

Радиационные эффекты и уровни радиации

Модуль L-001

Лекция



IAEA

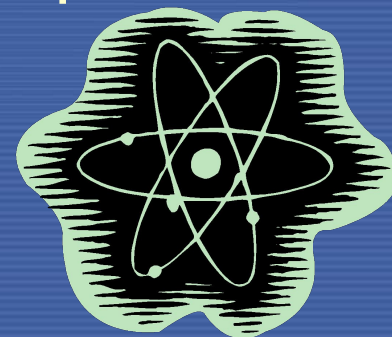
International Atomic Energy Agency

Введение

- Мы живем в мире естественной радиоактивности
- Насколько хорошо осведомлены об этих вопросах специалисты, которым может понадобиться выполнять ответные действия на радиационную аварию:
 - О том, что такое радиация
 - Каковы последствия радиационного облучения
 - Как защитить себя от негативного влияния радиации?
- Цель этой лекции – ответить на эти вопросы простым, но научно обоснованным образом

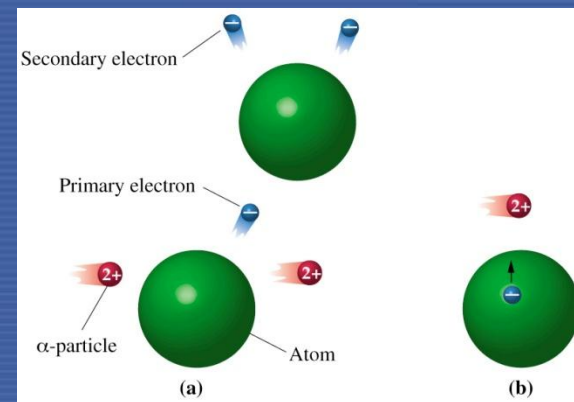
Содержание

- Основные понятия радиоактивности
- Радиационная опасность
- Доза излучения
- Защита от радиации
- Радиационно индуцированные эффекты
- Радиационные риски и их сравнение
- Нерадиологические последствия аварий



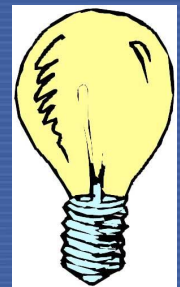
Факты

- Радиация является фактом жизни
 - Все вокруг нас
 - Все время
- Существуют два типа радиации
 - Неионизирующая радиация
 - Ионизирующая радиация
- Происхождение радиации
 - Природная радиация
 - Искусственная (произведенная человеком) радиация



Что такое радиация?

- Радиация
 - Ионизирующая
 - Фотоны
 - Протоны
 - Электроны
 - Неионизирующая
 - Электромагнитные волны
 - Видимый свет
 - Инфракрасные лучи
 - Ультрафиолетовые лучи



Природный радиационный фон

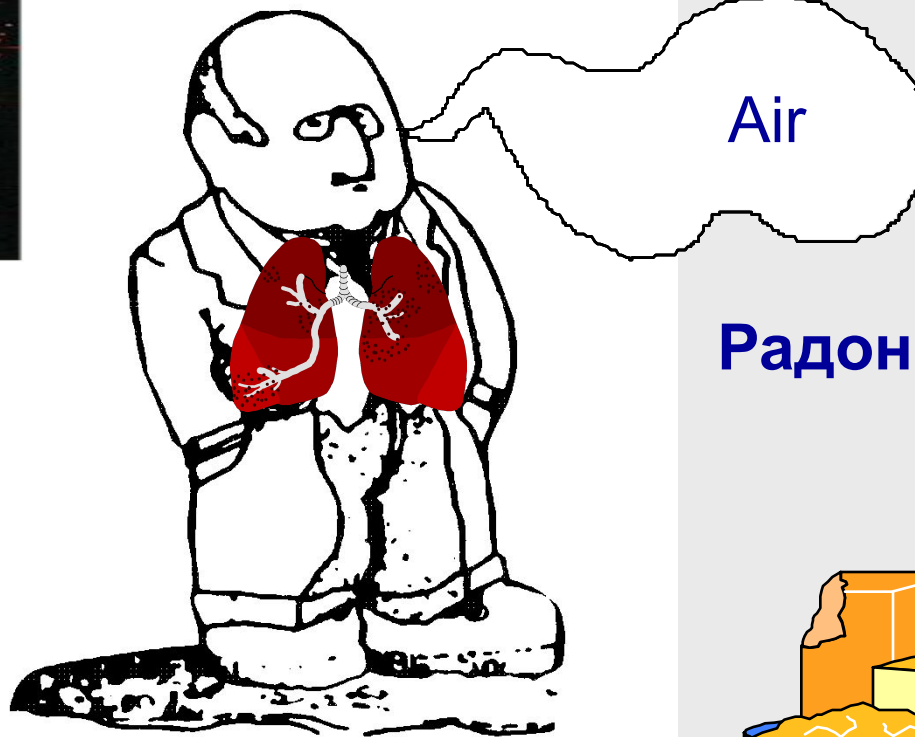
Суммарное облучение от 1 до 10 мЗв в год



