







Введение в радиобиологию

«Радиация невидимый, но очень опасный враг»

Доцент

Луцык Михаил Анатольевич

□ «Был у всей медицины: распознать умеют отлично, всю болезнь расскажут тебе как по пальцам, ну а вылечить не умеют.... Совсем, совсем исчез прежний доктор, который ото всех болезней лечил, теперь только одни специалисты...».

Ф.М. Достоевский

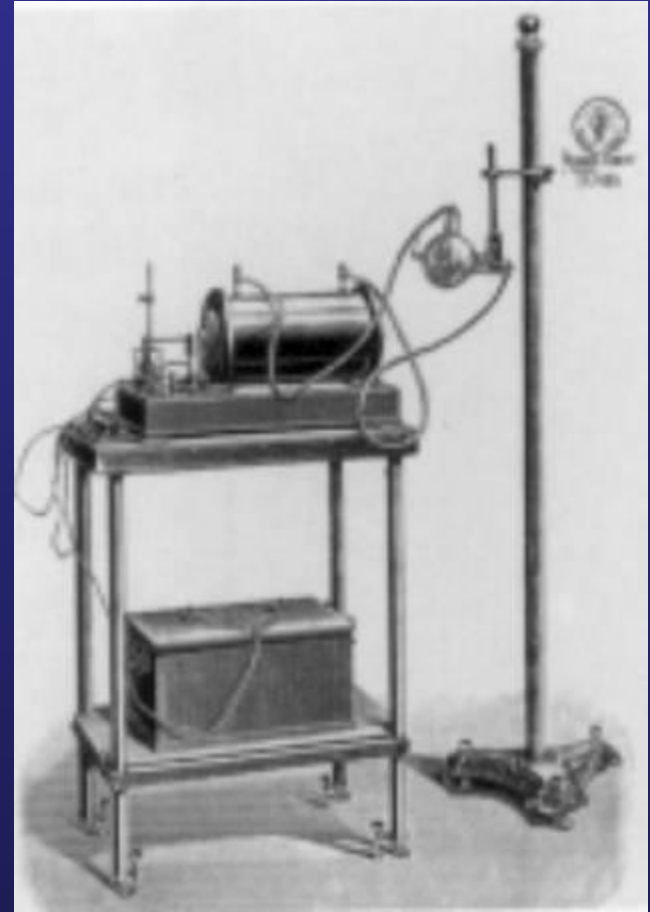
Ионизирующие излучения – неотъемлемый фактор существования нашей Вселенной



Открытие X-лучей (1895)



Wilhelm Conrad Roentgen



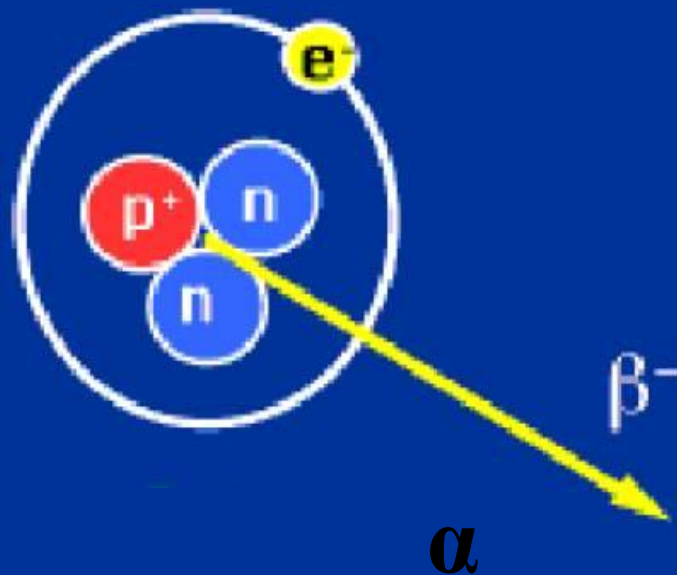
Свойства X-лучей

- невидимы невооружённым глазом;
- проникают сквозь непрозрачные для видимого света материалы;
- не отражаются от зеркальных поверхностей;
- не фокусируются оптическими линзами и не преломляются оптическими призмами;
- не дают интерференционную картину при пропускании сквозь обычные дифракционные решётки;
- частично задерживаются различными материалами в прямой зависимости от плотности этих материалов;
- изменяют цвет стекла, минералов, засвечивают фотопластинки, завернутые в светонепроницаемую бумагу;
- ионизируют газы

Открытие естественной радиоактивности (1896)



**Antoine Henri
Becquerel**



Radioactive



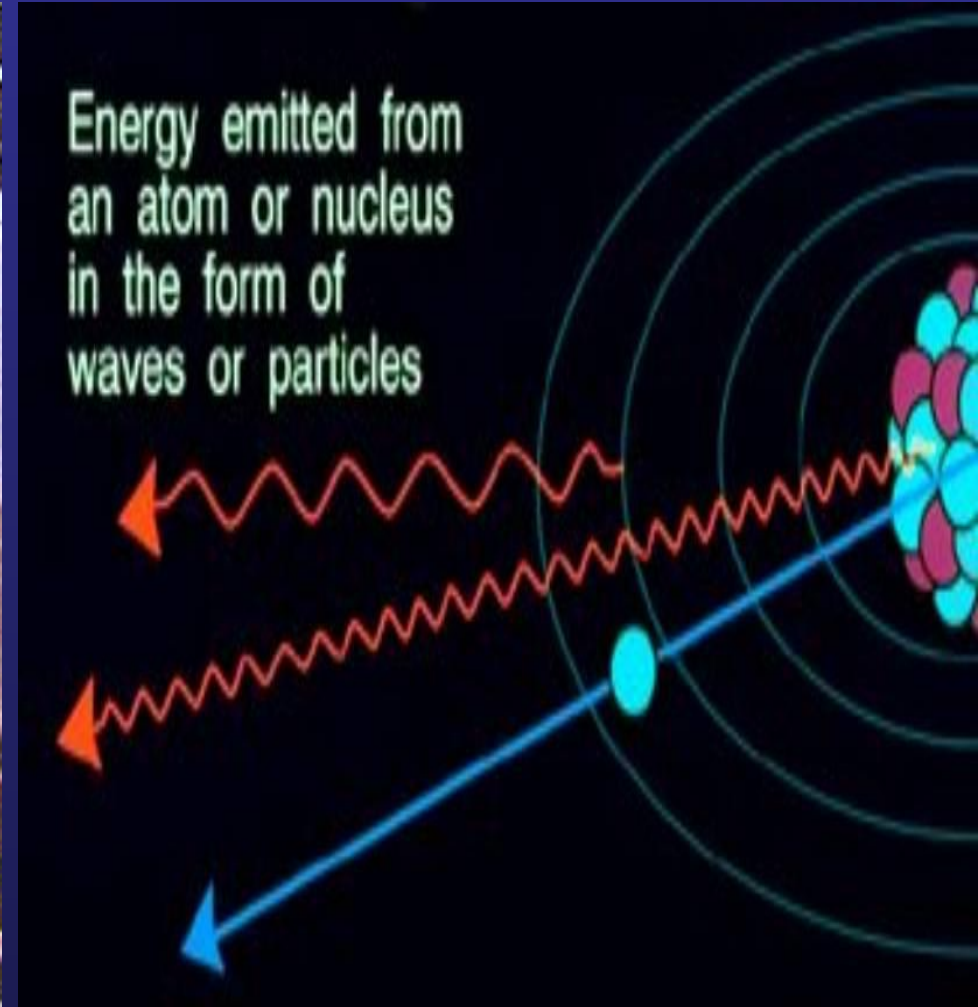
Изучая действие люминесцирующих веществ на фотопленку, французский физик **Антуан Беккерель** обнаружил неизвестное излучение. Он проявил фотопластинку, на которой в темноте некоторое время находился медный крест, покрытый солью урана. На фотопластинке получилось изображение в виде отчетливой тени креста. Это означало, что соль урана самопроизвольно излучает. За открытие явления естественной радиоактивности Беккерель в 1903 году был удостоен Нобелевской премии.



Получение полония и радия (1898)

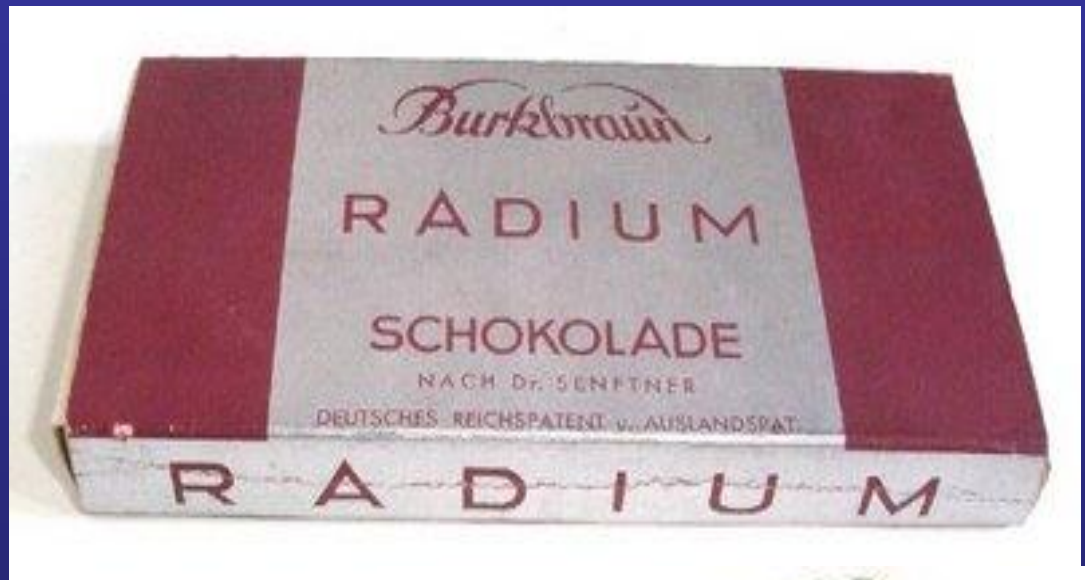


Marie Curie





После открытия радиоактивности на рынке появилось множество новых товаров с волшебными свойствами: с радием выпускалось мороженое, чай, губная помада, зубная паста, кремы для волос, соли для ванн, костюмы, светящиеся в темноте...





**Radithor - средство
для лечения желудка,
психических
заболеваний, для
восстановления
сексуальной энергии...**

**Американский
бизнесмен Байерс,
выпивавший по
одному пузырьку в
день в течение
четырех лет, умер от
рака челюсти /почти
полный распад
лицевых костей/**

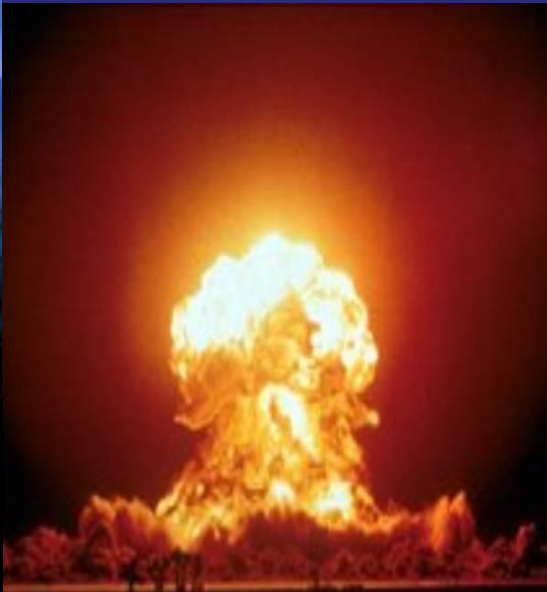
Открытие вредных эффектов радиации

- Первые сообщения о **местных лучевых поражениях** (1896) и **лучевом раке кожи** (1902)
- Первые сообщения о **радиационной стерильности** (1903) и **лучевых лейкозах** (1911)

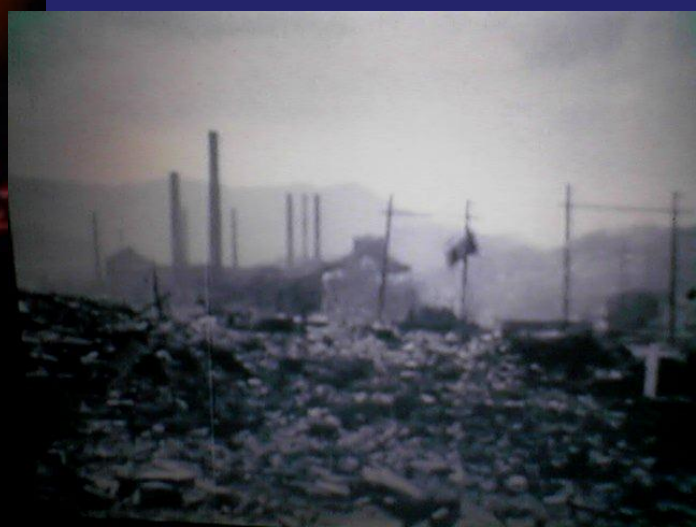


- 1920-е: случаи **саркомы** среди художников
- 1930-е: **рак печени и лейкозы** от инкорпорации радионуклидов
- 1940-е: появление **лейкозов** среди пионеров радиобиологии

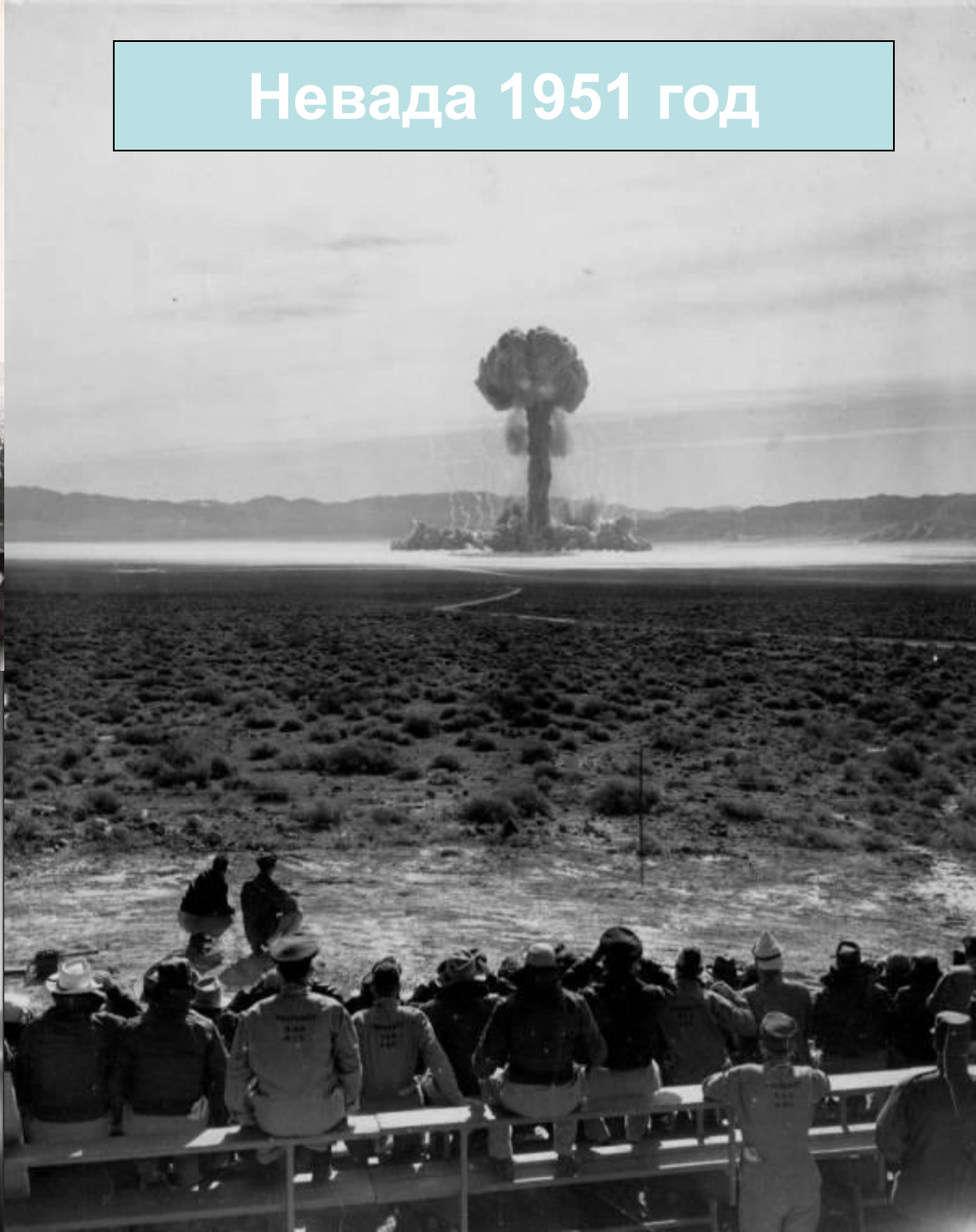
Применение атомного оружия в Японии (1945)



Хиросима,
6.08.1945
Нагасаки,
9.08.1945



Невада 1951 год





14 СЕНТЯБРЯ 1954 ГОДА
ВНЕДРЕНИЕ ИЫЮ ПРОВЕДЕНО
ВОЙСКОВОЕ УЧЕНИЕ
С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЯДЕРНОГО ОРУДИЯ
УЧЕНИЕМ РУКОВОДИЛ
ИМПАНИИ
СОВЕТСКОГО СОЮЗА
Р. К. ЖУКОВ

Чернобыльская АЭС

26 апреля 1986 года



АЭС Фукусима 11 марта 2011 года





**АЭС Фукусима
11 марта 2011**

Кыштымская авария 28 сентября 1957



Радиационные поражения от инкорпорации радионуклидов

Гойяния, Бразилия (1987)



Зараженная РВ территория – 4 000 000 м²
249 пораженных (¹³⁷Cs) людей,
129 – с инкорпорацией РВ, 4 – погибли

Общая характеристика радиационных аварий

- Радиационные аварии случаются весьма редко
- За период с 1944 по 2004 годы во всем мире произошло **428 радиационных инцидентов** со сверхнормативным облучением людей
- Во всех радиационных авариях радиационные поражения различной степени тяжести получили немногим **более 3 000 людей**
- От действия радиации при радиационных авариях **погибло 133 человека**

Опасность использования радиоактивных веществ в террористических целях

After September 11th, growing

apprehension that by shrouding a core of conventional explosives around a radioactive source....

