотностью 15,7 г/см³

Плутониевый шар был использован в ядерном испытании «ABLE», проходившем в рамках операции «Перекрёстки» 1 июля 1946 года. Благодаря экспериментам Дагляна и Злотина эффективность оружия, использовавшегося при испытаниях, была увеличена по сравнению с использовавшимся при бомбардировках Японии

Первый инцидент

21 августа 1945 года молодой учёный Гарри Даглян в одиночку проводил эксперимент по изучению отражения нейтронов. Ядро было помещено внутрь блочной конструкции из карбида вольфрама, отражателя нейтронов. Добавление каждого нового блока весом 4,4 кг (общая масса блоков должна была составить 236 кг) приближало сборку к критическому состоянию. При попытке установки очередного блока Даглян уронил его прямо на плутоний, что перевело сборку в надкритическое состояние. Даглян попытался убрать блок, но он снова выскользнул, тогда он попытался перевернуть стол, но он был слишком тяжёлым. Тогда Даглян начал постепенно сбрасывать блоки. Не смотря на то, что этот процесс длился примерно минуту, Даглян получил смертельную дозу излучения (около 5-8 Зв) и умер от лучевой болезни через 25 дней



Моделирование инцидента 1945 года. Плутониевый шар окружён блоками из отражателя — карбида вольфрама



Дата рождения 4 мая 1921

Место рождения Уотербери, Коннектикут

Дата смерти 15 сентября 1945 (24 года)

Место смерти Лос-Аламос, Нью-Мексико

Второй инцидент

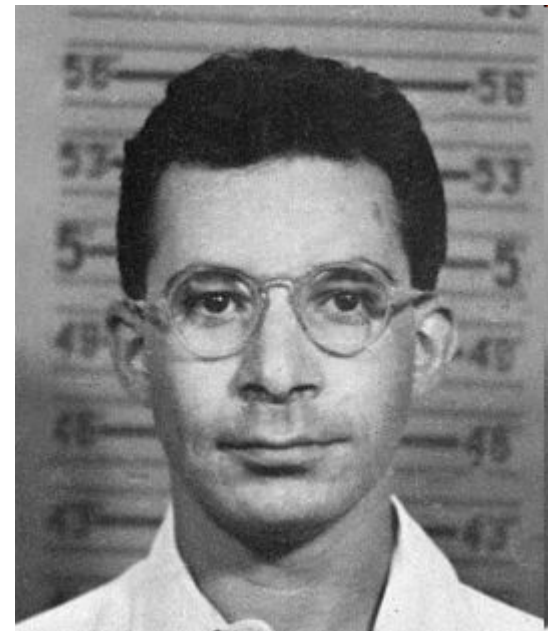
21 мая 1946 года Злотин в присутствии семи других исследователей проводил эксперимент по инициированию цепной ядерной реакции. Он заключался в том, что сближение бериллиевых полусфер (отражателей нейтронов), между которыми находился плутониевый шар, изменяло показания радиометров. Полусферам не давал полностью соединиться только наконечник отвёртки, удерживаемой Луисом в правой руке.

Когда отвёртка внезапно соскользнула, полусферы сомкнулись, а плутоний мгновенно перешёл в надкритическое состояние. Злотин почувствовал ожог левой руки и быстро скинул верхнюю полусферу на пол. Он остановил реакцию, но успел получить летальную дозу в 2100 бэр. Коллеги доставили Луиса в больницу, однако тот понимал, что был обречён. «Я думаю, я приговорён» («I think I'm done for»), — сказал он. Спустя 9 дней Злотин умер.

Злотин проводил данный эксперимент уже более десяти раз, ранее Энрико Ферми говорил ему и другим сотрудникам, участвовавшим в экспериментах, что если они не прекратят свои опасные опыты, то «погибнут в течение года» *Tickling the Dragon's Tail*