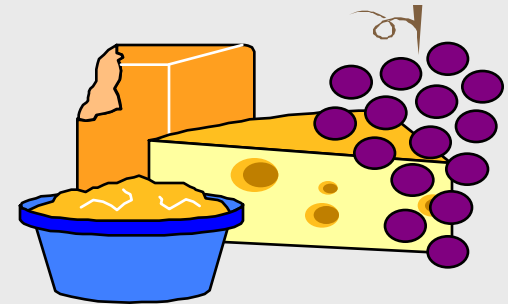
Космос - 0.3 мЗв



Земля - 0.3 мЗв

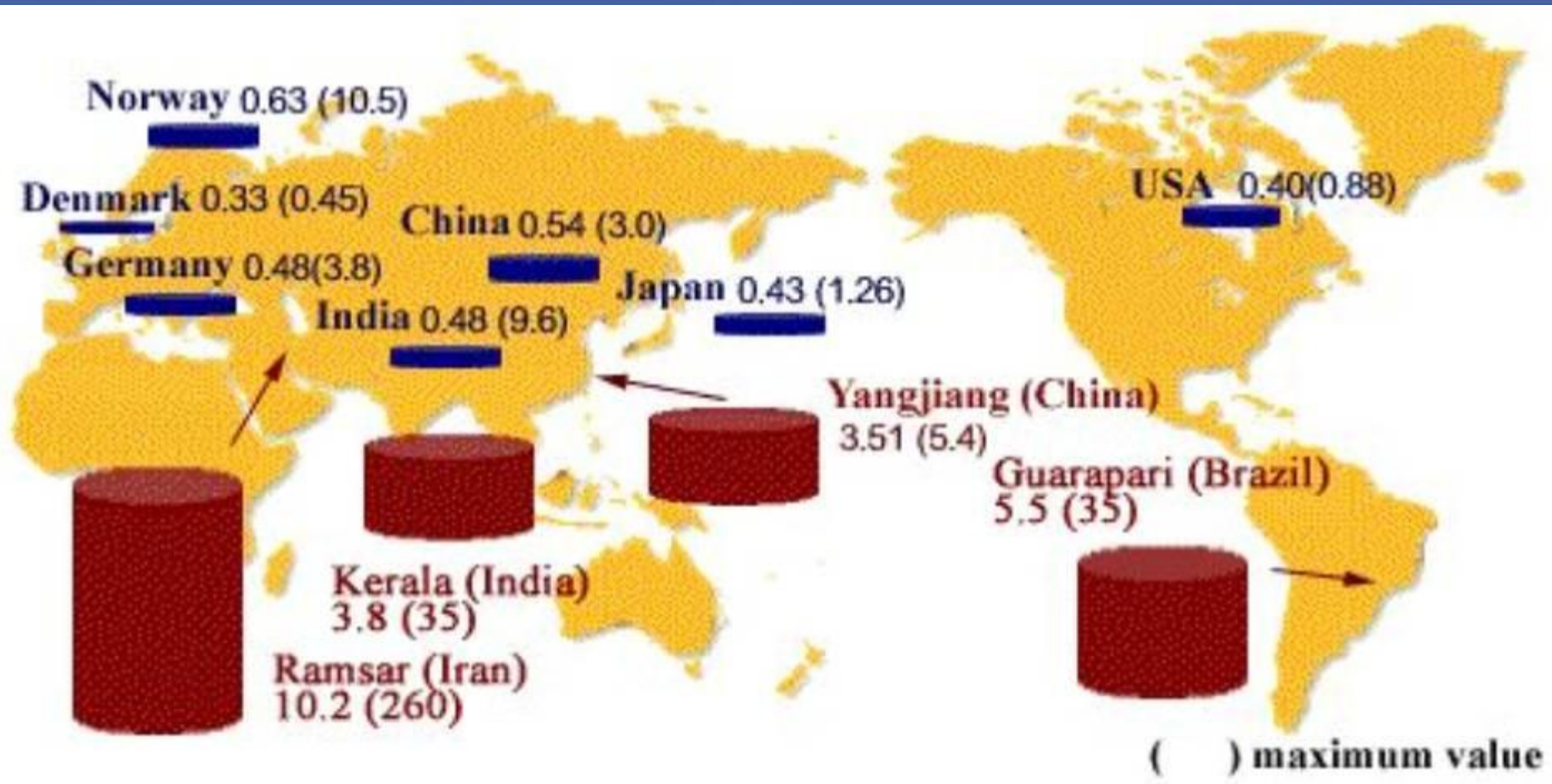


Радон - 2 мЗв



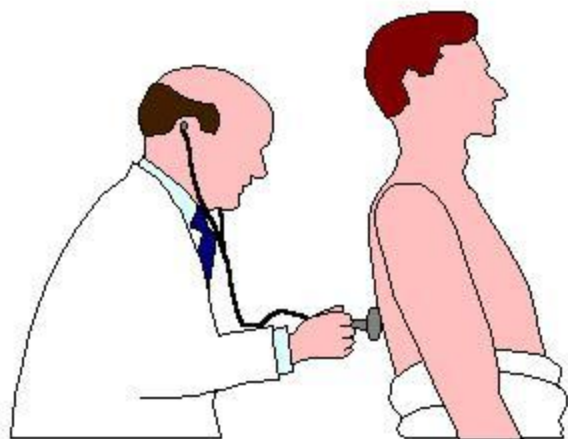
Пища - 0.4 мЗв

Территории с высоким уровнем фона (дозы в мЗв)



Источники, созданные человеком

Облучение в среднем около 0,6 мЗв в год



Медицинское:
0.5 мЗв