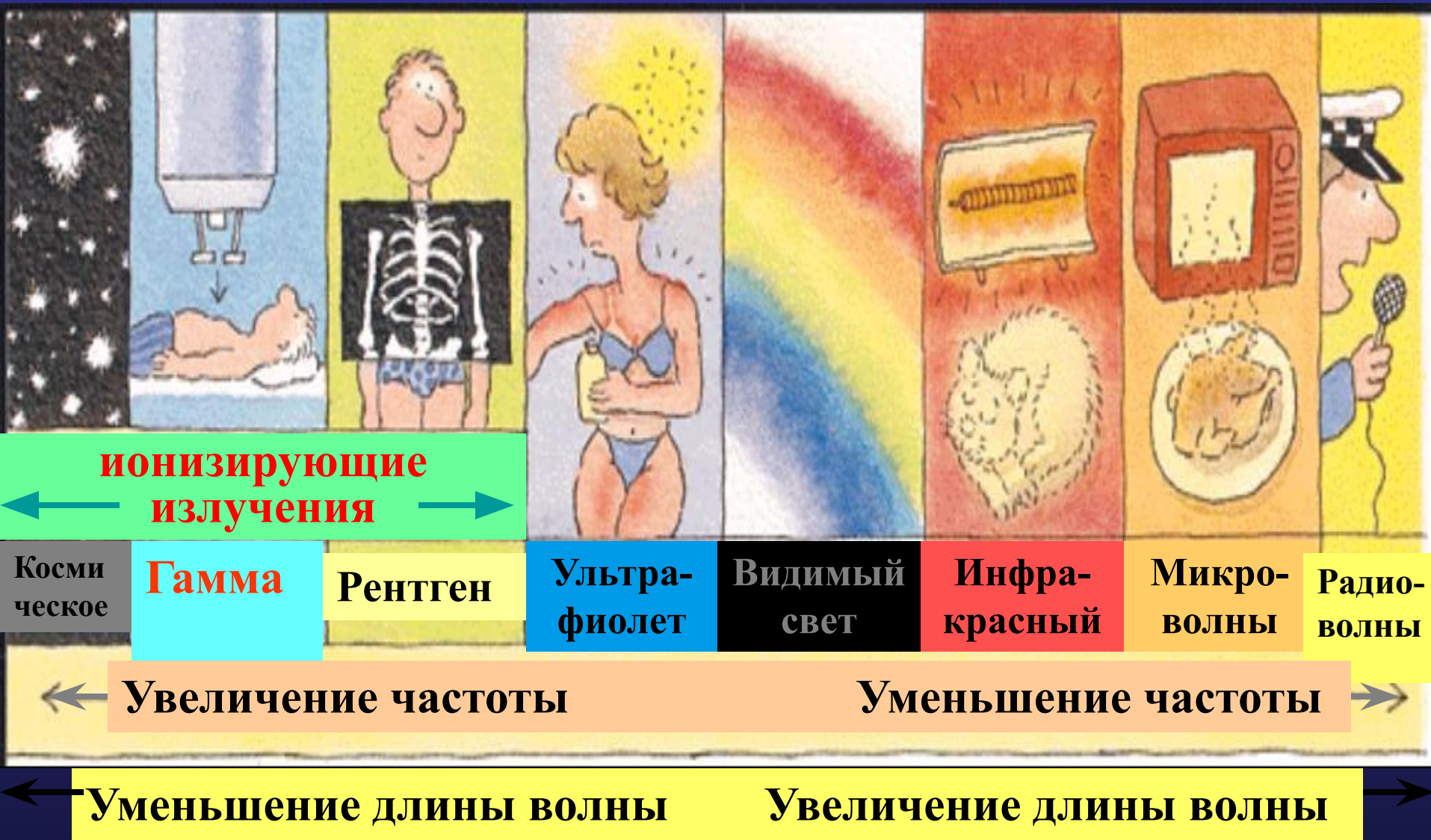


..... ПОДРЫВ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ...



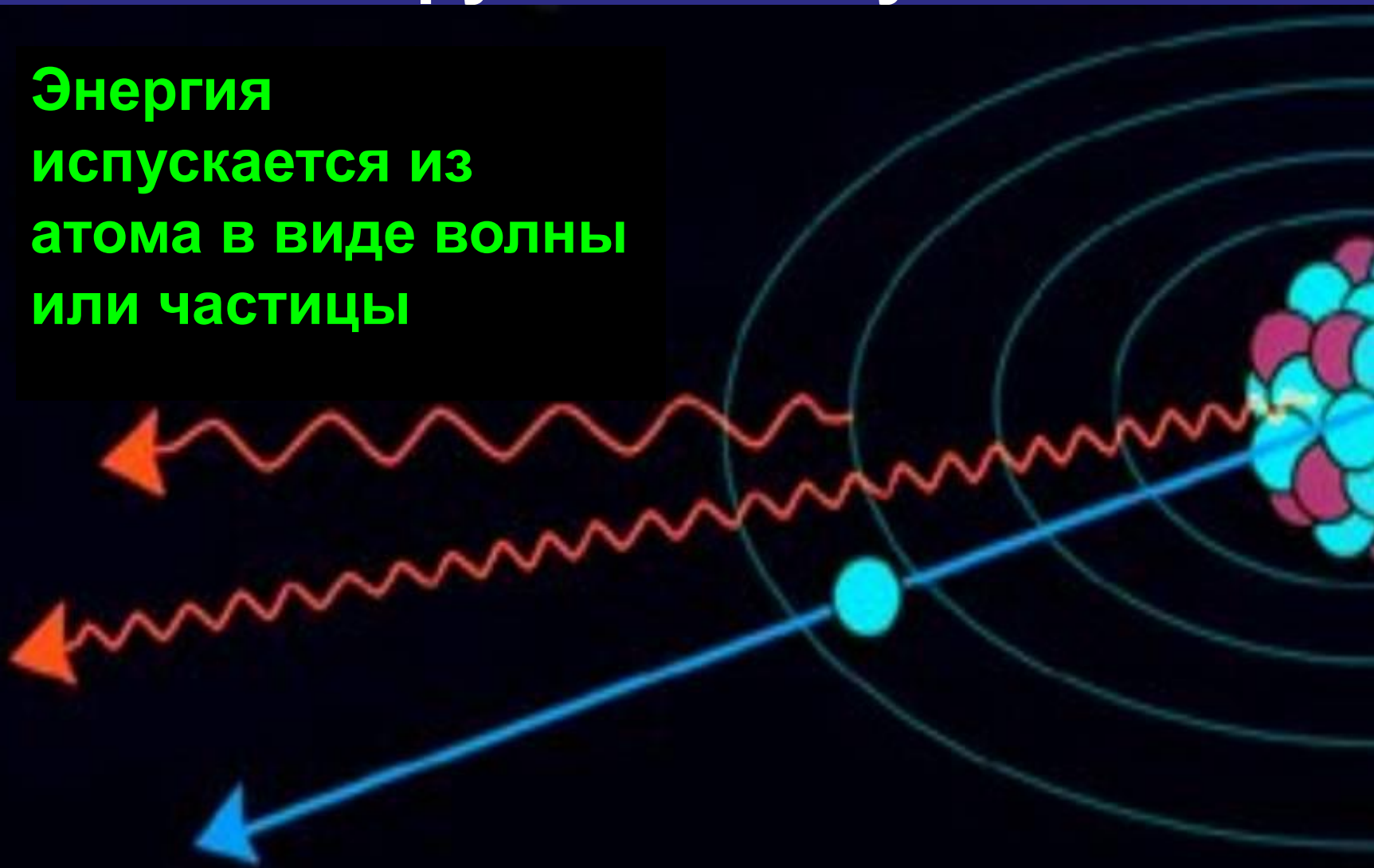
Свойства ионизирующих излучений

Что такое ионизирующие излучения?

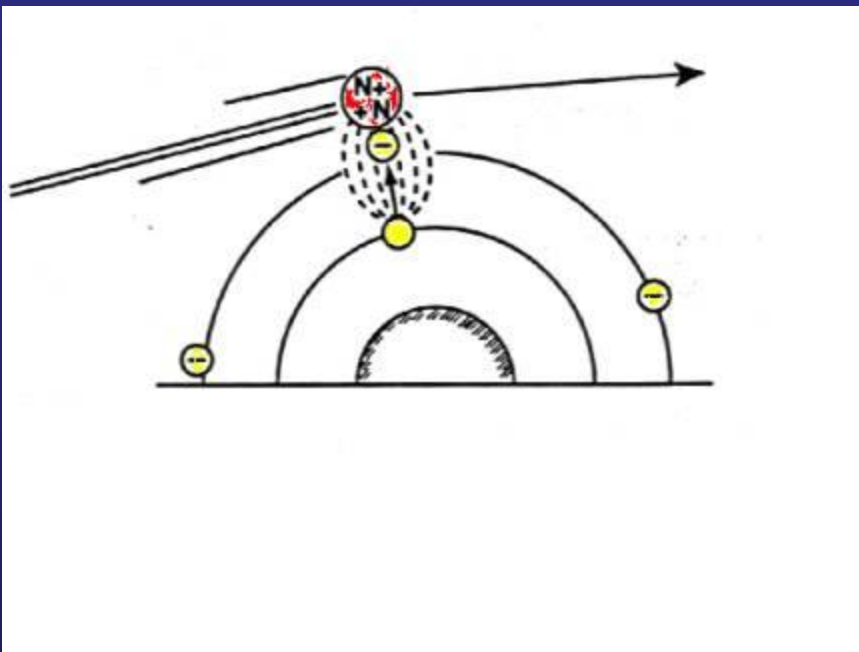


Какова природа ионизирующих излучений ?

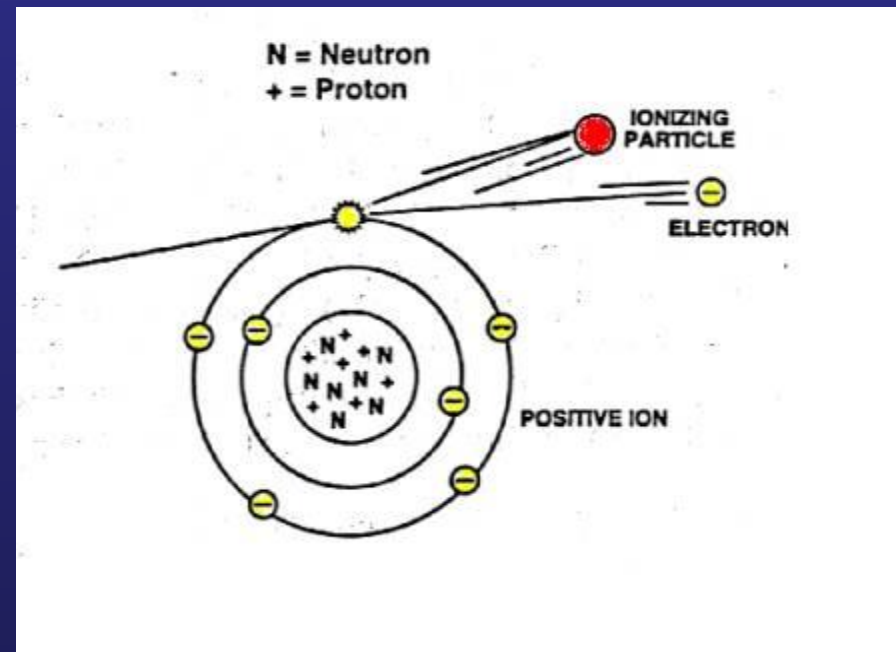
Энергия
испускается из
атома в виде волны
или частицы



Физические основы действия ионизирующих излучений

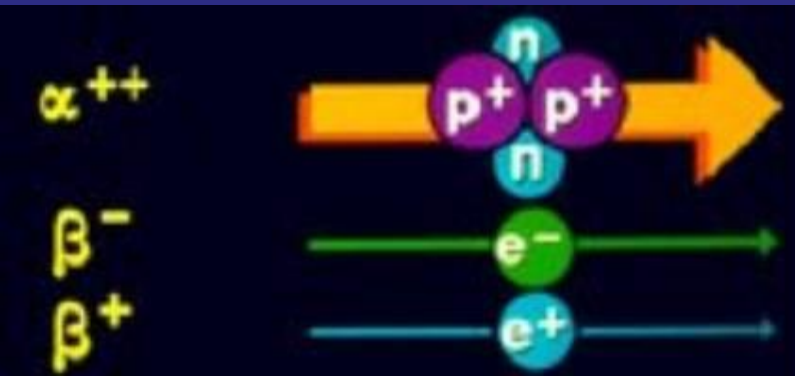


Возбуждение:
энергия $\sim 10\text{-}12$ эВ



Ионизация:
энергия > 34 эВ

Типы и виды ионизирующих излучений



Корпускулярные излучения
электроны и позитроны (β -частицы), мезоны, протоны, дейтроны, ядра гелия (α -частицы), тяжелые ионы – ускоренные заряженные частицы, имеющие массу и большую кинетическую энергию

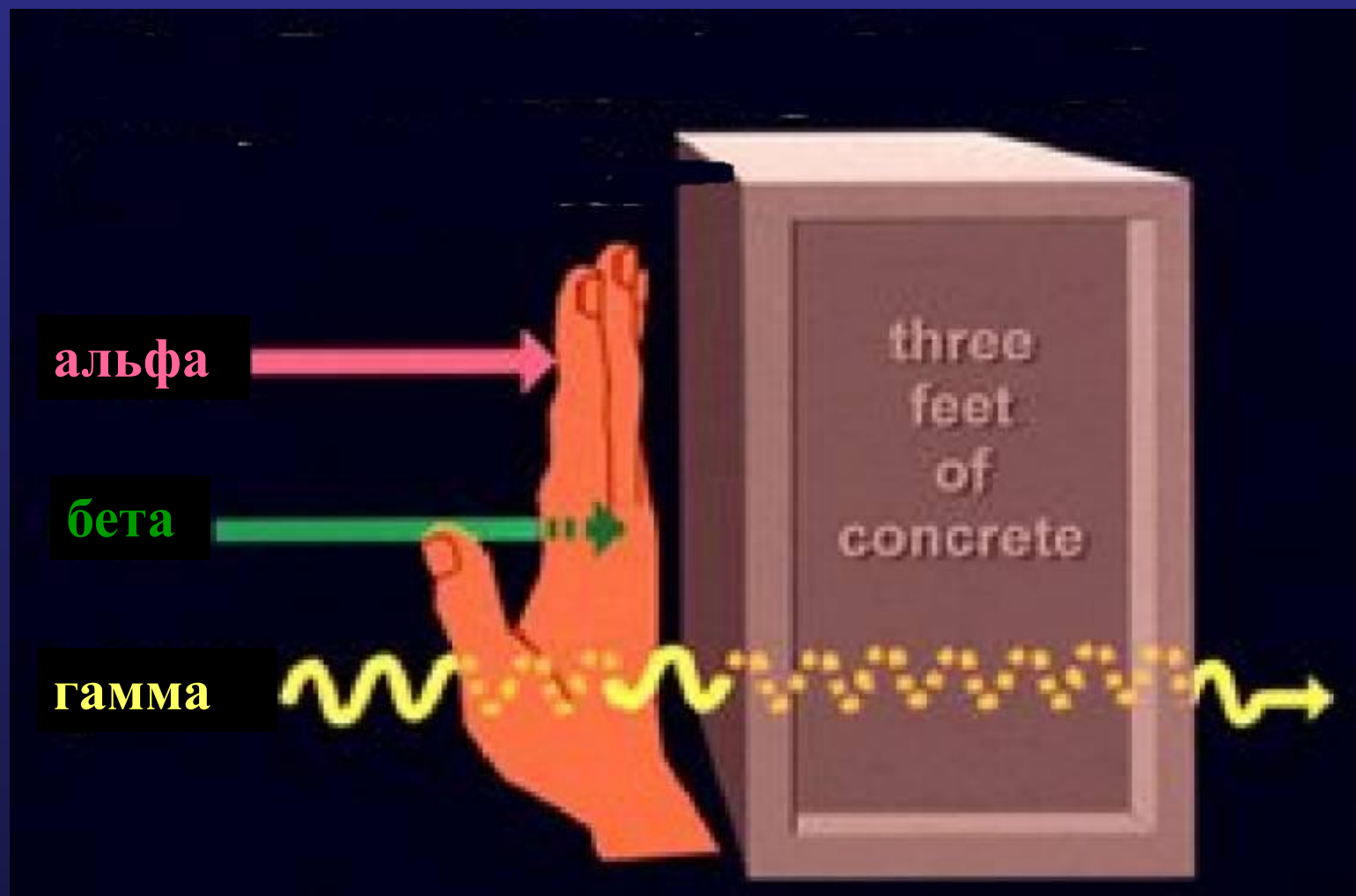


нейтроны – электрически нейтральные частицы с большой кинетической энергией

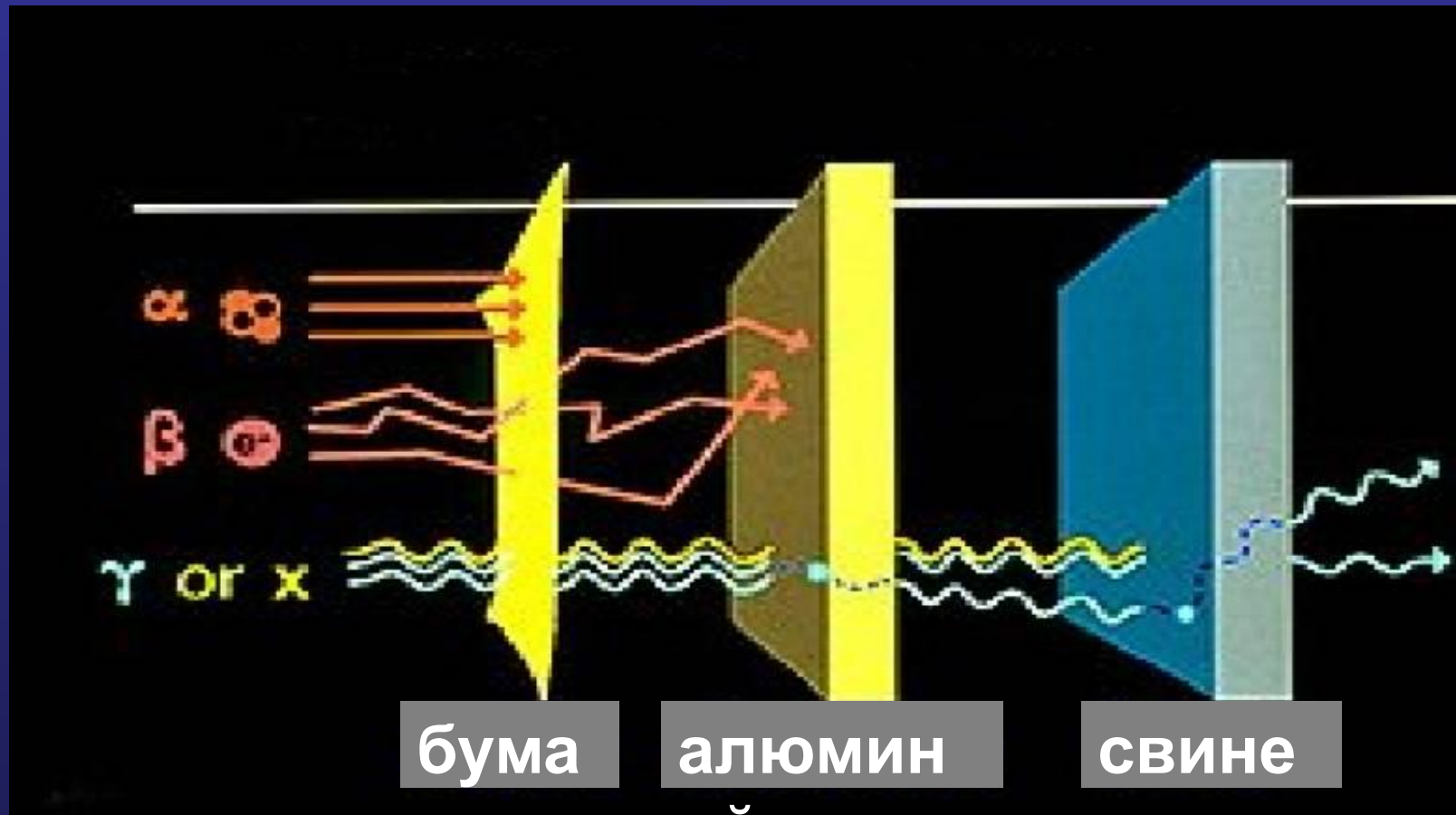


Электромагнитные излучения
рентгеновское и гамма-излучение – энергия электромагнитного поля, которая распространяется в пространстве со скоростью света