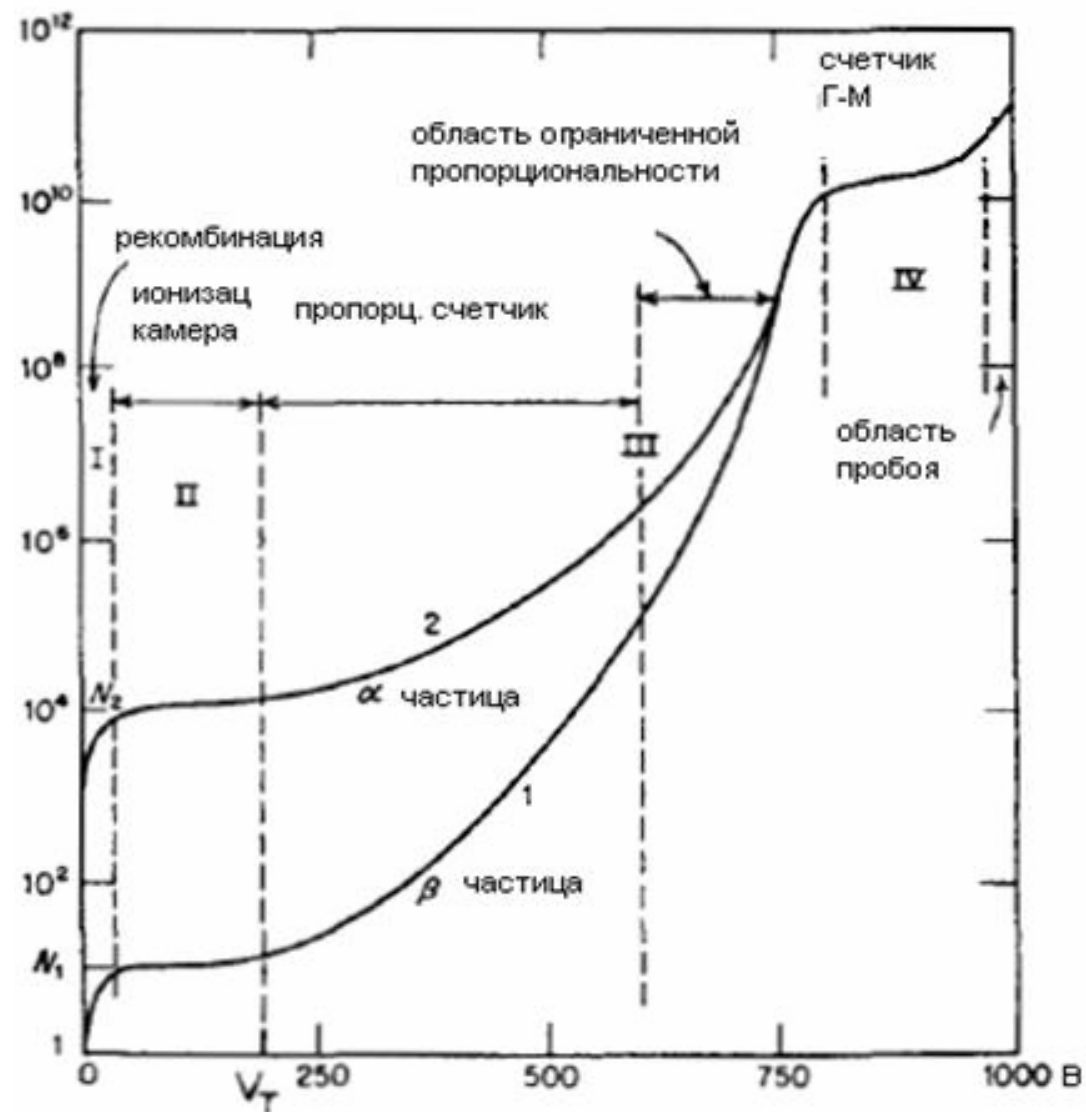
Воссоздание инцидента 1946 года. Плутоний скрыт под полусферой отражателя, удерживаемой отвёрткой



Дата рождения
1 декабря 1910
Место рождения
Виннипег, Канада
Дата смерти
30 мая 1946 (35 лет)
Место смерти
Лос-Аламос, Нью-Мексико
Страна Канада
Альма-матер
Королевский колледж Лондона
Манитобский университет
Учёная степень бакалавр
(1932) и магистр (1933)

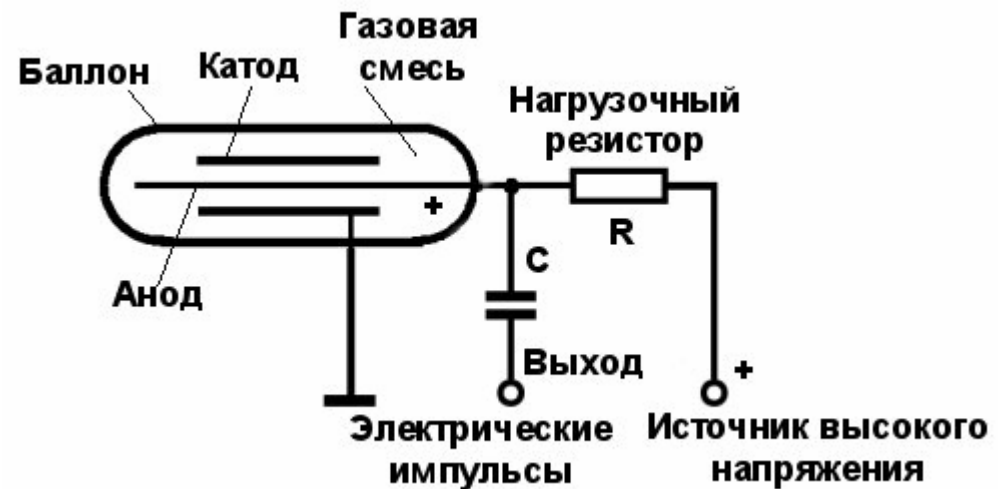
Ионизационные методы в дозиметрии

1. Свободно воздушные ионизационные камеры (эталонные)
2. Полостные ионизационные камеры (наперстковые)
3. Конденсаторные камеры
4. Газоразрядные счетчики
 - пропорциональный счетчик
 - счетчик Гейгера-Мюллера
 - коронный счетчик
 - искровой счетчик
5. Полупроводниковые детекторы



Вольт-амперные характеристики основных разновидностей газонаполненных детекторов.