0,05 мЗв за полет
длиной 5,000 км

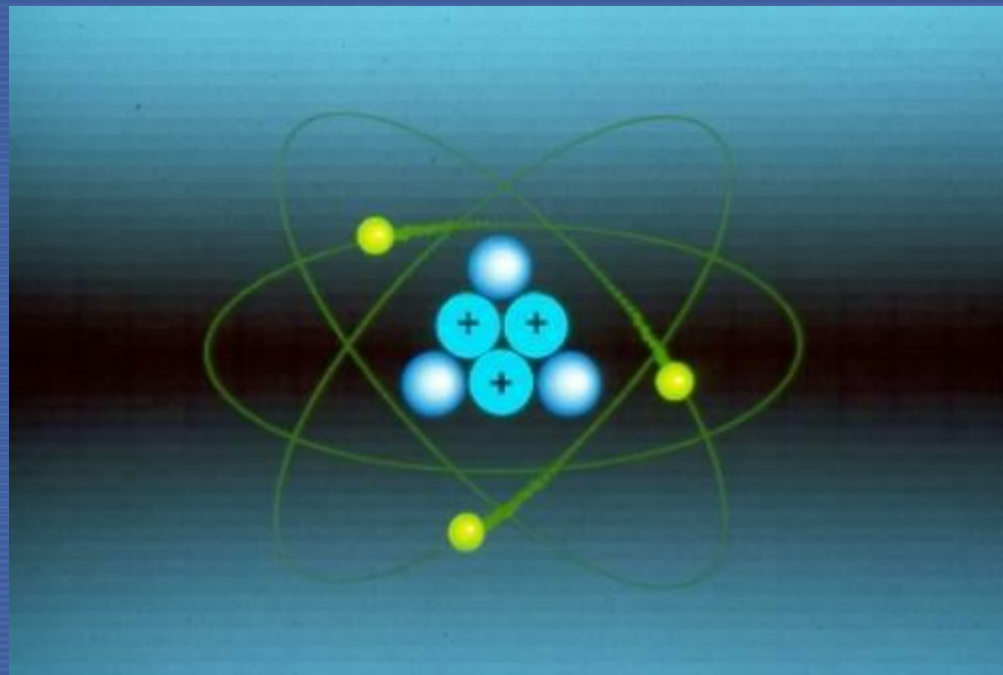
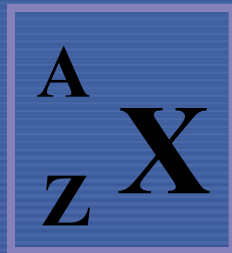


АЭС: выбросы и сбросы
< 0,05 мЗв

Атомы и элементы

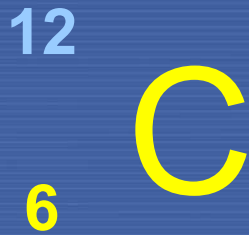
- Все люди и предметы вокруг нас состоят из различных атомов
- Структура атома
 - протоны (p^+) (Z)
 - нейтроны (n^0) (N)
 - электроны (e^-) (Z)