Проникающая способность ионизирующих излучений

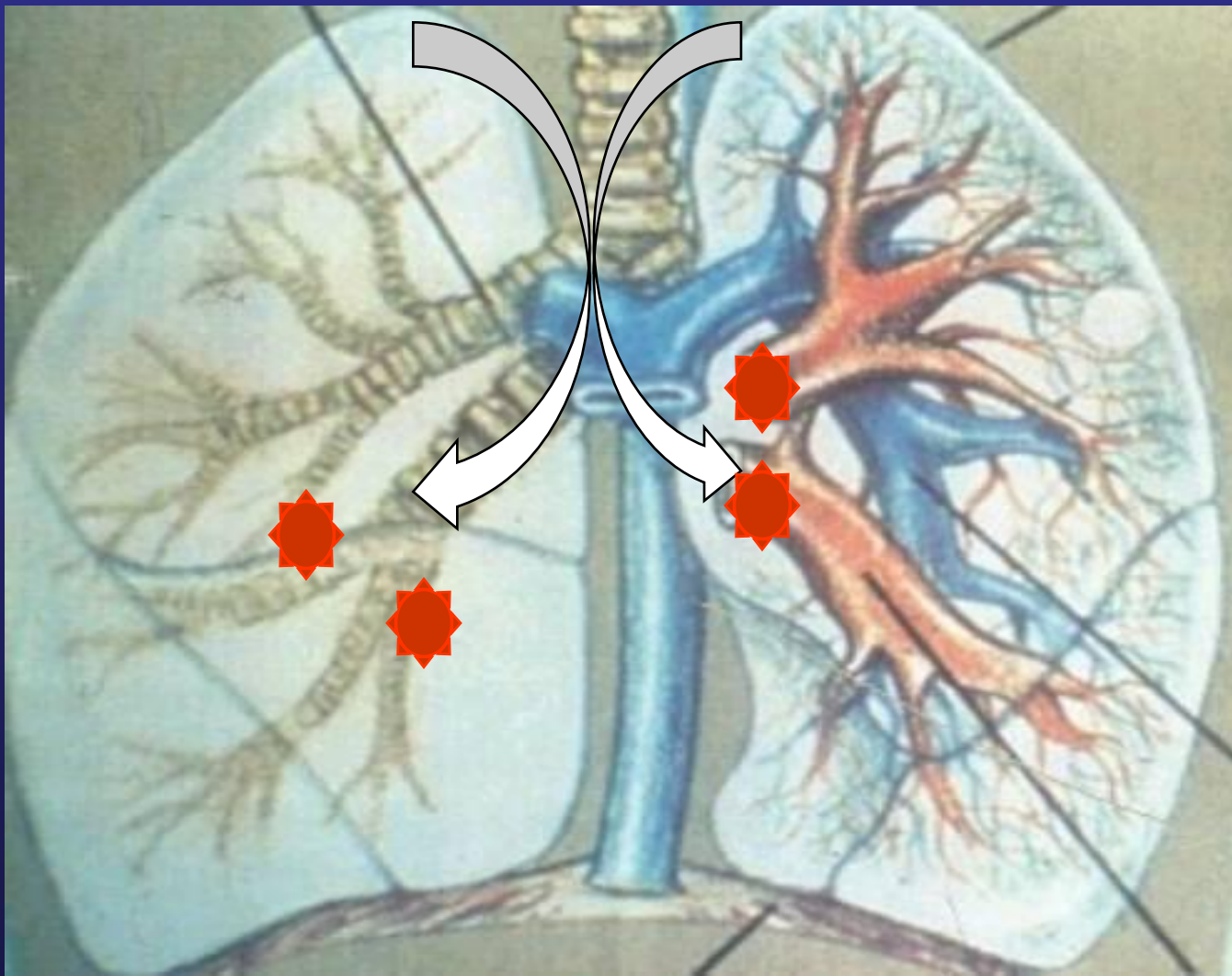


Защита экранированием

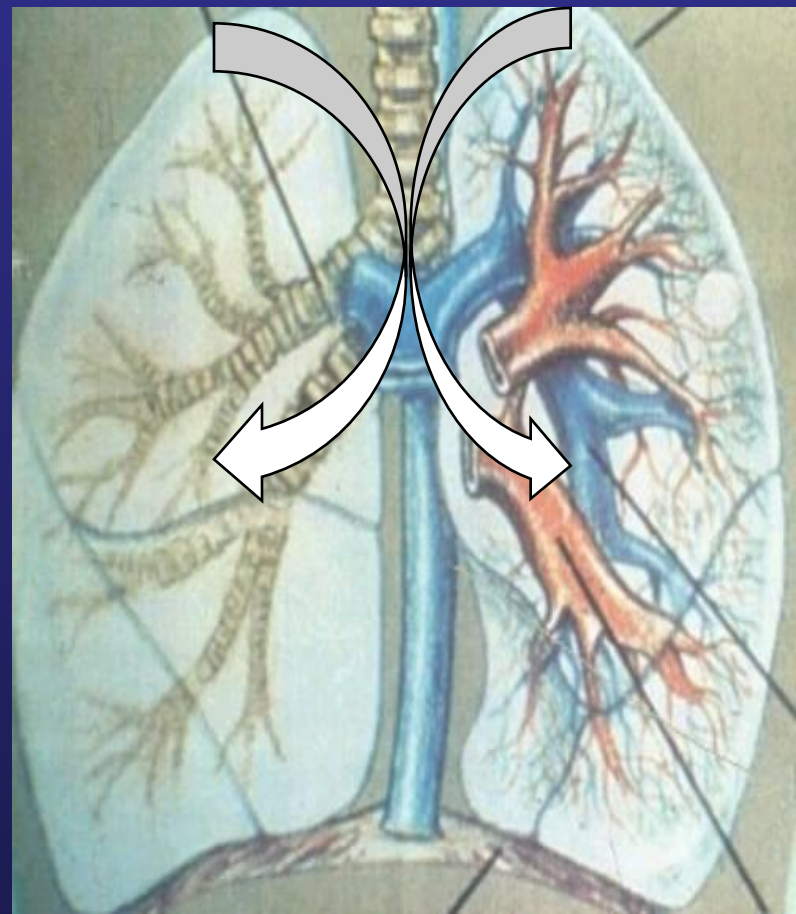


Защита расстоянием – основана на обратной зависимости интенсивности излучения от квадрата расстояния до его источника. **Защита временем** – минимизация продолжительности действия ионизирующих

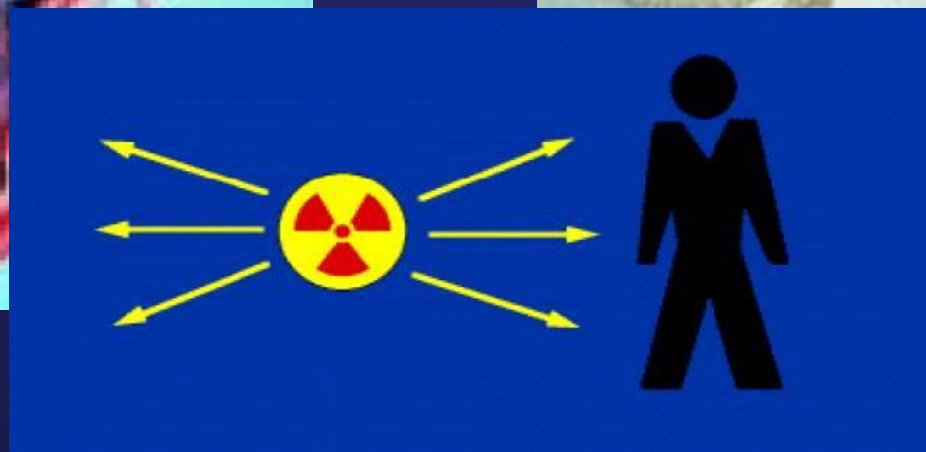
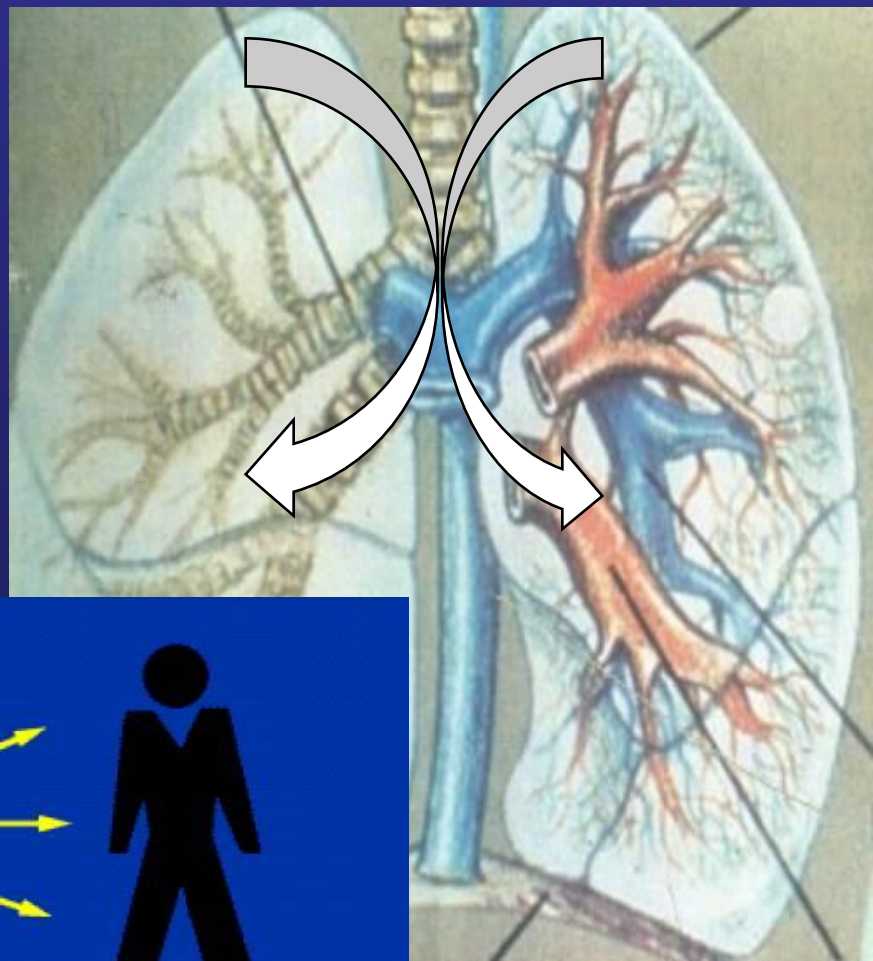
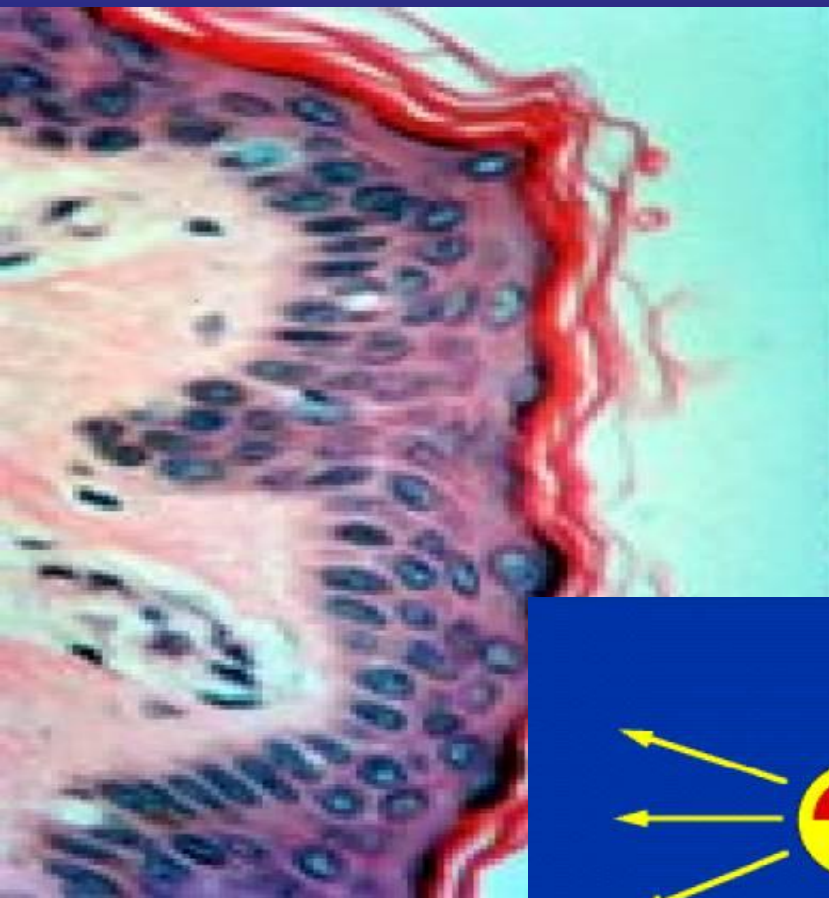
Опасность альфа-частиц для живой материи



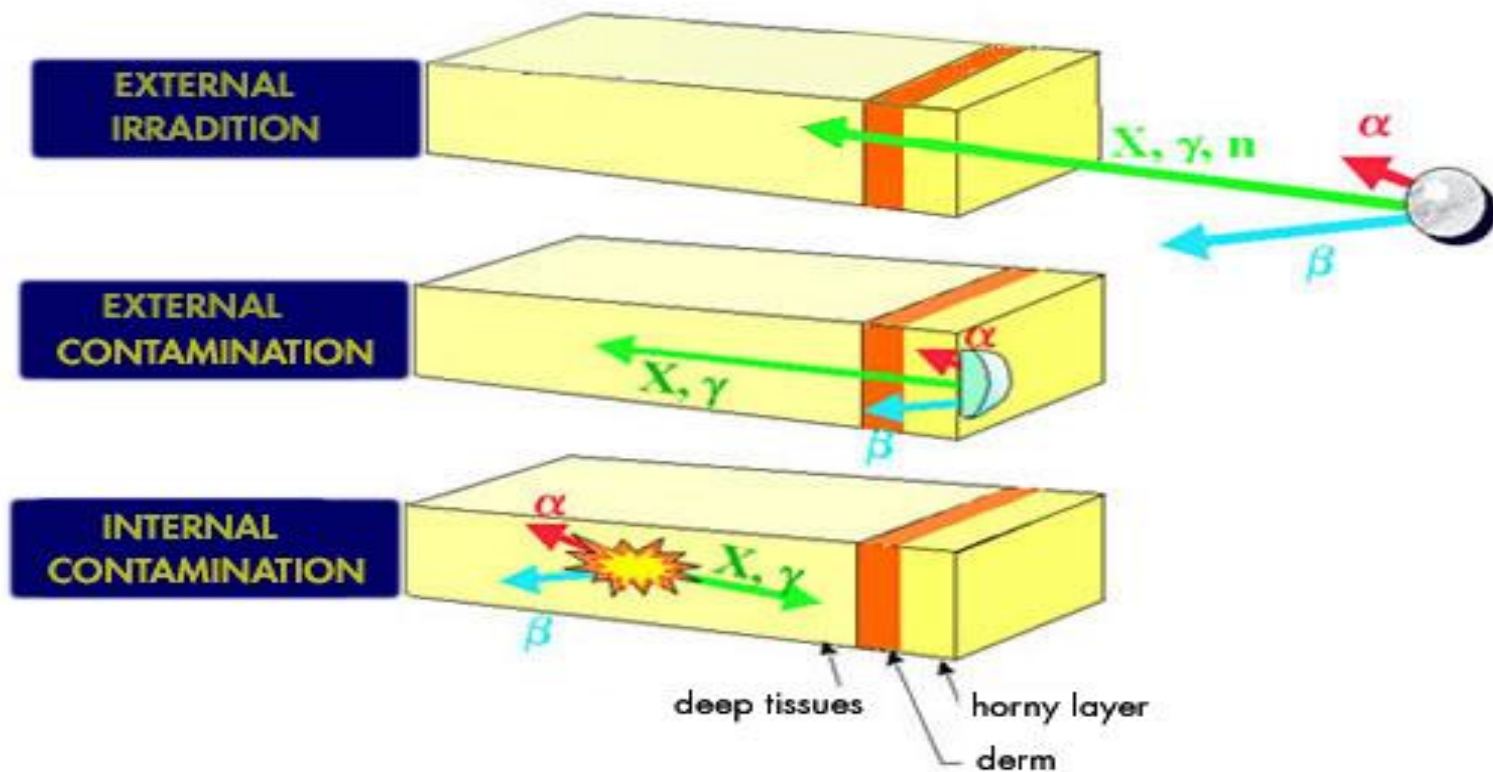
Опасность бета-частиц для живой материи



Опасность гамма-лучей для живой материи



Возможные виды радиационного воздействия



Подходы к измерению ионизирующих излучений

Экспозиционная доза (X) –

это суммарный заряд частиц с электрическим зарядом одного знака, образовавшихся в единичном объеме воздуха вследствие его ионизации излучением:

$$X = dQ / dm$$

где: dQ – суммарный заряд всех ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов, образованных фотонами излучения в малом объеме пространства, dm – масса воздуха в этом объеме

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$$

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

Поглощенная доза (D) – это количество энергии, переданной излучением единичной массе вещества:

$$D = dE / dm, dm \rightarrow 0$$

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}; 1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$$

Если поглощенная доза распределяется в каком-то одном участке тела – локальное (или местном) облучение.

Если облучению подвергается все тело или большая его часть – тотальное (или общее) облучение.