Газоразрядный счетчик Гейгера-Мюллера, как правило, выполняется в виде герметичной трубки, стеклянной или металлической, из которой откачан воздух, а вместо него добавлен инертный газ (неон или аргон или их смесь) под небольшим давлением, с примесью галогенов или спирта.



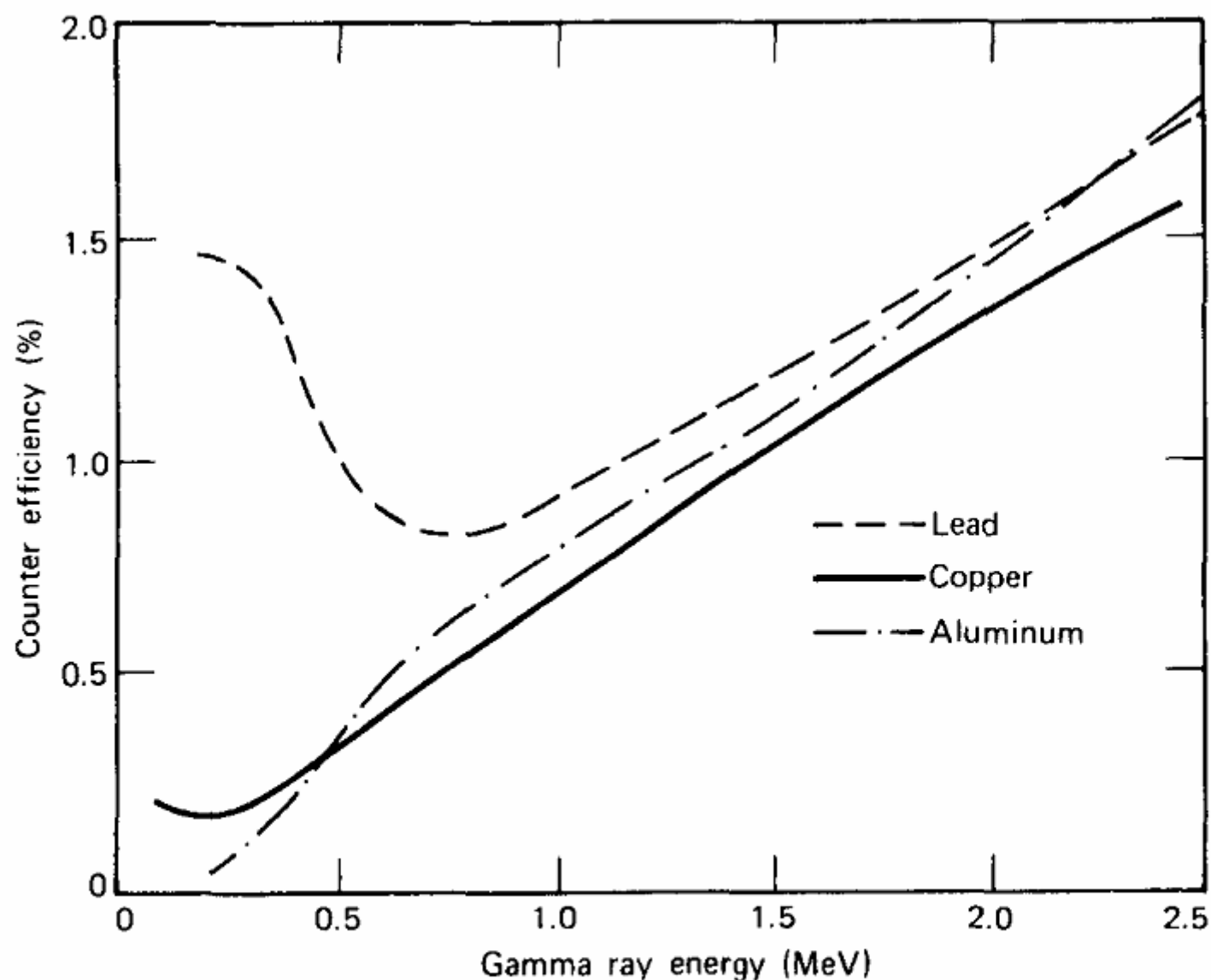


Figure 7.9 The efficiency of G-M tubes for gamma rays normally incident on the cathode. [From W. K. Sinclair, Chap. 5 in *Radiation Dosimetry* (G. J. Hine and G. L. Brownell, eds.). Copyright 1956 by Academic Press. Used with permission.]

- Поглощение γ -квантов происходит в основном в корпусе счетчика (катоде), в результате чего образуются быстрые электроны (фотоэффект и комптон-эффект) или пара электрон — позитрон. Чтобы эти частицы могли попасть внутрь счетчика и зарегистрироваться, толщина стенки должна быть не более миллиметра.
- При такой малой толщине стенок вероятность поглощения в них γ -квантов (эффективность) оказывается не более 1-2%.
- Вероятность регистрации α - и β -частиц, при условии их попадания в рабочий объем счетчика, практически равна 100%.

СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