$$A = Z + N$$



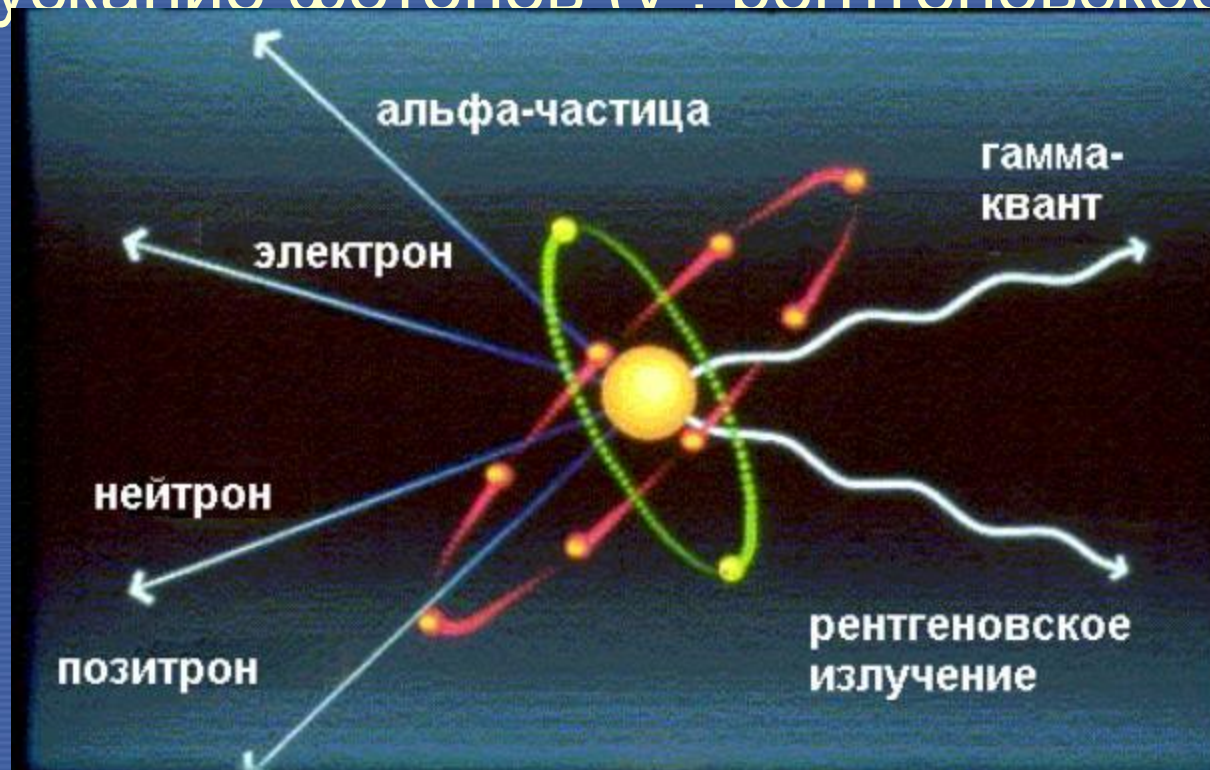
Изотопы

- Атомы, имеющие одинаковое атомное число, но различные массовые числа

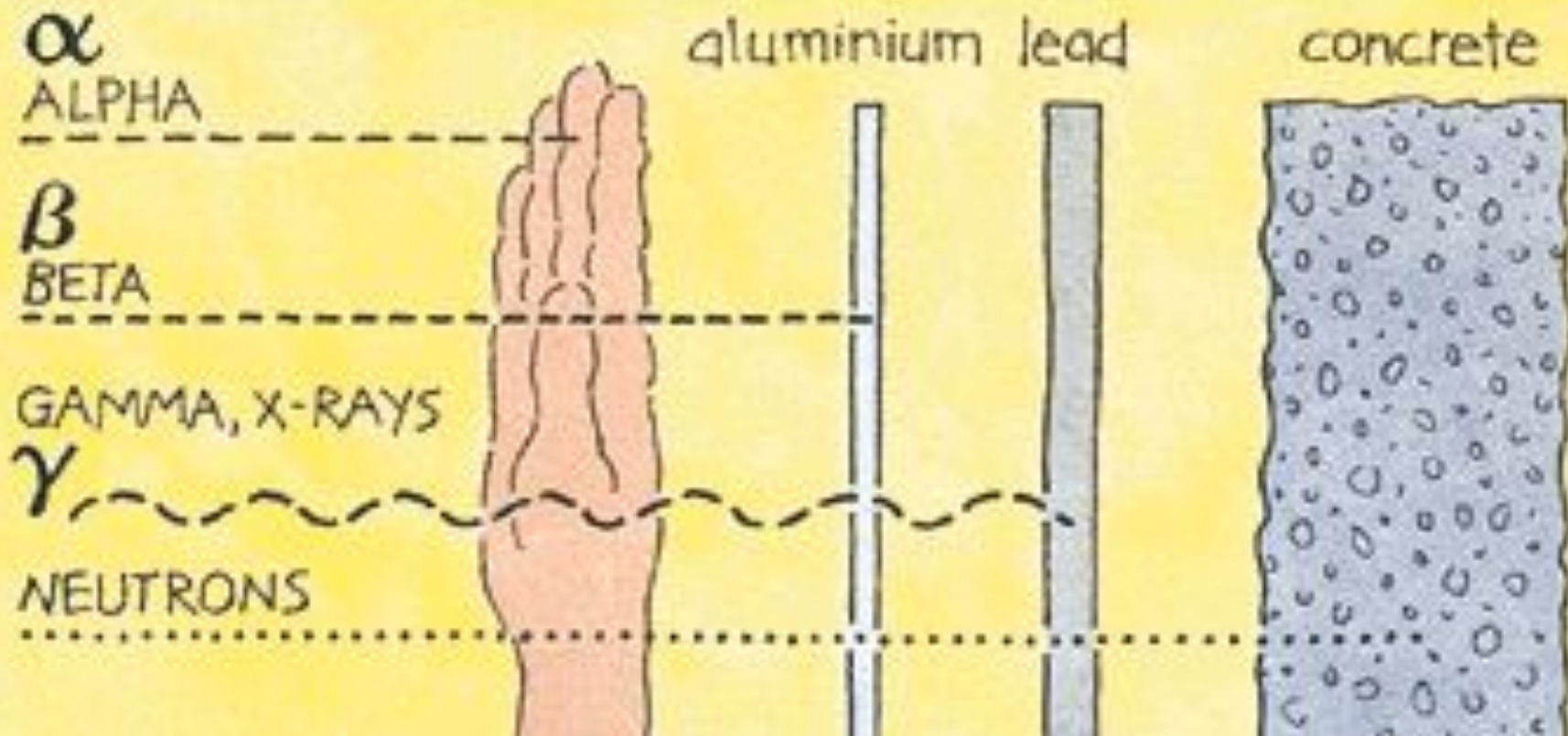


Радиоактивность и излучение

- Типы излучения
 - Испускание частиц (α , β^- , β^+ , n^0)