Вариантами тотального облучения являются равномерное (неравномерность по дозе на отдельные части тела не превышает 10 %) и неравномерное облучение

Эквивалентная доза (Н) – это поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения:

$$H = D \cdot Q$$

где: D – поглощенная доза в данной точке ткани, а Q – средний коэффициент качества излучения, который устанавливается для каждого вида излучения в зависимости от его коэффициента ЛПЭ

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$$

Для рентгеновского, γ - и β -излучений

1 Зв соответствует поглощенной дозе в 1 Гр

При кратковременных лучевых воздействиях:

$$H = D \cdot \text{ОБЭ}$$

где: H – эквивалентная доза, бэр; D – поглощенная доза, рад; ОБЭ – коэффициент относительной биологической эффективности

Относительная биологическая эффективность различных видов ионизирующих излучений для клеток

Вид ионизирующего излучения	Коэффициент ОБЭ
Рентгеновское (180-250 кВ)	1
Гамма кванты	1
β -частицы	1
Нейтроны медленные	3
Нейтроны быстрые	10
α -частицы	20

Доза эффективная

Эффективная доза (E) – это величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности, Зв

Коллективная эффективная доза (E) – это мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения, равная сумме индивидуальных эффективных доз, чел.-Зв

Мощность дозы (Р) – это доза (экспозиционную, поглощенную или эквивалентную), регистрируемая за единицу времени.

Непосредственно измеряют, как правило, мощность экспозиционной дозы. Ее единицей в системе СИ является **Кл/(кг·с)**. Весьма часто пользуются внесистемной единицей мощности экспозиционной дозы – **Р/час** и ее производными (**мР/час, мкР/час**)

Количество радиоактивных веществ

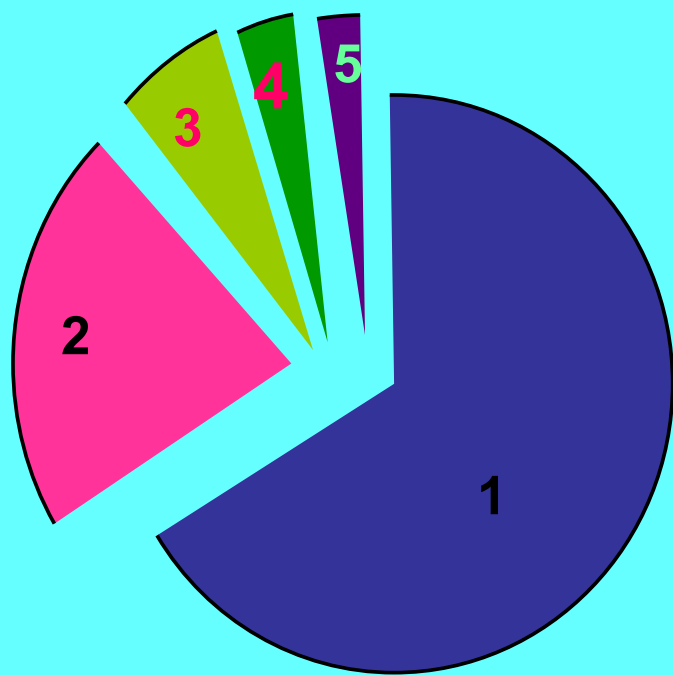
В основу измерения количеств радиоактивных веществ положено свойство радиоактивности, то есть способности к испусканию ионизирующих излучений. В системе СИ за единицу радиоактивности принят 1 распад в секунду (**Бк**), а традиционной единицей является кюри (**Ки**).

Активность, отнесенная к единице объема или единице массы зараженного радионуклидами вещества, называется удельной активностью вещества, Бк/кг или Бк/м³.

Активность, приходящаяся на единицу площади зараженной радионуклидами поверхности, называется плотностью поверхностного заражения
Бк/м² (Ки/м² или расп./мин. · см²)

Источники радиационного воздействия на человека

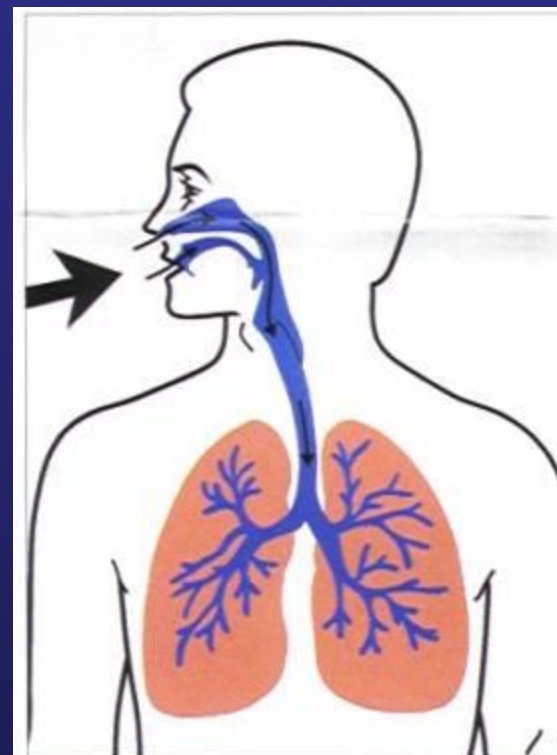
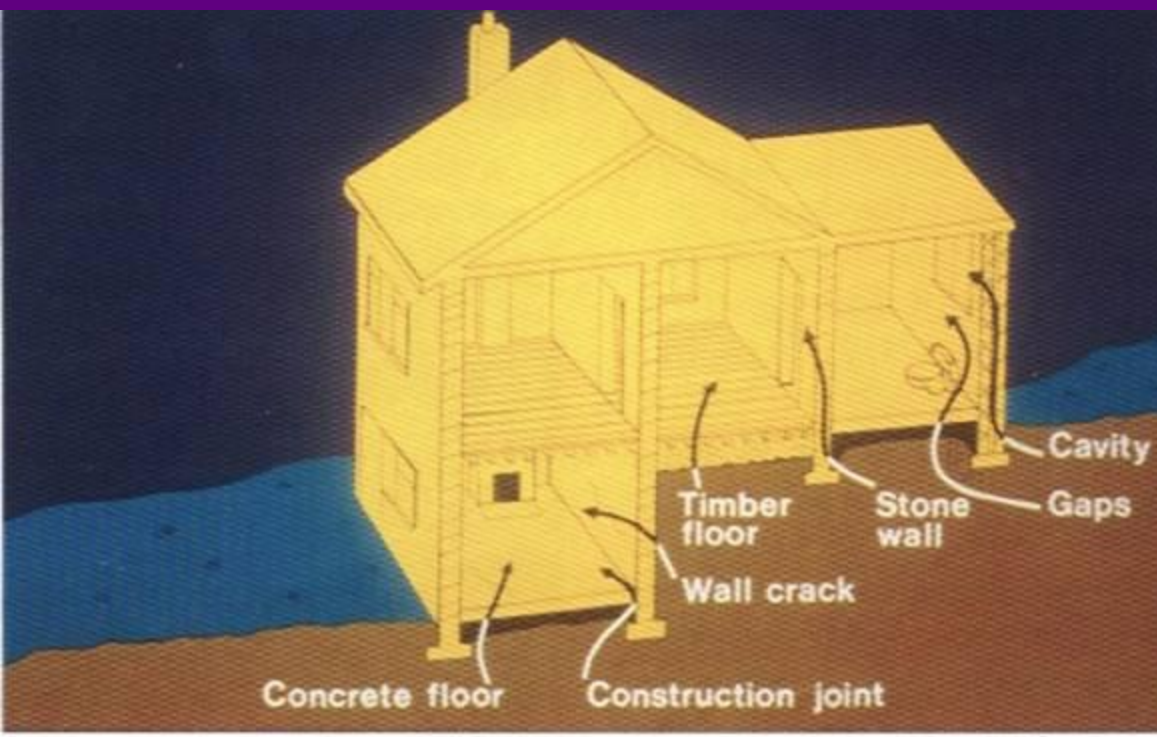
Основные источники ионизирующих излучений



- 1 Естественный радиационный фон (70%)
- 2 Облучение в медицинских целях (29%)
- 3 Испытательные ядерные взрывы (0,3%)
- 4 Профессиональное облучение (0,06%)
- 5 Выработка ядерной энергии (0,006%)

Земная радиация: внешнее и внутреннее облучение

Возможные пути поступления радионуклидов



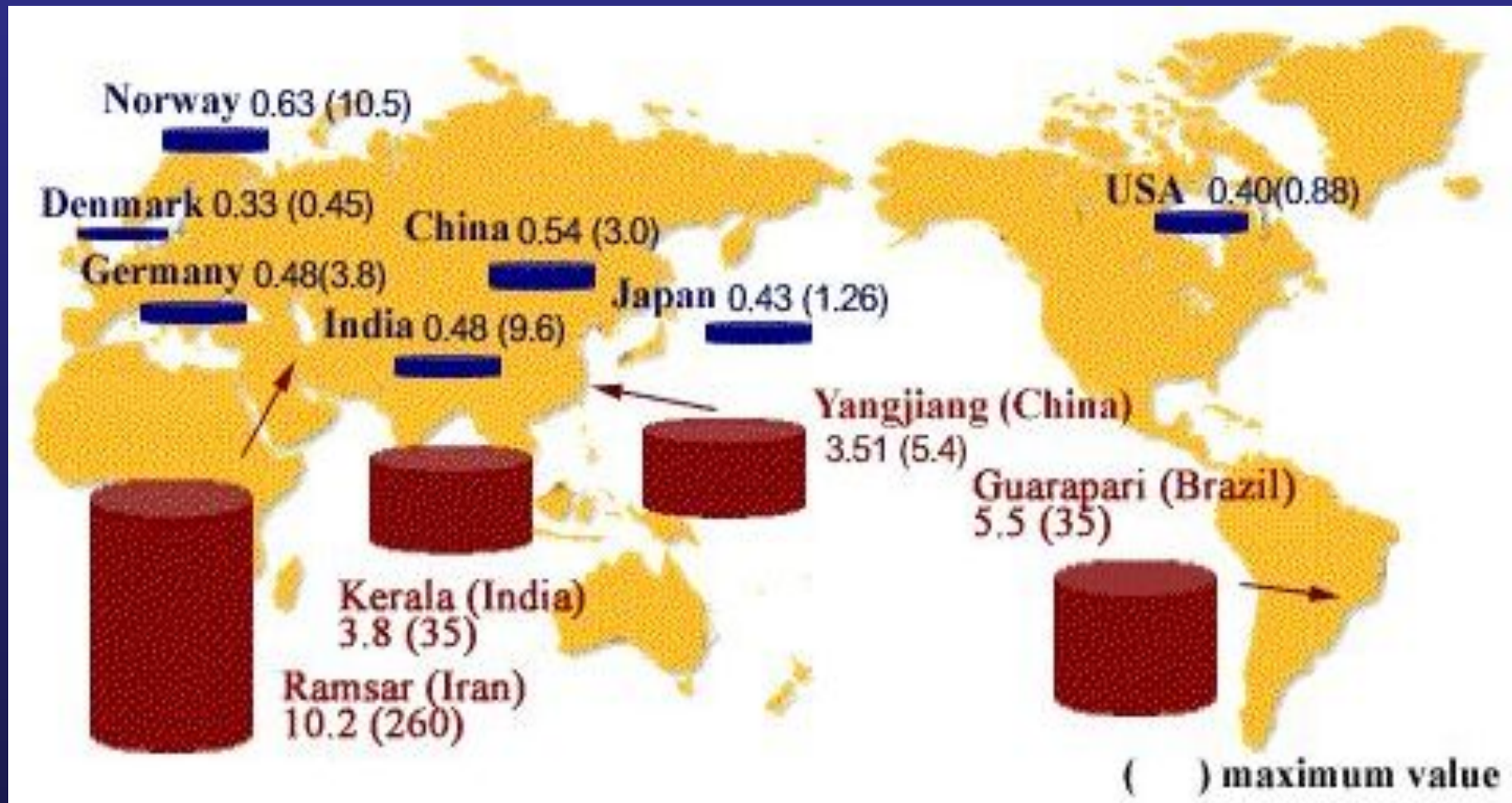
Калий-40

Уран-238 → Радон-222

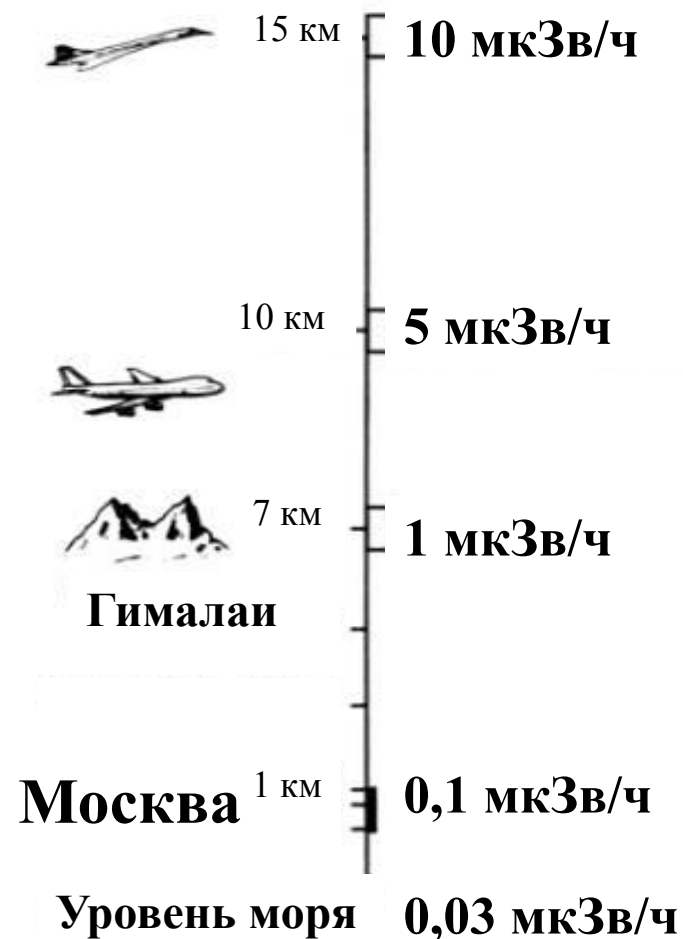
Рубидий-87

Торий-232 → Радон-220

Зоны повышенного радиационного фона



Космическое излучение: внешнее облучение



Продукты питания, вода, воздух: внутреннее облучение



Калий-40

Уран-238 и продукты
его распада

Свинец-210

Полоний-210

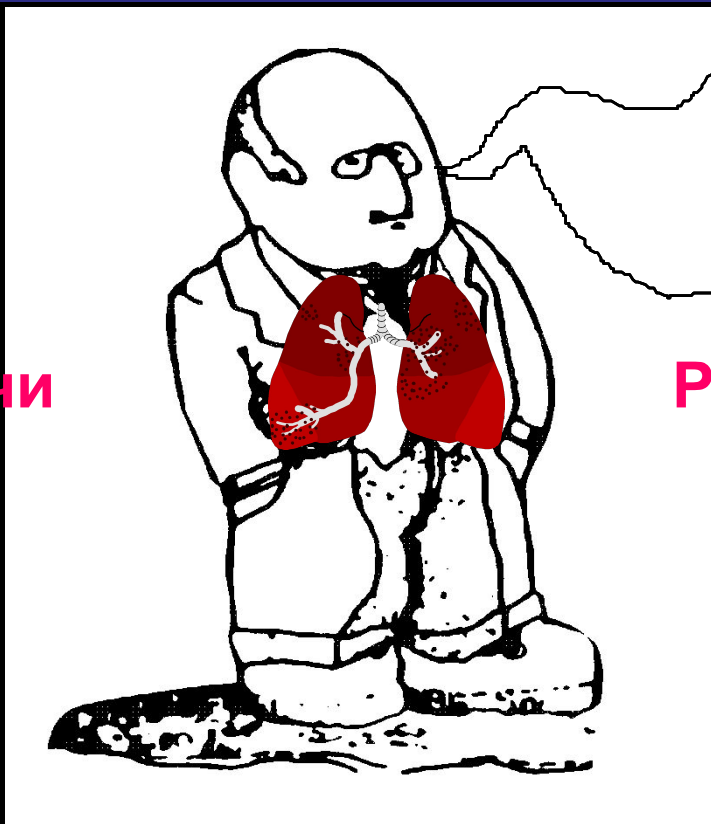
Дозовые нагрузки от естественных источников радиации