 - Испускание фотонов (γ - рентгеновское)



Проникновение радиации

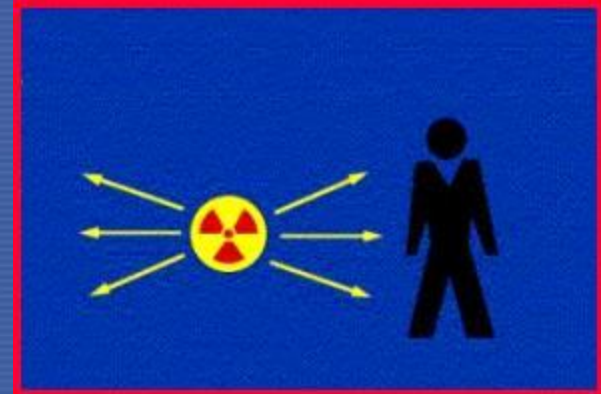


Облучение: внешнее и внутреннее

- Внешнее облучение

- Источник вне тела человека

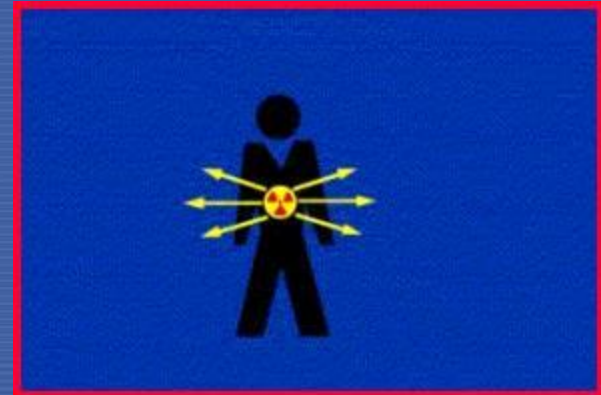
- Проникающее излучение:
фотоны, нейтроны



- Внутреннее облучение

- Источник внутри тела человека

- Слабо проникающее излучение:
электроны, позитроны, альфа-частицы

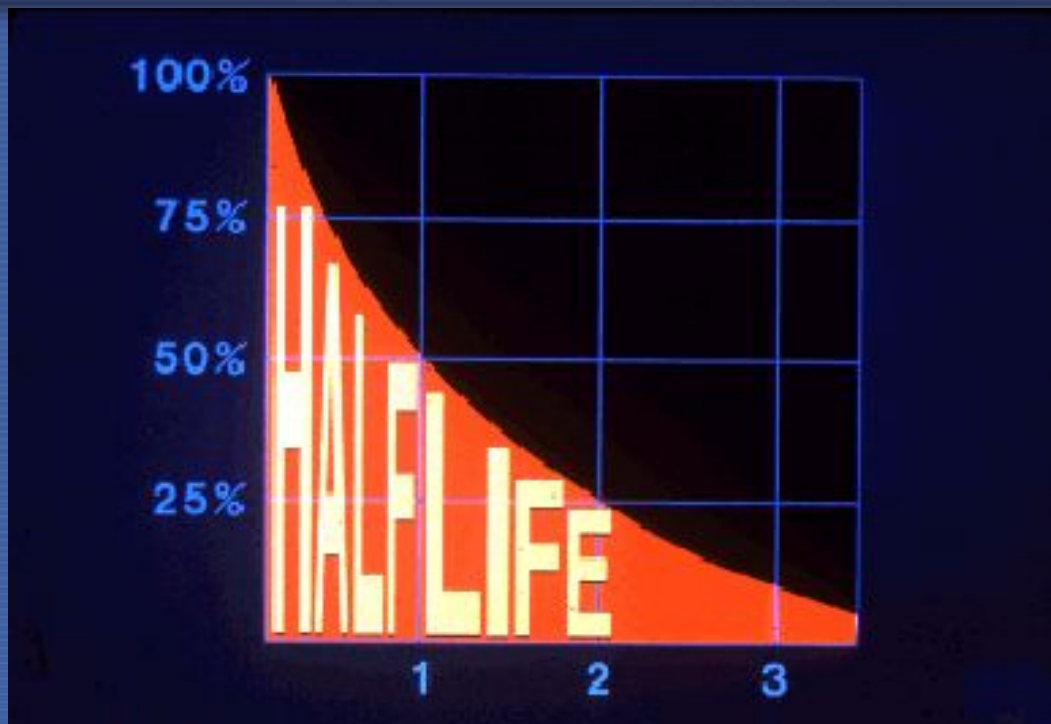


АКТИВНОСТЬ

- Активность: число радиоактивных распадов за данное время
- Единицы: беккерель (один распад в секунду)
- Символ: Бк [Bq]
- Старая единица: кюри (Ки) [Curie(Ci)]

$$1Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$$

Радиоактивность и период полураспада



Период полураспада ($T_{1/2}$) – время, за которое данная активность уменьшится вдвое

Нуклид:

Полураспад

^3H	12.3 лет
^{14}C	5,730 лет
^{32}P	14.4 дней
^{125}I	60.1 дней

Дозиметрические величины

Современная система дозиметрических величин

- Базовые дозиметрические величины
 - поглощенная доза
 - керма
 - экспозиционная доза
 - активность
 - линейная передача энергии
- Эквидозиметрические величины
 - ОБЭ-взвешенная доза
 - эквивалентная доза
 - эффективная доза
 - эквивалент дозы

Префиксы

- Префиксы используются, чтобы показать очень большие или очень маленькие количества
- Часто используют перед активностью (например, Бк), дозой (например, Зв) или мощностью дозы (Зв/ч)
- Будьте внимательны: пропуск префикса или ошибочное прочтение префикса приводит к ошибке в 1000 раз и более

Использование общих префиксов

- Пример префиксов с мощностью дозы в (Зв/ч)
 - мега (М): $5 \text{ МЗв/ч} = 5000000 \text{ Зв/ч}$
 - кило (к): $5 \text{ кЗв/ч} = 5000 \text{ Зв/ч}$
 - никакой: 5 Зв/ч
 - мили (м): $5 \text{ мЗв/ч} = 0,005 \text{ Зв/ч}$
 - микро (мк): $5 \text{ мкЗв/ч} = 0,000005 \text{ Зв/ч}$

Дозы облучения и их сравнение

- **0.1 мкЗв/ч:** Типичный фоновый уровень
- **0.3 мкЗв/ч:** Типичный фоновый уровень после дождя
- **0.1 мЗв:** Рентгенография зубов или перелет через Атлантику в обе стороны
- **3-8 мЗв в год:** Средняя годовая доза от природного фона в Европе
- **20 мЗв в год:** Во многих странах наиболее высокая допустимая доза при работе с радиоактивным материалом (предел дозы для работников)
- **5000 мЗв (в течение часов):** Смертельная доза для большинства людей

Доза и Мощность дозы

- Как быстро доза получена
- Доза в 1 Гр/ч получена за 10 часов = 10 Гр



Регистрация излучения

- Излучение невозможно увидеть, определить по запаху или на ощупь
- Что измеряется?
- Детектор: инструмент, который регистрирует эффекты взаимодействия излучения с веществом и сразу представляет информацию о поле излучения
- Дозиметр: инструмент, который регистрирует эффекты взаимодействия излучения с веществом за определенный период времени и определяет дозу, полученную человеком



Приборы измеряют то, что измеримо

- Приборы измеряют внешнее облучение
 - Внутреннее облучение измерить не легко
 - Если средства защиты органов дыхания не использовались, то при контроле доз в очаге аварии необходимо помнить, что вклад внутреннего облучения может быть существенным и
- 4 Измеренная мощность дозы или доза всегда меньше суммарной дозы или мощности дозы