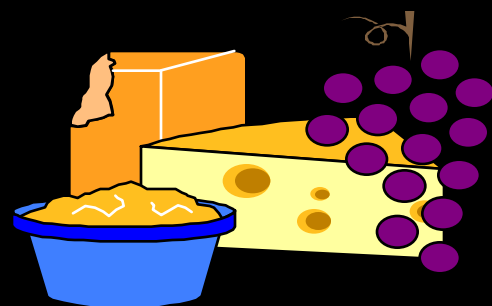
Космические лучи
- 0.3 мЗв



Земная радиация
- 0.3 мЗв

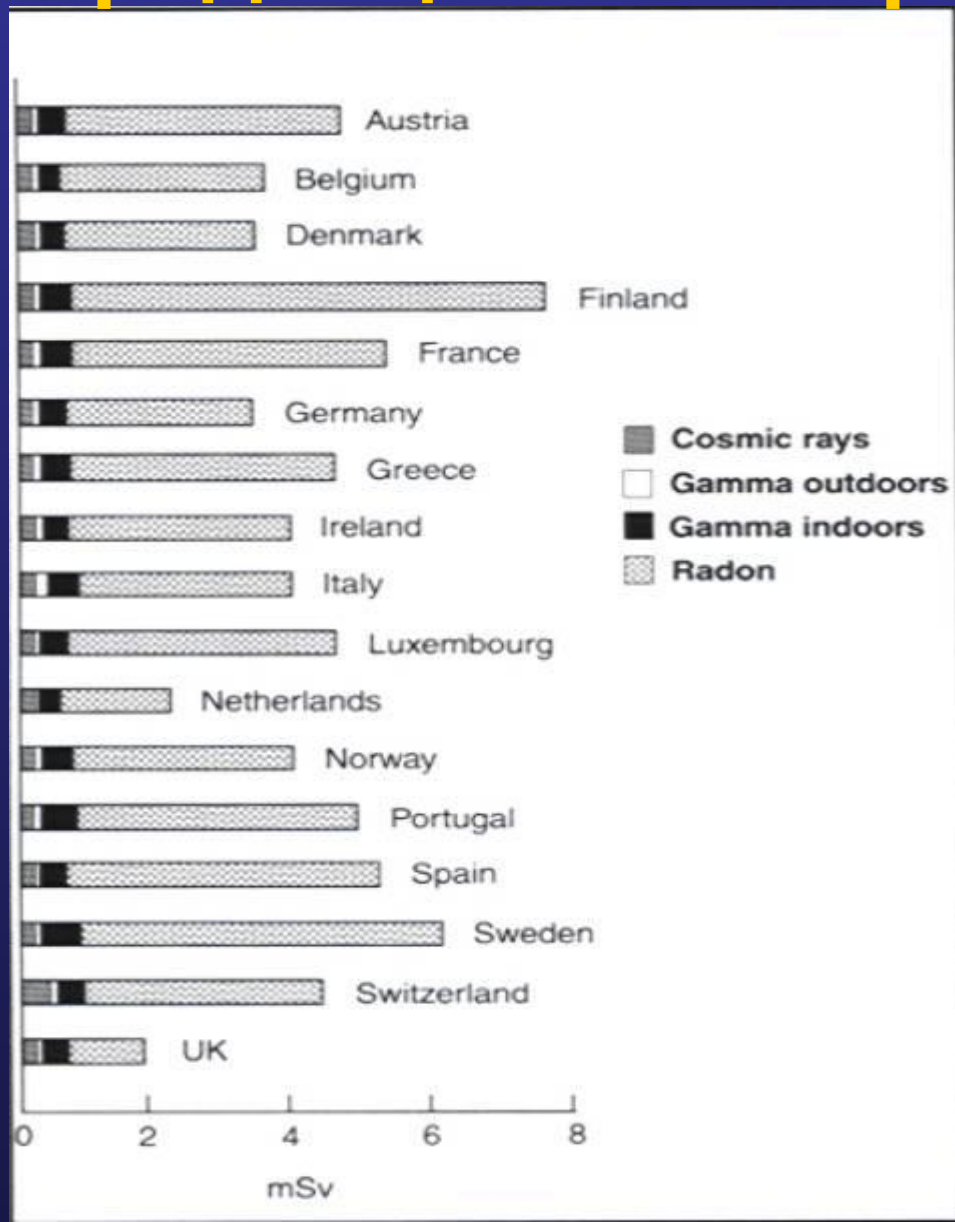


Радон – до 2 мЗв



Продукты питания
- 0.4 мЗв

Уровни естественного радиационного фона в Европе



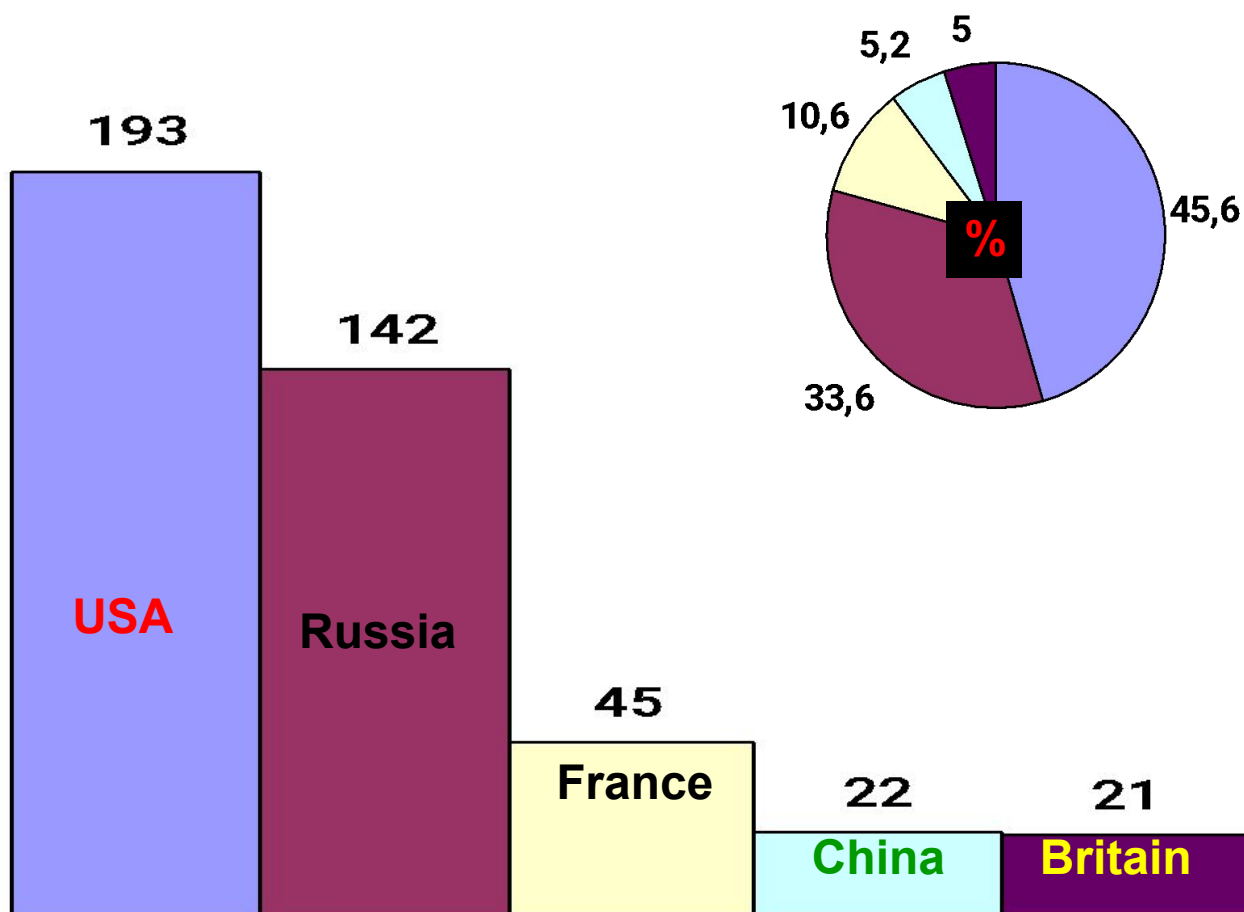
Естественный радиационный фон в европейских странах составляет 2.0 - 4.0 мЗв в год

Общее число ядерных взрывов за период с 1945 по 1998 год

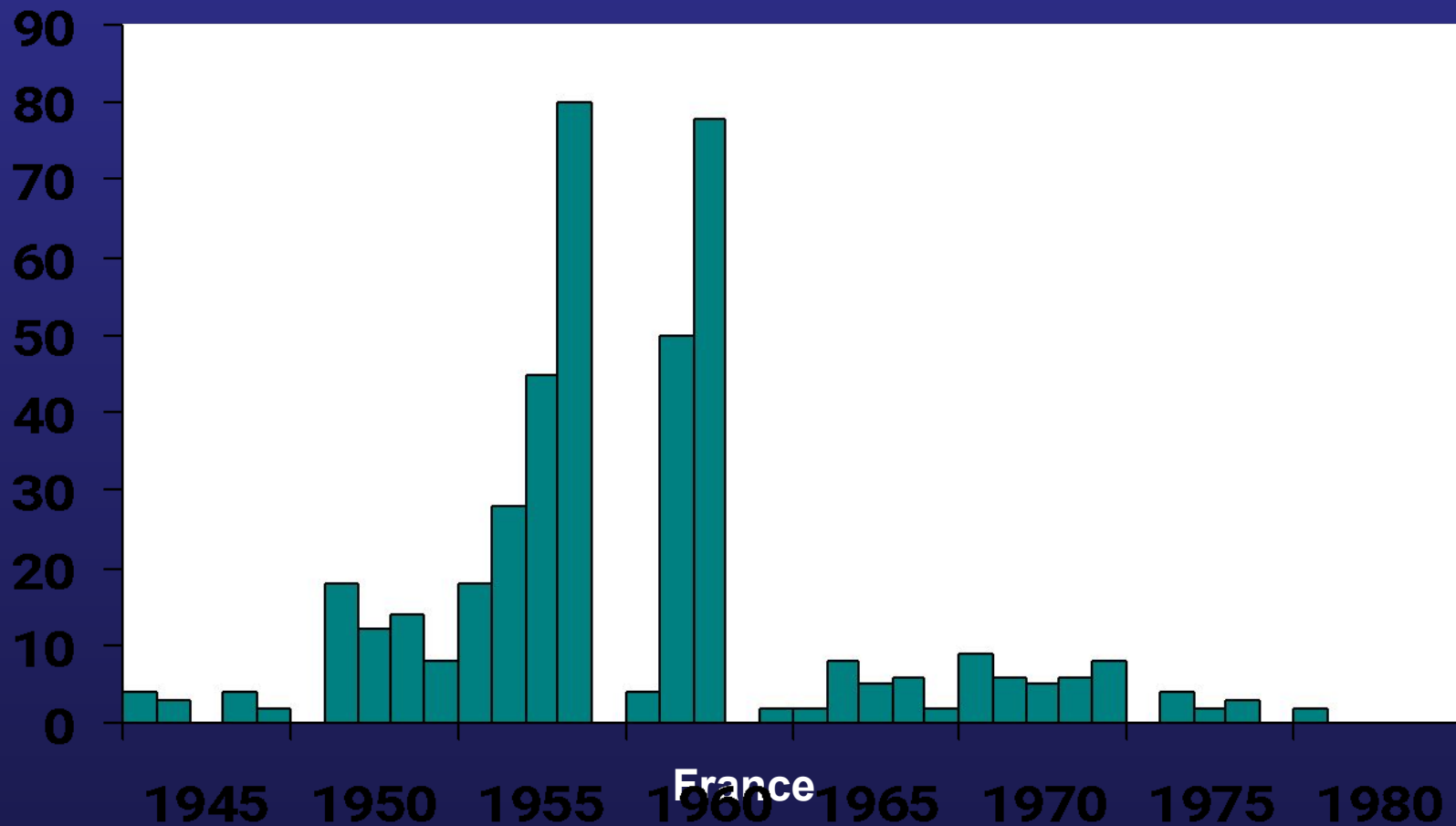


Страна	Число взрывов
США	1030
СССР – Россия	716
Франция	210
Великобритания	44
Китай	45
Индия	6
Пакистан	5
Всего 2056 ядерных взрывов	

Общее число ядерных испытаний в атмосфере



Динамика ядерных испытаний в атмосфере

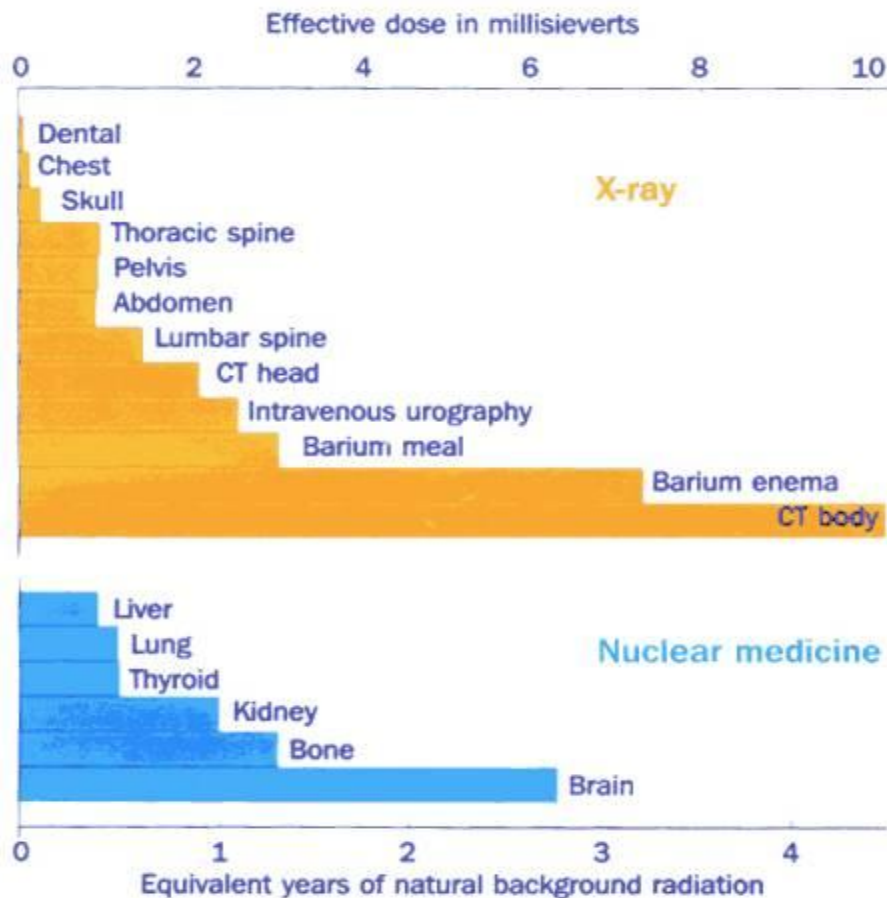


Дозовые нагрузки на людей и радиационные эффекты

- **0.1 мЗв:** одна флюорография или один трансатлантический перелет
- **2-4 мЗв:** среднегодовая доза радиационной нагрузки для большинства людей на Земле
- **20 мЗв:** предельно допустимая годовая доза для населения большинства стран
- **100 мЗв за год:** пороговая доза для развития детерминированных эффектов пролонгированного или хронического облучения
- **1000 мЗв:** пороговая доза для развития детерминированных эффектов острого облучения
- **10 000 мЗв:** смертельная доза для человека при остром облучении

Дозовые нагрузки при медицинских процедурах

Typical doses for X-ray and nuclear medicine examinations in millisieverts (mSv) and as equivalent years of natural background radiation



	Эффек- тивная доза, мЗв	Время воздействия природных факторов
Рентгеновские исследования		
Грудная клетка	0.02	3 дня
Живот	1.0	6 месяцев
Органы таза	4.6	2.5 года
Введение бария	9.0	4.5 года
Компьютерная томография	8.0	4 года
Радиоизотопные исследования		
Щитовидная железа	1.0	6 месяцев
Костная ткань	3.6	1.8 лет

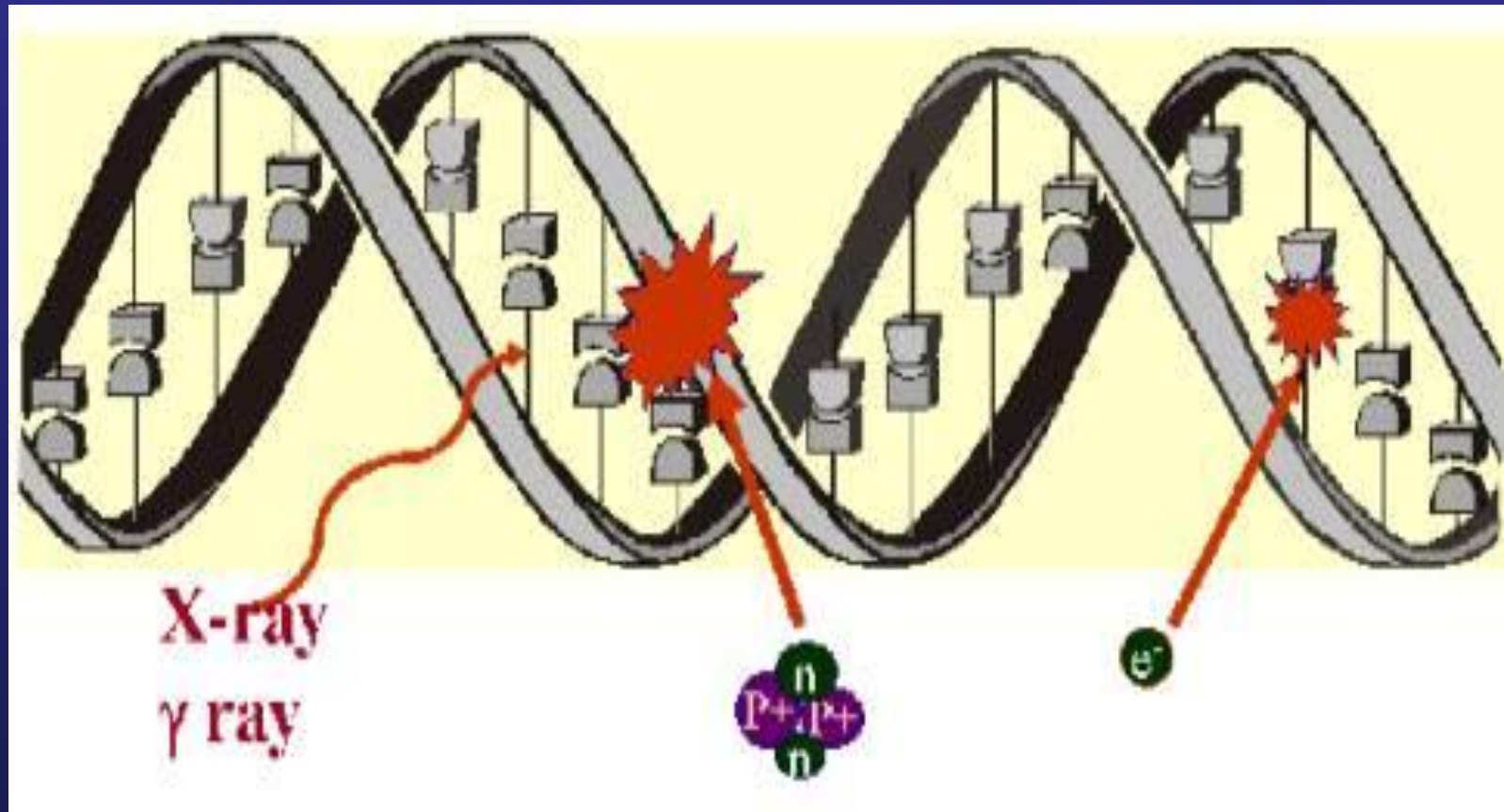
Сравнение одинаковых рисков от различных источников

- Приблизительно 1 случай смерти на 10,000 населения возникнет вследствие
- Работы в течение 1 года в промышленности
 - Получения 50 мЗв общего облучения
 - Выкуривания 10 пачек сигарет
 - Проживания с курящим человеком 15 лет
 - Выпивания 50 бутылок водки
 - Проезда 1,000 километров на мотоцикле
 - Проезда 30,000 километров на автомобиле
 - 10,000 часов полета на самолете

Стадии действия ионизирующих излучений

Физическая	Поглощение энергии излучения; образование возбужденных и ионизированных атомов и молекул	10^{-16} – 10^{-15} с
Физико-химическая	Перераспределение поглощенной энергии внутри молекул и между ними, образование свободных радикалов	10^{-14} – 10^{-11} с
Химическая	Реакции между свободными радикалами и между ними и интактными молекулами. Образование широкого спектра молекул с измененными структурой и функциональными свойствами	10^{-6} – 10^{-3} с
Биологическая	Последовательное развитие поражения на всех уровнях биологической организации: от субклеточного до организменного. Развитие процессов биологического усиления и репарационных процессов	Секунды – годы