Приборы радиационного контроля

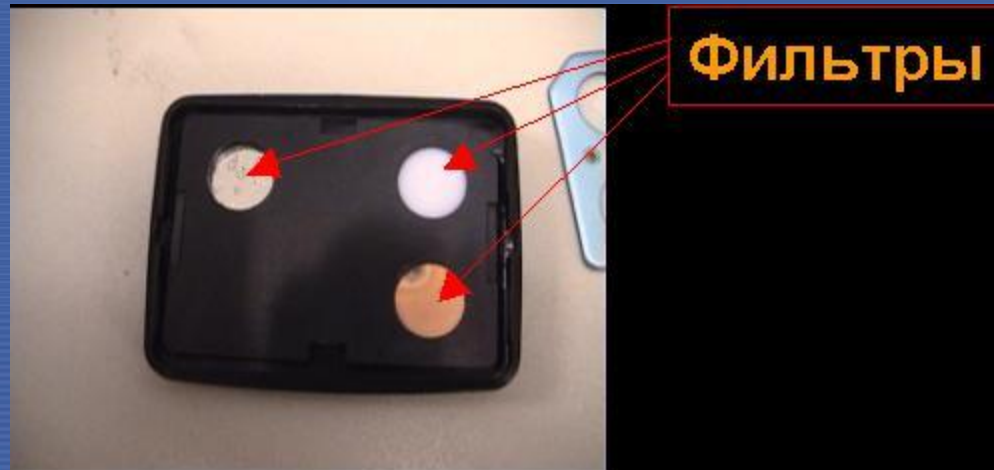
- Три основных типа приборов:

1. Измерители накопленной дозы или дозиметры

$H_p(10)$

$H_p(3)$

$H_p(0,07)$



Приборы радиационного контроля

- Три основных типа приборов:
 1. Измерители мощности дозы: (мЗв/ч)
 2. Измерители мощности дозы: (мЗв/ч)
 3. Радиометры: импульсы в секунду (имп./с)

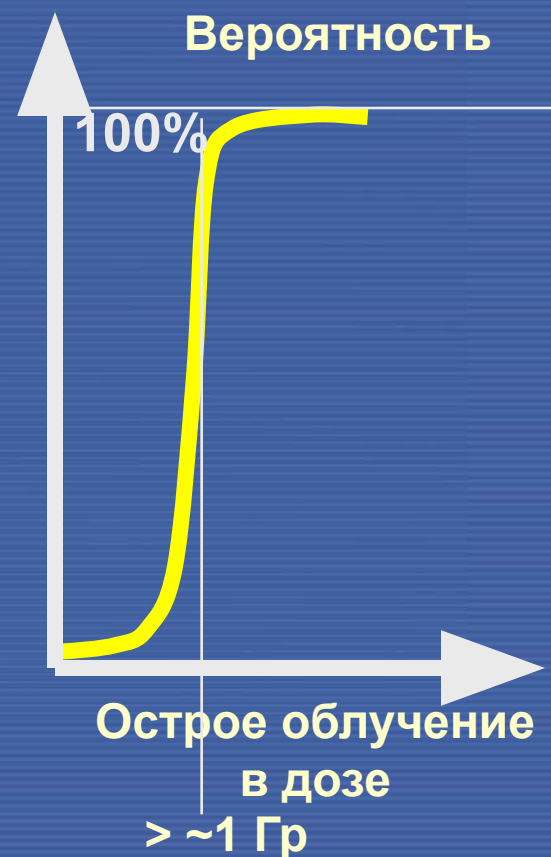
$H^*(10)$

Ф



Детерминированные эффекты

- Воздействие на здоровье излучения, для которого обычно существует пороговый уровень дозы, выше которого тяжесть проявления этого эффекта возрастает с увеличением дозы
 - Такой эффект характеризуется как серьезный детерминированный эффект, если он является смертельным или угрожающим жизни, или же приводит к постоянному ущербу, снижающему качество жизни



Детерминированные эффекты

Орган или ткань	Доза в течение менее 2 дней, Гр	Детерминированные эффекты	
		Тип эффекта	Время возникновения
Все тело (красный костный мозг)	1	Острая лучевая болезнь (ОЛБ)	1 – 2 месяца
Кожа	3	Эритема	1 – 3 недель
Щитовидная железа	5	Гипотиреоз	1 – несколько лет
Хрусталик глаза	2	Катаракта	6 месяцев – несколько лет
Гонады	3	Постоянная стерильность	недели
 IAEA	0.1	Тератогенез	-

Примеры детерминированных эффектов



3 wk

4wk

11wk

13wk



Детерминированные эффекты

- Данные о детерминированных эффектах получены вследствие наблюдения следующих когорт:
 - Лица с побочными эффектами радиотерапии
 - Первые радиологи
 - Пережившие бомбардировку в Хиросиме и Нагасаки
 - Пострадавшие вследствие аварии на Чернобыльской АЭС
 - Пострадавшие вследствие других радиационных аварий