Прямое действие радиации



Ионизирующее излучение + $RH \rightarrow R^{\cdot-} + H^{\cdot+}$

Радиолиз молекул воды

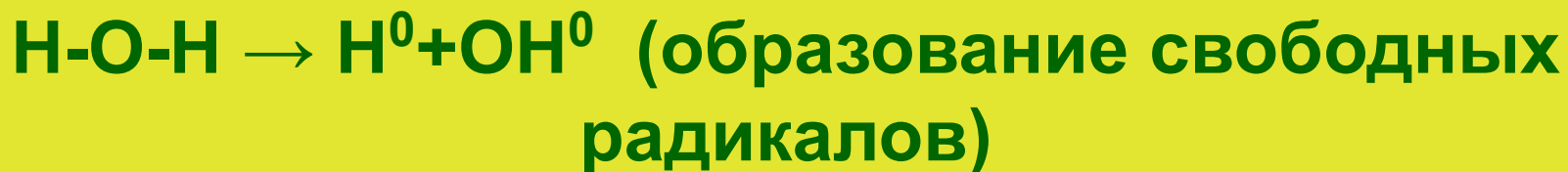
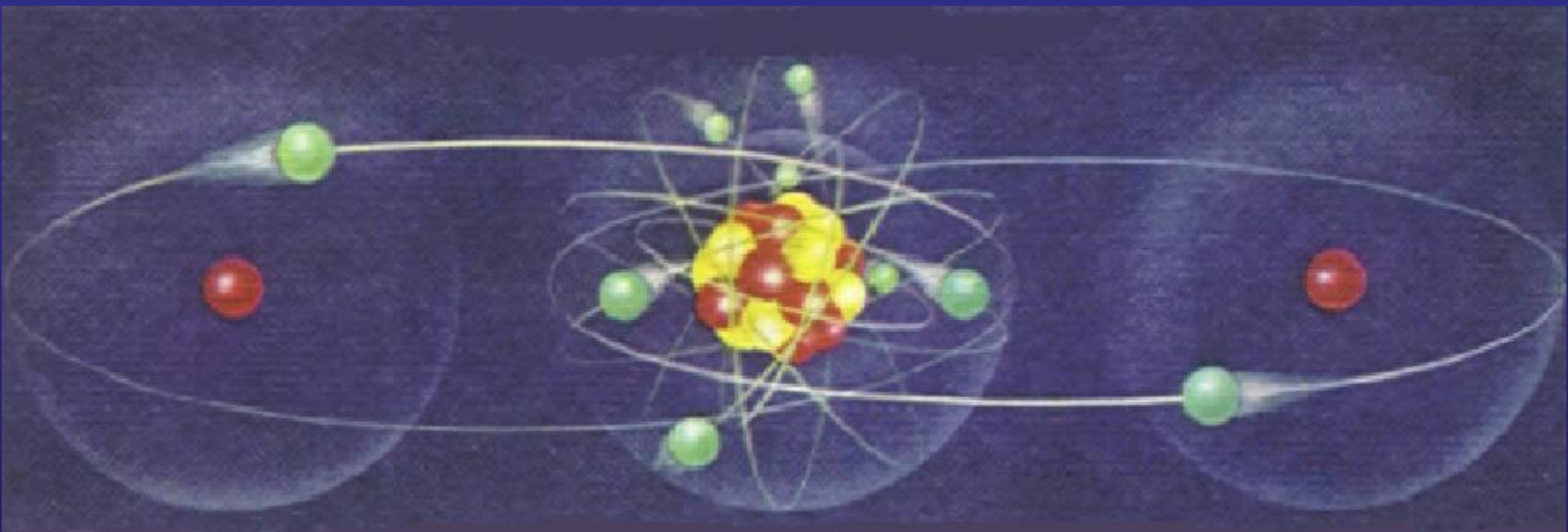
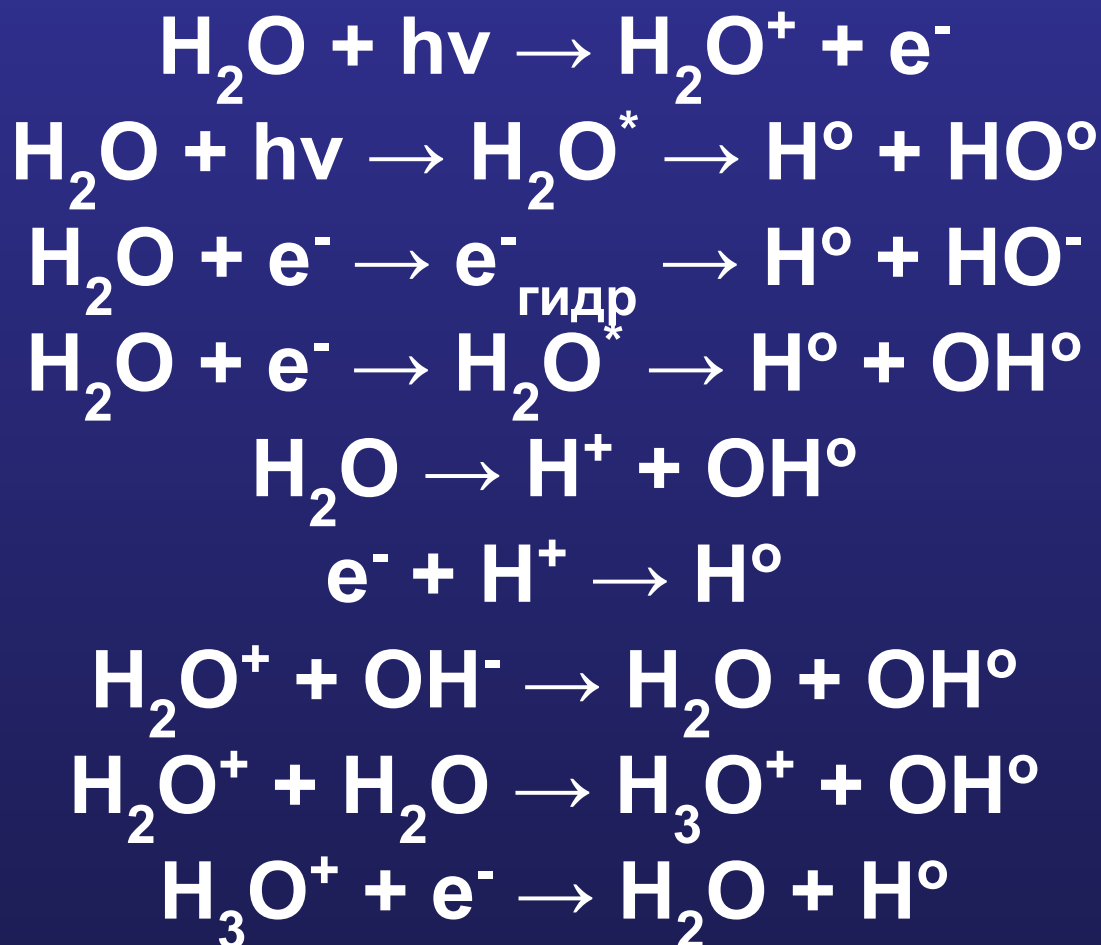


Схема радиолиза воды



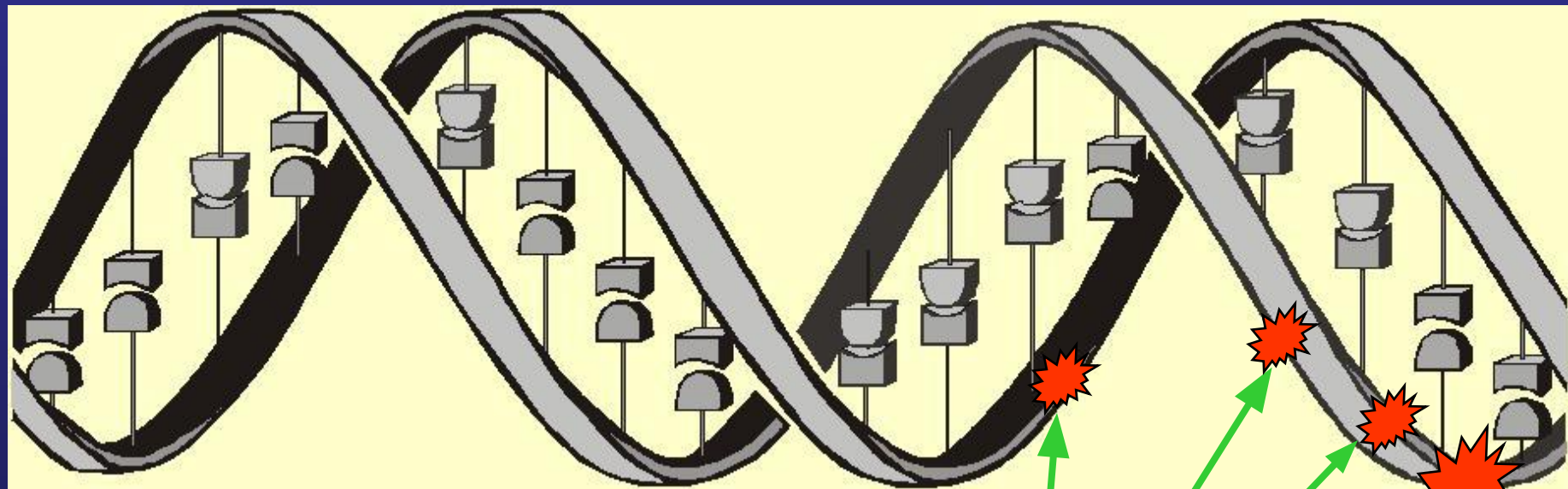
Гидроксильный радикал OH° – сильнейший окислитель

Влияние кислорода на свободные радикалы

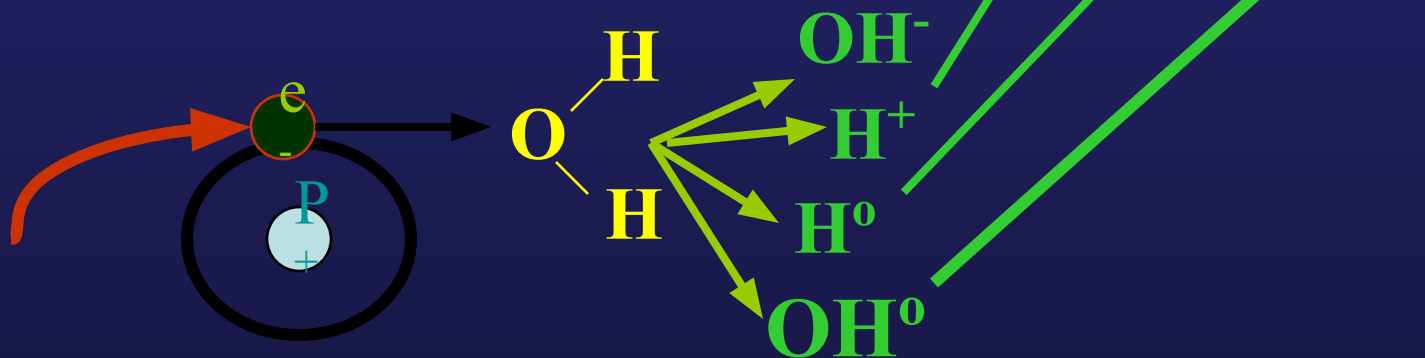
Кислород модифицирует реакции свободных радикалов, в результате чего образуются новые свободные радикалы с более высокой стабильностью и более продолжительным временем существования



Непрямое действие радиации



X ray
 γ ray



Тип действия радиации зависит от линейной передачи энергии

Прямое действие доминирует у излучений с высокой ЛПЭ, в частности – **альфа-частиц и нейтронов**

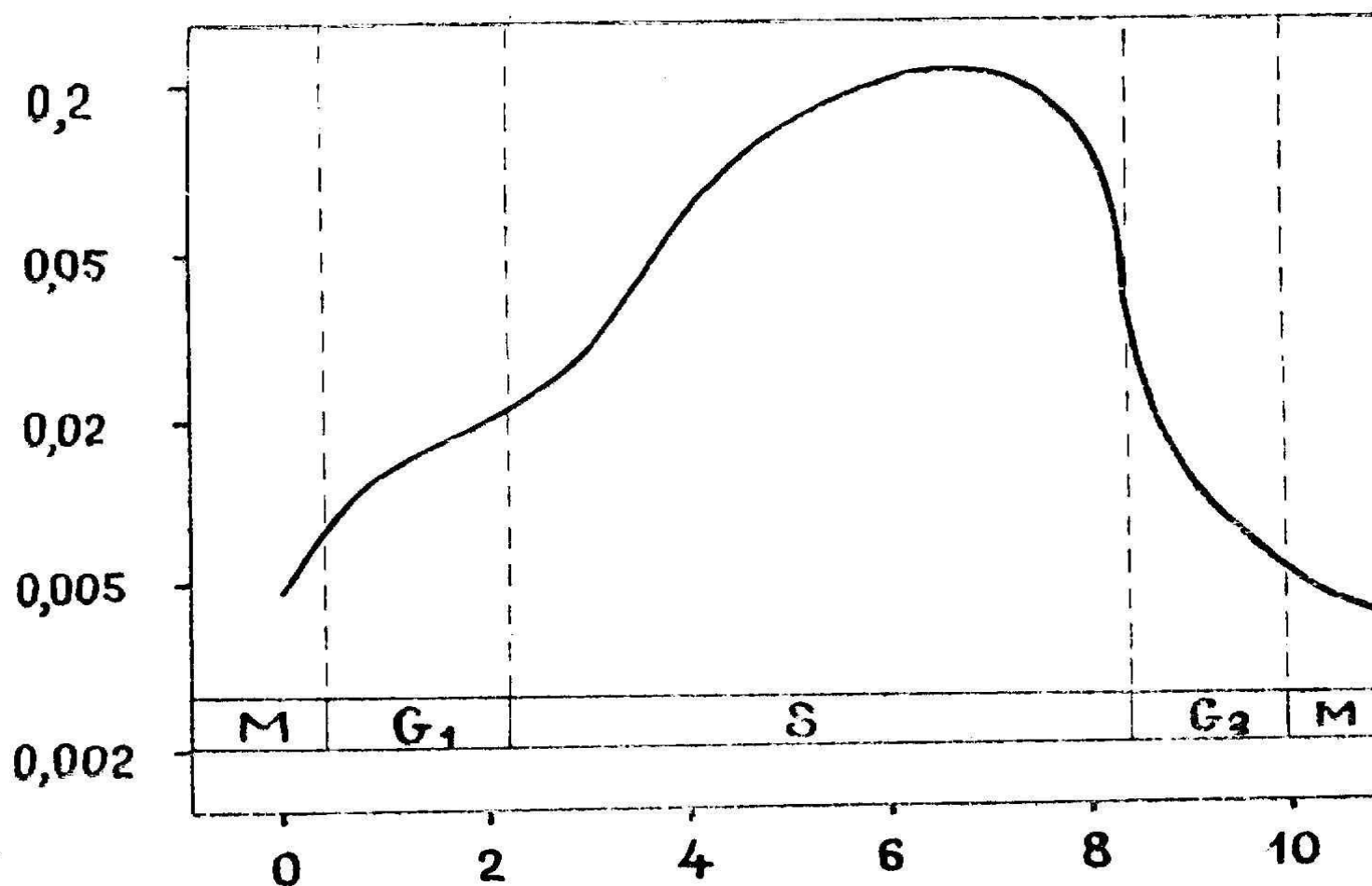
Непрямое действие лежит в основе поражающего эффекта излучений с низкой ЛПЭ, в частности – **рентгеновского излучения и гамма квантов**

Тип действия радиации зависит от линейной передачи энергии

Прямое действие доминирует у излучений с высокой ЛПЭ, в частности – **альфа-частиц и нейтронов**

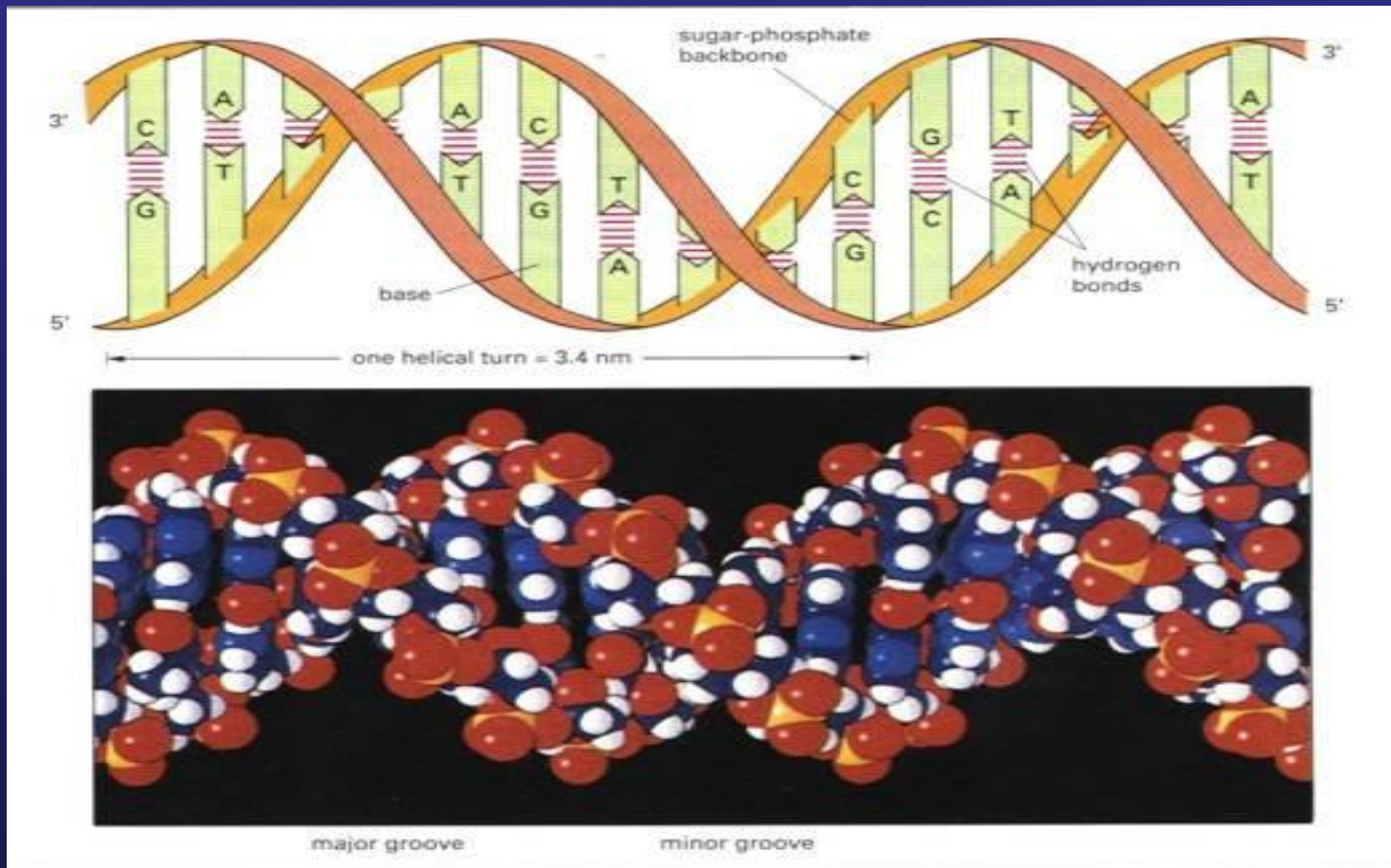
Непрямое действие лежит в основе поражающего эффекта излучений с низкой ЛПЭ, в частности – **рентгеновского излучения и гамма квантов**

Радиочувствительность клеток на разных стадиях клеточного цикла

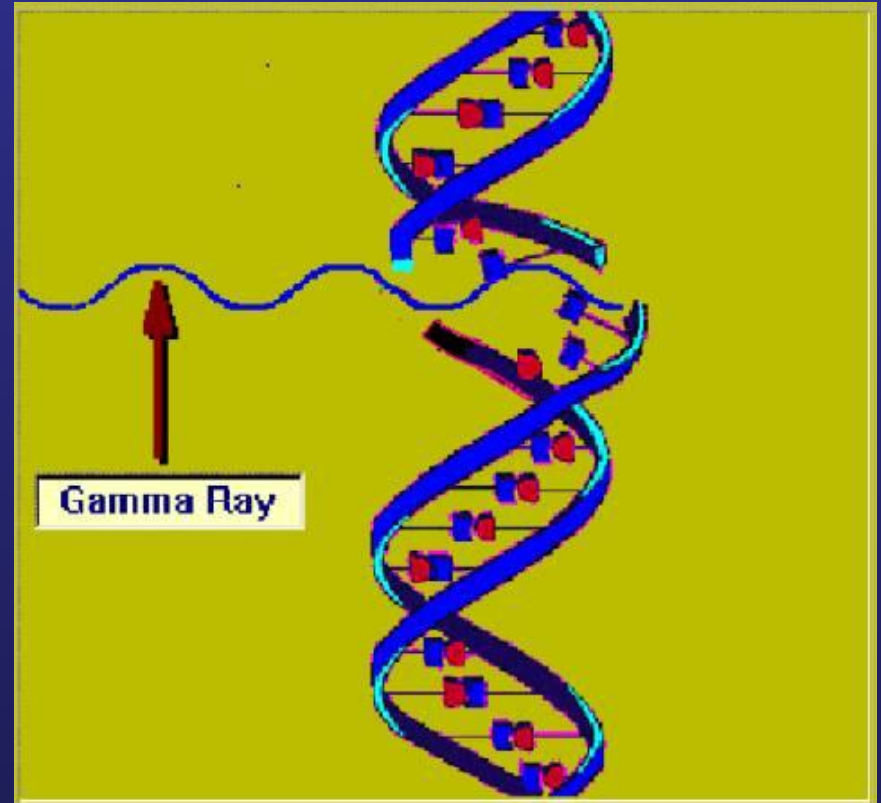
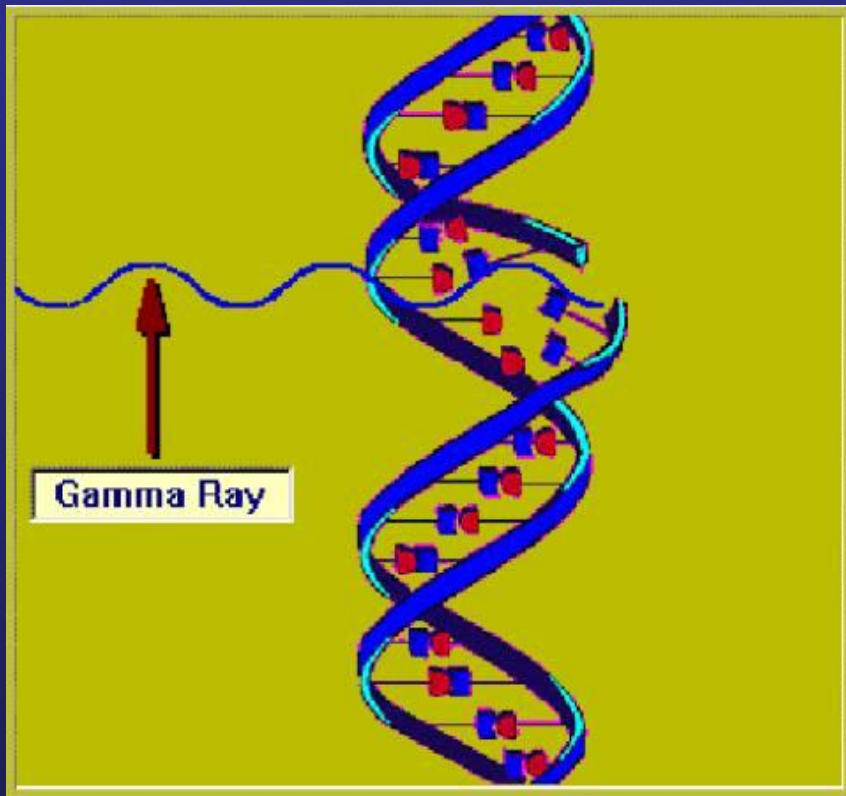




Молекула ДНК – первичная мишень поражения клеток ионизирующими излучениями



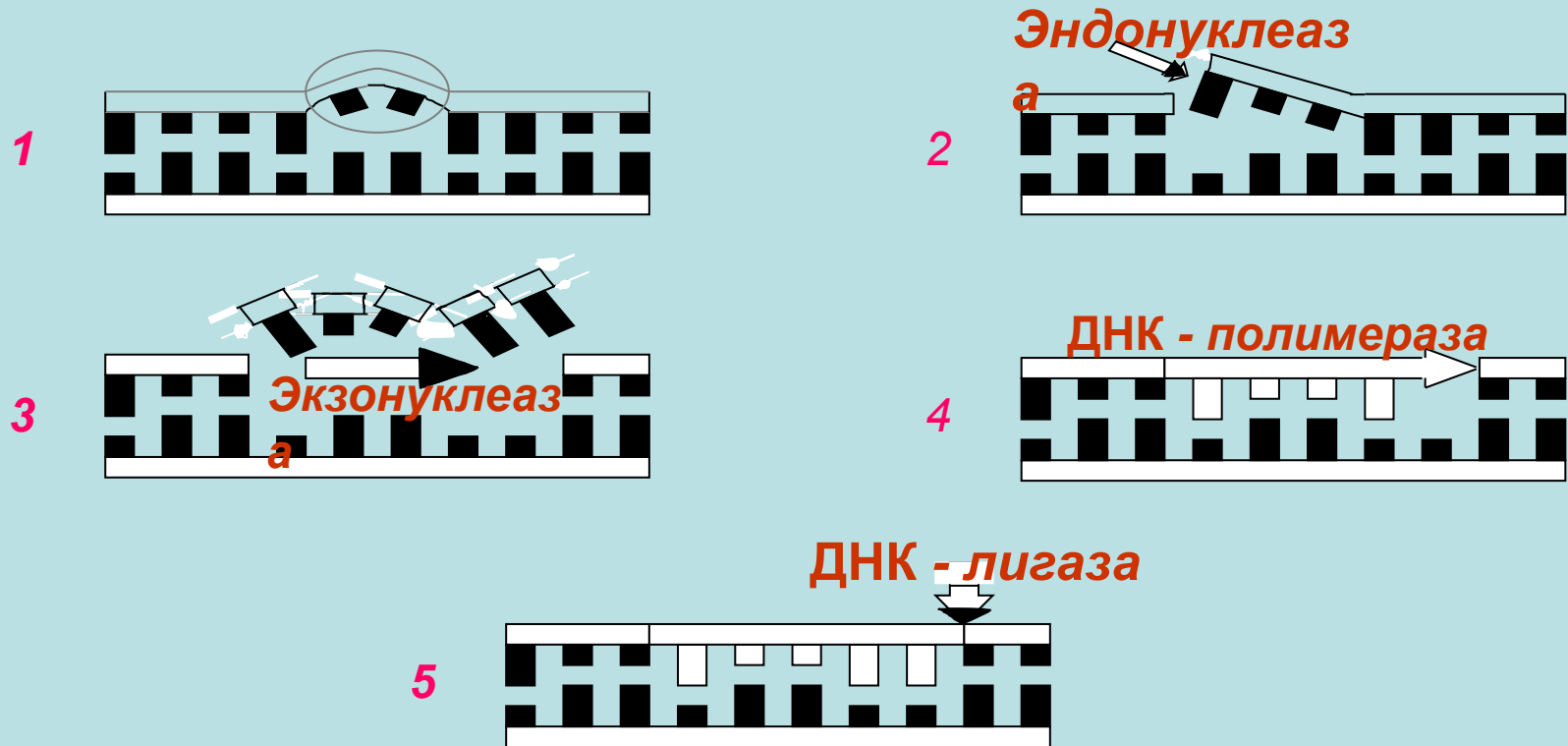
Типы и виды повреждений ДНК, вызванных действием радиации



Однонитевый разрыв ДНК
Сшивки ДНК-ДНК, ДНК-белок, ДНК-мембранный

Двунитевый разрыв ДНК

Механизмы репарации радиационных повреждений ДНК

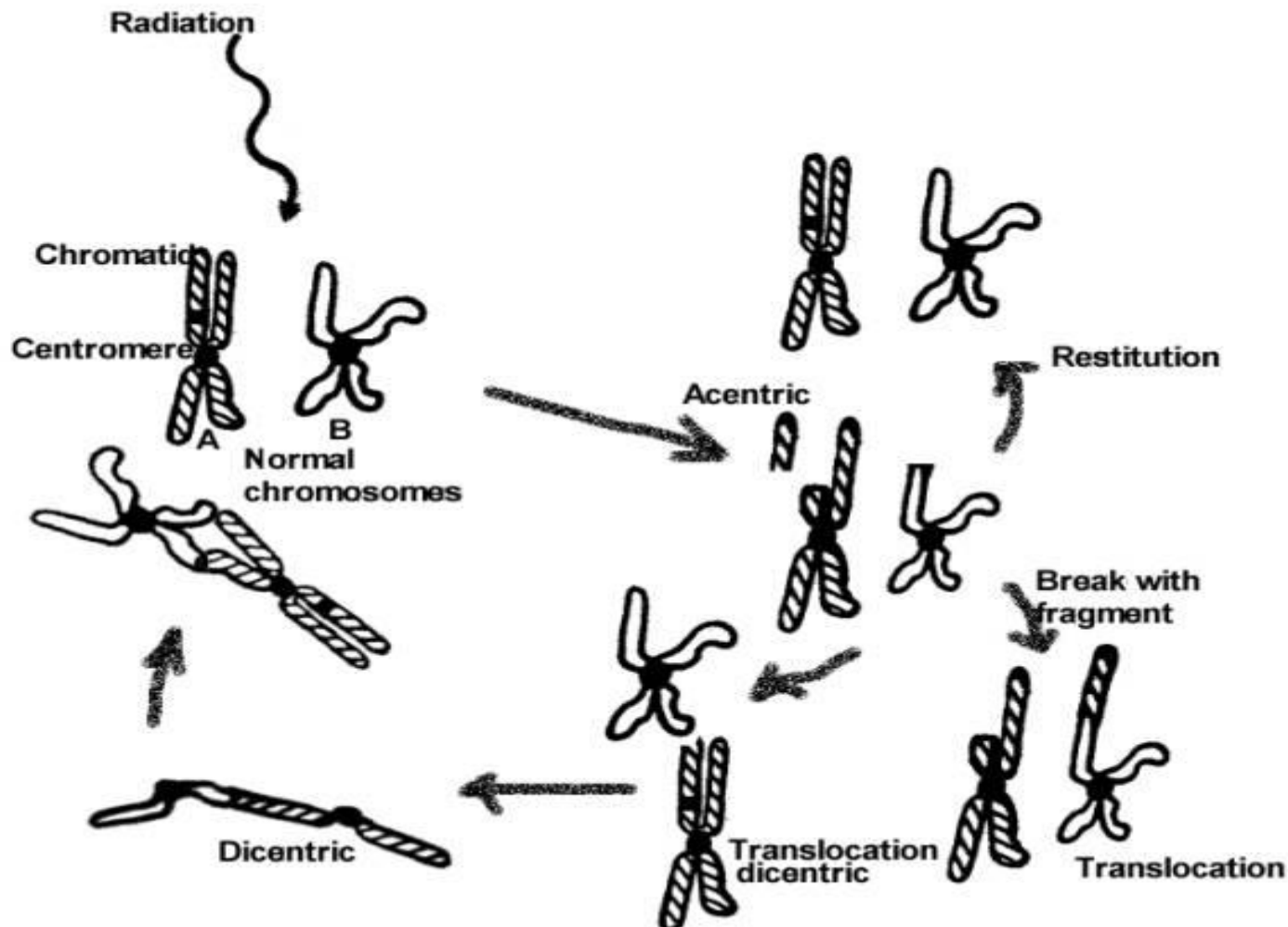


Невозможность репарации →
клеток

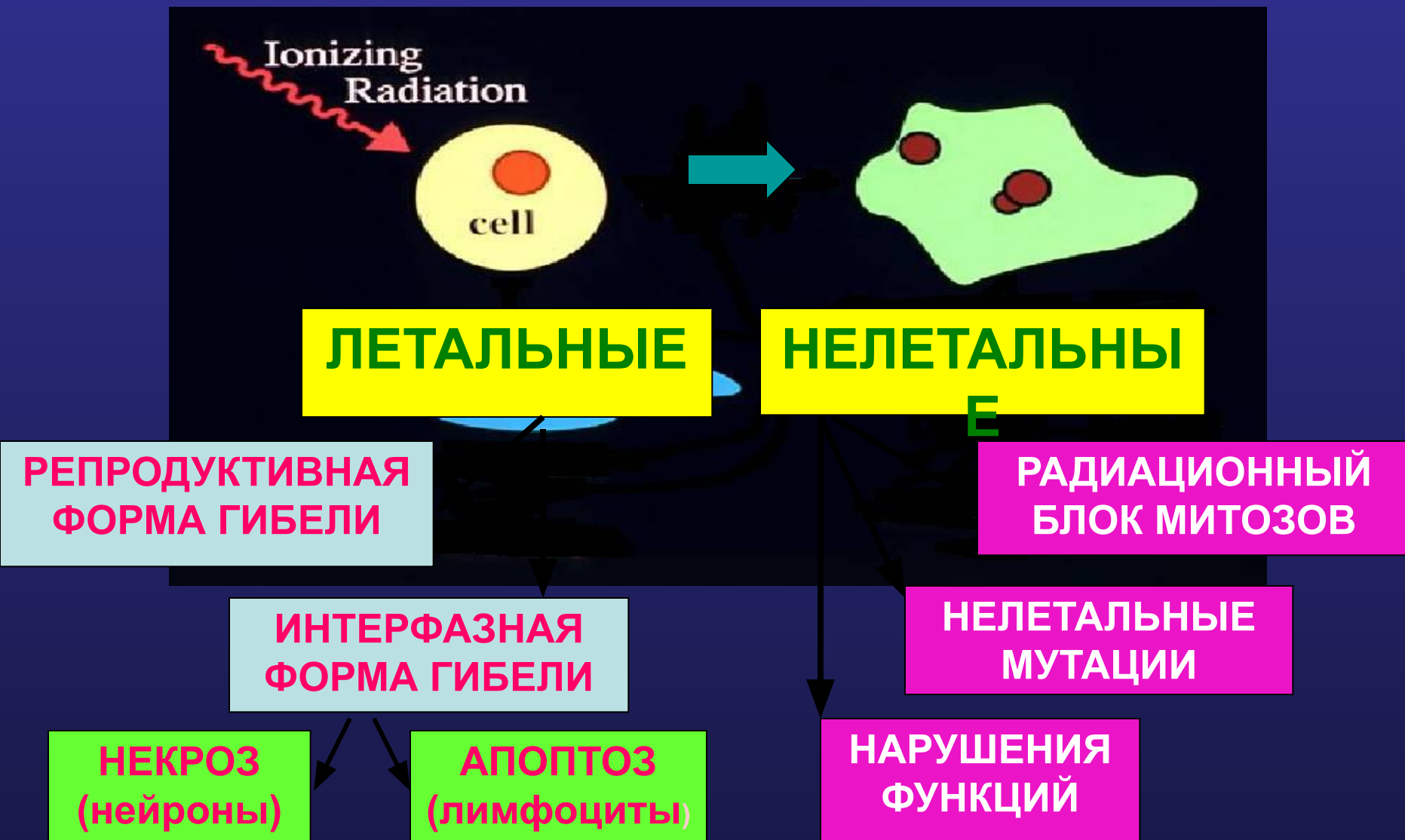
гибель

Неправильная репарация → появление

Радиационно-индуцированные хромосомные aberrации



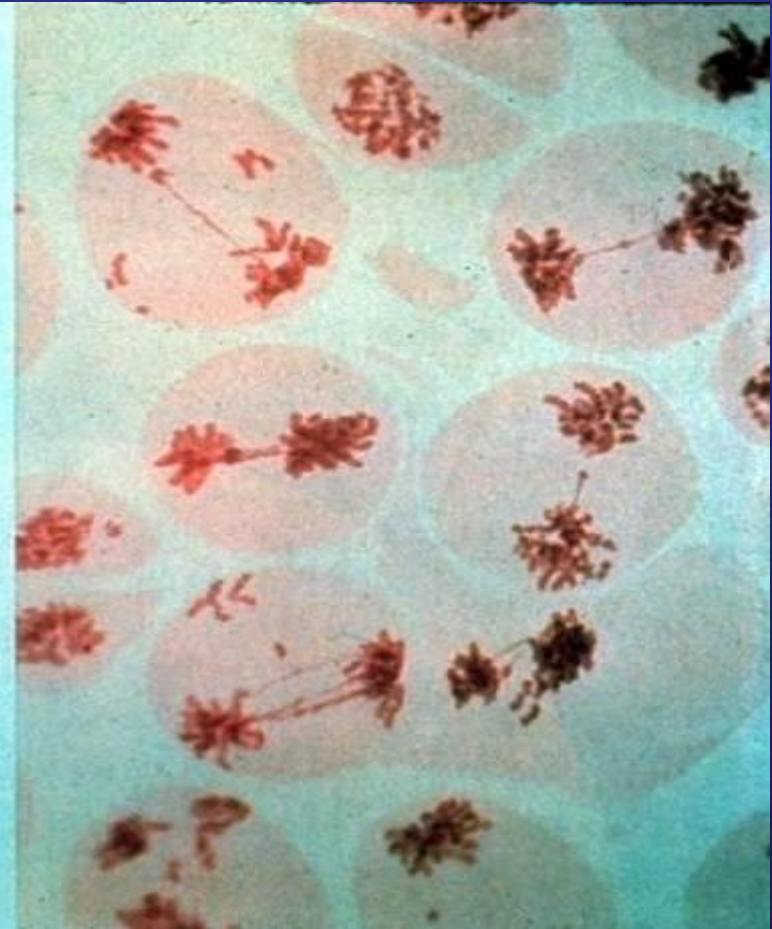
Реакции клеток на облучение



Митотическая или репродуктивная форма гибели клеток



Норма



После облучения

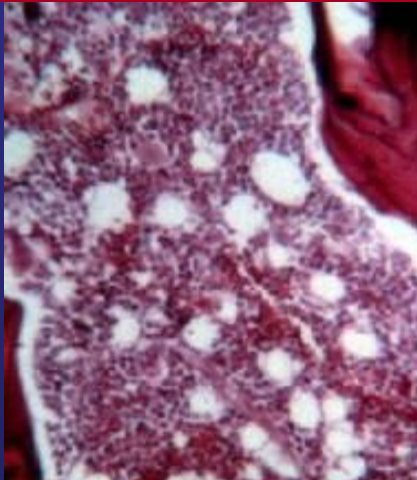
Правило Бергонье и Трибондо

Наибольшей радиочувствительностью
(радиопоражаемостью) обладают:

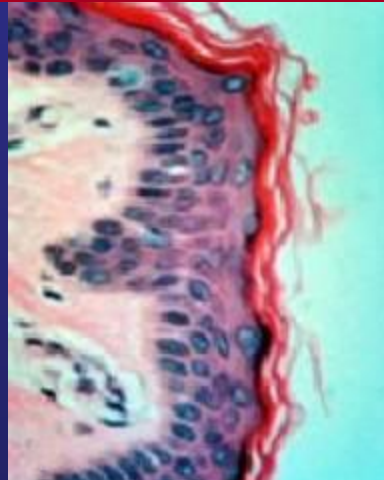
- *активно пролиферирующие
(делящиеся) клетки*
- *малодифференцированные
(не специализированные
по структуре и функции) клетки*

Радиочувствительность тканей

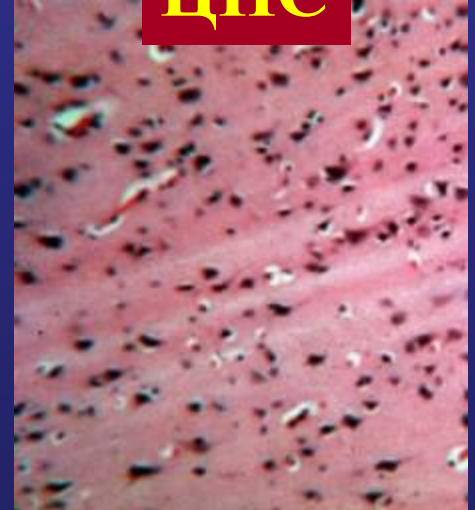
Костный мозг



Кожные покровы



ЦНС



Высокая радиочувствительность

- Лимфоидная ткань
- Костный мозг
- Эпителий ЖКТ
- Гонады
- Эмбрион

Средняя радиочувствительность

- Кожные покровы
- Эндотелий сосудов
- Легкие
- Почки
- Печень
- Орган зрения (глаз)

Низкая радиочувствительность

- Центральная нервная система
- Мышцы
- Костная ткань
- Соединительная ткань

Классификация радиобиологических эффектов

По значению для судьбы облученного организма	Патологические Горметические
По возможности наследования	Соматические Генетические
По срокам проявления	Ближайшие Отдаленные
По локализации	Общие (тотальные) Местные (локальные)
По характеру связи с дозой облучения	Детерминированные Стохастические

Стохастические эффекты облучения

Стохастические эффекты облучения

— это поражения, которые являются результатом повреждения одной клетки или небольшого их числа; дозовый порог для их возникновения отсутствует; от дозы зависит лишь вероятность возникновения поражения, но не его выраженность (степень тяжести)

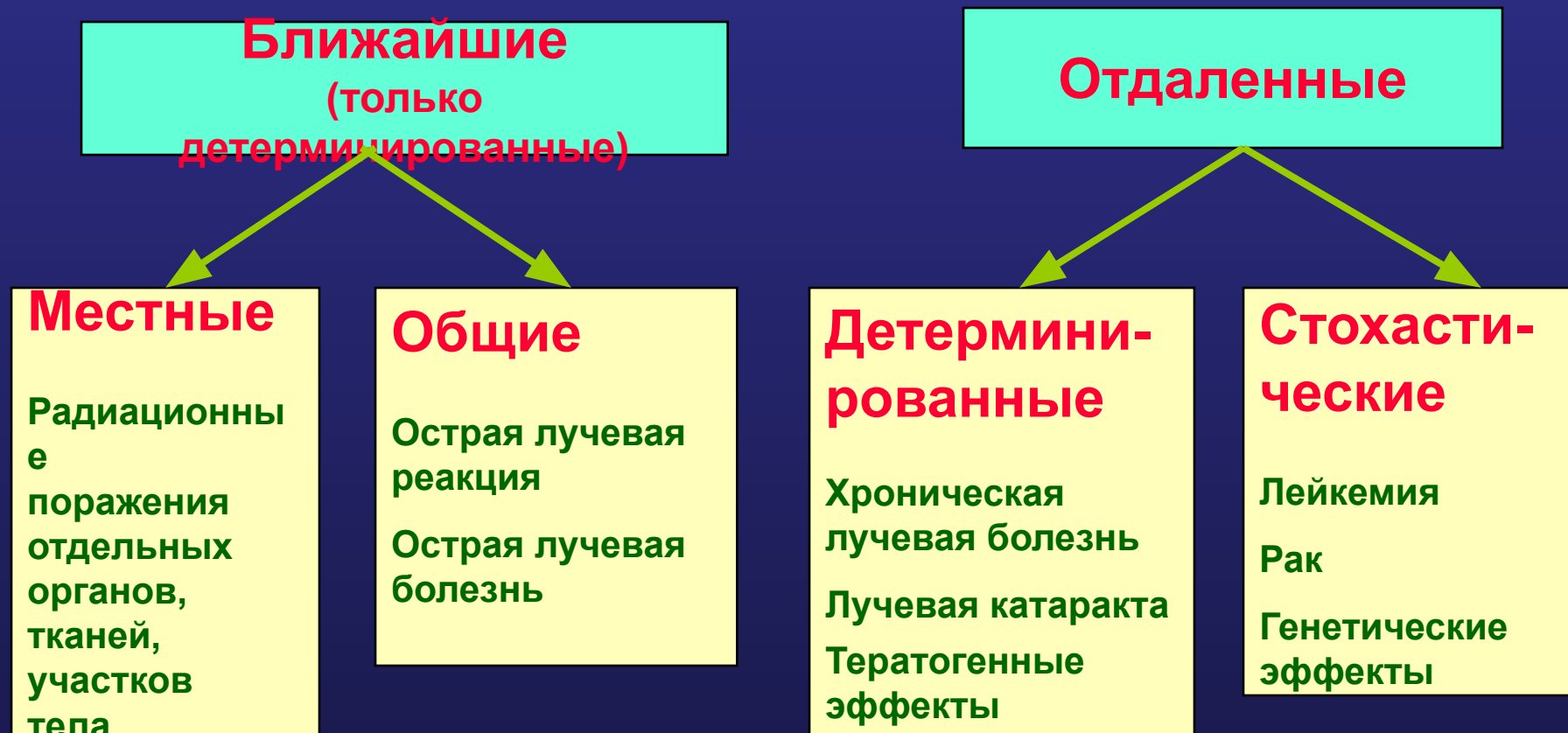
Детерминированные эффекты облучения

Детерминированные эффекты облучения — это поражения, которые являются результатом коллективного повреждения значительного числа клеток облученной ткани или организма в целом; проявляются при превышении порога дозы; вероятность их возникновения и степень выраженности зависят от дозы облучения

Дозовые пороги различных детерминированных эффектов

- $< 0,1$ Гр – клинических эффектов и лабораторных изменений не выявляется
- $> 0,2$ Гр – определяется увеличение числа хромосомных аберраций
- $> 0,4$ Гр – развитие временной (обратимой) стерильности у мужчин
- $> 0,5$ Гр – определяется преходящая депрессия кроветворения с лимфопенией и неспецифическая клиническая симптоматика (острая лучевая реакция)
- $> 1,0$ Гр – лучевое поражение организма

Клинические проявления радиационных поражений



Отдаленные последствия облучения

- **Неопухолевые последствия облучения**
- **Канцерогенные эффекты облучения**
- **Сокращение продолжительности жизни**

Неопухолевые последствия облучения

- **Функциональные расстройства регуляторных систем** (астено-невротический синдром, вегето-сосудистая дистония и т.п.);
- **Склеротические и дистрофические процессы;**
- **Гиперпластические процессы** (гиперплазия тканей щитовидной железы и т.п.);
- **Лучевая катаракта.**

Лучевая катаракта

- Лучевая катаракта (пострадиационное помутнение хрусталика глаза) – отдаленное детерминированное последствие тотального облучения организма или местного облучения хрусталика.
- Пороговая доза для возникновения катаракты после однократного рентгеновского облучения для глаза человека составляет 2 Гр.

Радиационный канцерогенез

- Радиационный канцерогенез относится к числу стохастических эффектов.
- Основной причиной злокачественной трансформации облученной клетки являются нелетальные повреждения генетического материала или повышение неустойчивости ядерной ДНК.
- Вероятность возникновения опухоли в результате радиационного воздействия оценивается как один дополнительный случай на 20 человек, облученных в дозе 1 Гр.
- Относительный риск возникновения злокачественных новообразований в течение всей жизни выше для облученных в детстве.

Сроки развития лейкоза и рака после облучения



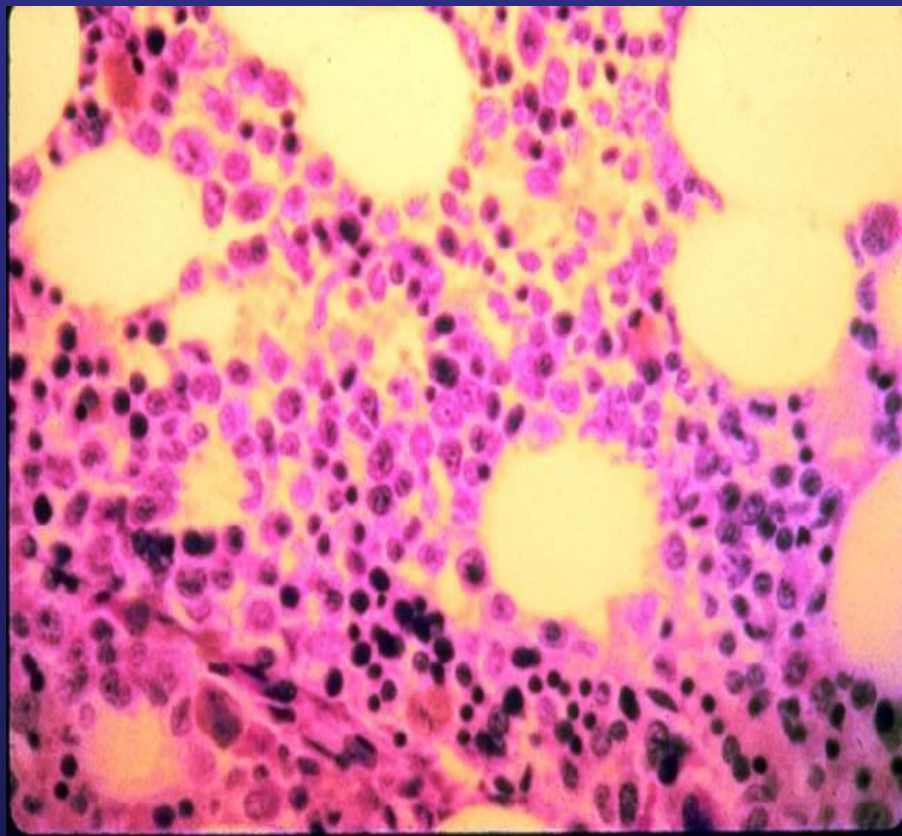
Сокращение продолжительности жизни

- Радиационное воздействие приводит к сокращению продолжительности жизни на 5-6 % от средней видовой продолжительности жизни на каждый зиверт эквивалентной дозы общего однократного облучения.

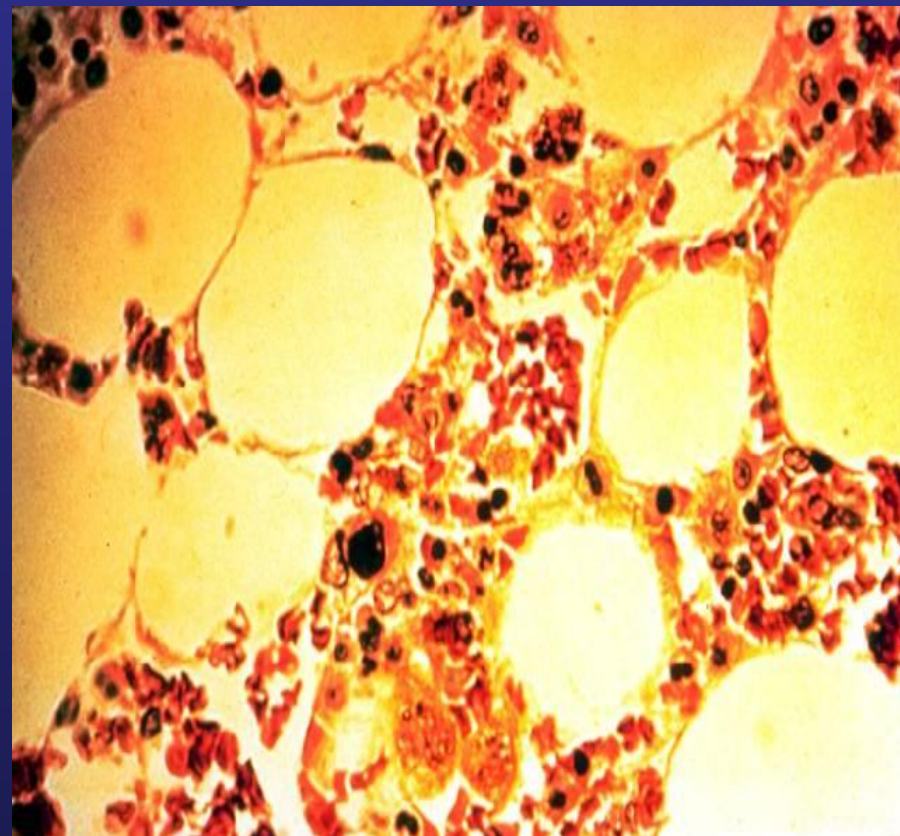
Клинические формы и степени тяжести острой лучевой болезни от внешнего облучения

Доза облучения, Гр	Клиническая форма	Степень тяжести	Смертность, %	Сроки гибели
1 – 2	Костномозговая	Легкая	—	—
2 – 4		Средняя	5	40 – 60
4 – 6		Тяжелая	50	30 – 40
6 – 10		Крайне тяжелая	95	11 – 20
10 – 20	Кишечная		100	8 – 16
20 – 50	Токсемическая		100	4 – 7
более 50	Церебральная		100	1 – 3

Костномозговой синдром



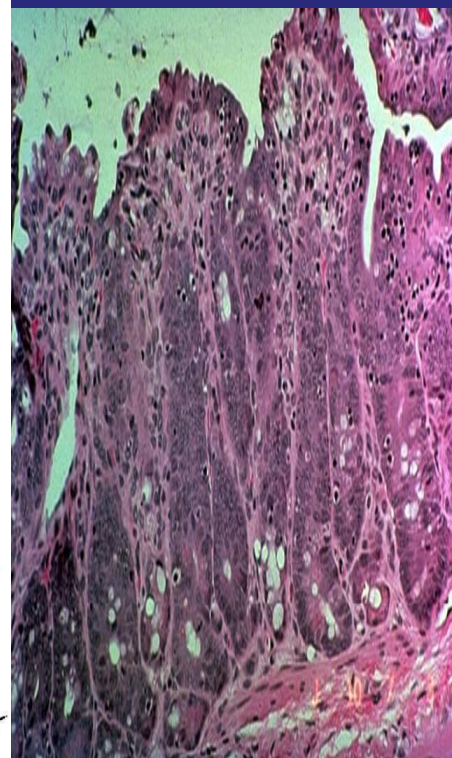
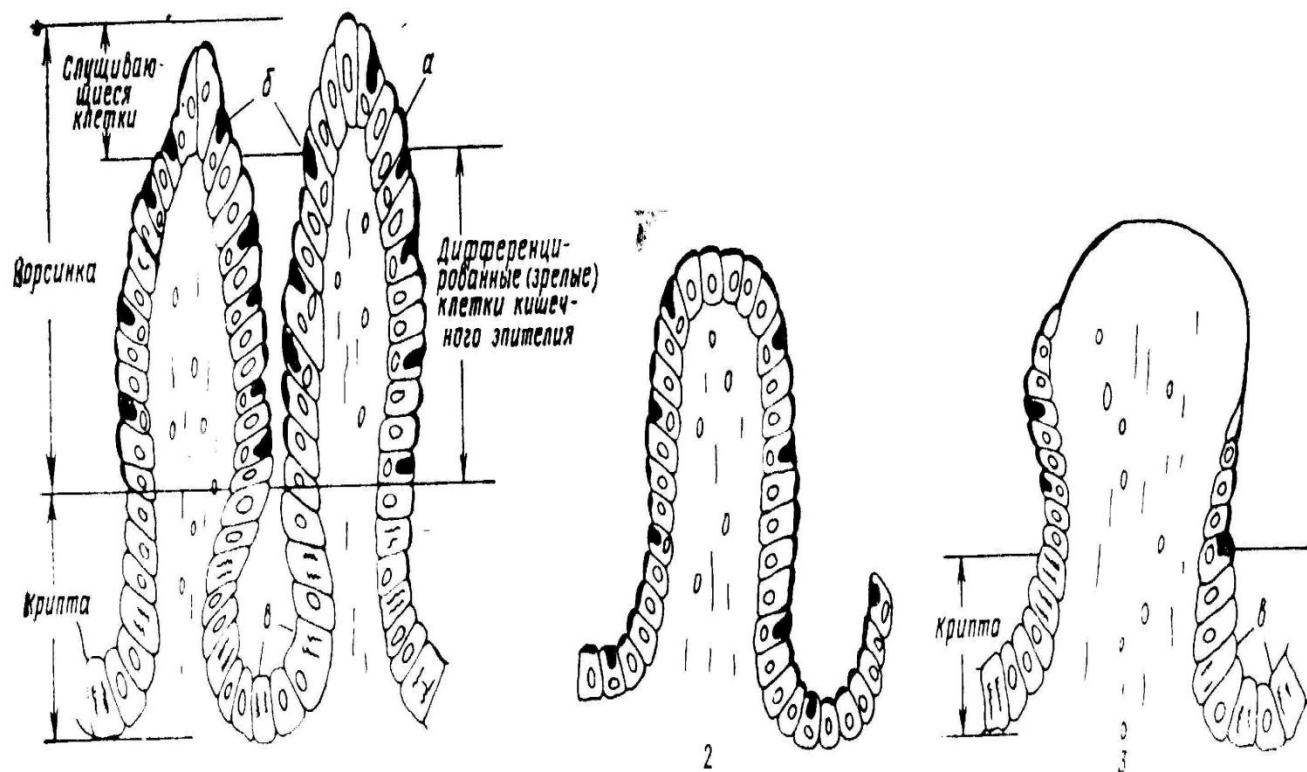
Нормальное состояние



После облучения

Кишечный синдром

Развивается после облучения в дозах свыше 10 Гр



Критической тканью является эпителий кишечника

Местные лучевые поражения

Местные лучевые поражения возникают при **локальном** или **неравномерном** облучении

Являются наиболее часто встречающимся видом лучевой патологии

Сопровождают около **половины случаев** острой лучевой болезни человека



Клиническая картина острого лучевого дерматита средней степени тяжести



Клиническая картина комбинированных радиационных поражений



**Женщина и мальчик,
находившиеся в 2 км от эпицентра
ядерного взрыва в Нагасаки**

**При подготовке использованы материалы
Международного Агентства по Атомной Энергии (МАГАТЭ),
любезно предоставленные доктором Еленой Бугловой**