Детерминированные эффекты после аварии на Чернобыльской АЭС

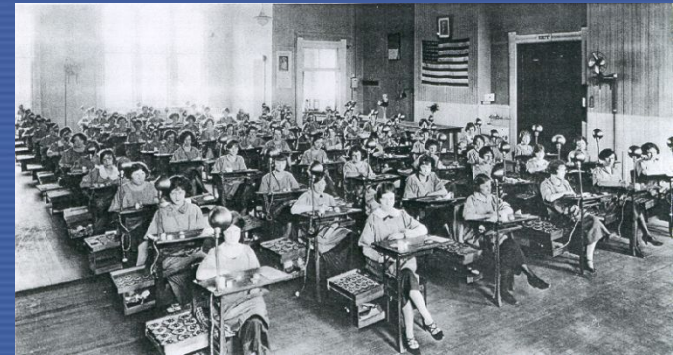
- Очень высокие дозы в пределах площадки
- 134 случая острой лучевой болезни среди реагирующих (пожарные и ликвидаторы)
 - 28 человек умерло вследствие высоких доз облучения – сочетание высоких доз внешнего облучения и радиационных ожогов кожи от облучения бета частицами
 - 17 человек умерли в 1987-2004 от различных причин, не обязательно связанных с радиационным облучением
- Случаев острой лучевой болезни среди населения зарегистрировано не было

Стохастические эффекты

- Радиационно-индуцированное (вызванное *излучением*) *воздействие на здоровье*, вероятность возникновения которого повышается при более высоких дозах *излучения*, а тяжесть проявления (если оно имеет место) – не зависит от *дозы*
- Стохастические эффекты:
 - Радиационно-индуцированный рак
 - Наследственные эффекты
- Отдаленное развитие (годы)
- Латентный период
 - Несколько лет (раки)
 - Сотни лет (наследственные эффекты)

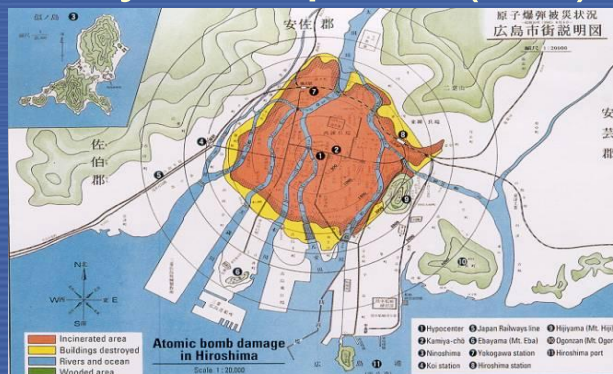
Источники данных о стохастических эффектах

- Профессиональное облучение
 - Первые радиологи и медицинские физики
 - Оформители циферблатов
 - Рабочие урановых шахт
 - Рабочие атомной промышленности
- Облученные по медицинским показаниям
- Пережившие бомбардировку в Хиросиме и Нагасаки
- Пострадавшие вследствие аварии на Чернобыльской АЭС
- Пострадавшие вследствие других радиационных аварий
- emergencies



Пережившие бомбардировку в Хиросиме и Нагасаки

- Результаты исследования в течение 47 лет (1950-1997)
- Наблюдаемое количество случаев рака: 9,335 смертельных случаев твердого рака (solid cancer)
- Ожидаемое количество случаев рака: ~8,895 смертельных случаев твердого рака (solid cancer)
 - Т.е. ~440 случаев рака (5%) были вызваны радиацией



Сравнение рисков

- Другим методом рассмотрения риска является сравнение радиационного риска с относительным риском (1 на 1 миллион) смерти вследствие обычных для современного общества действий
 - Курение 1.4 сигареты (рак легкого)
 - Употребление в пищу 40 чайных ложек арахисового масла
 - 2 дня жизни в Нью-Йорке (загрязнение воздуха)
 - Поездка на машине - 40 миль (авария)
 - Полет на самолете - 2500 миль (авария)
 - Гребля на каноэ в течение 6 минут
 - Облучение в дозе 0.10 мЗв (рак)

Вопросы

1. Вы получили дозу облучения 100 мГр – какие медицинские эффекты можно ожидать в этом случае?
2. Вы получили дозу облучения 1000 мкГр – какие медицинские эффекты можно ожидать в этом случае?
3. Облучение с какой мощностью дозы (Гр/ч) может привести к смерти в течение 10 минут облучения?

Ответы

1. $100 \text{ мГр} = 0.1 \text{ Гр}$ – нет эффектов
2. $1000 \text{ мкГр} = 0.001 \text{ Гр}$ – нет эффектов
3. 60 Гр/ч в течение 10 минут = 10 Гр –
смерть в течение короткого времени
после облучения

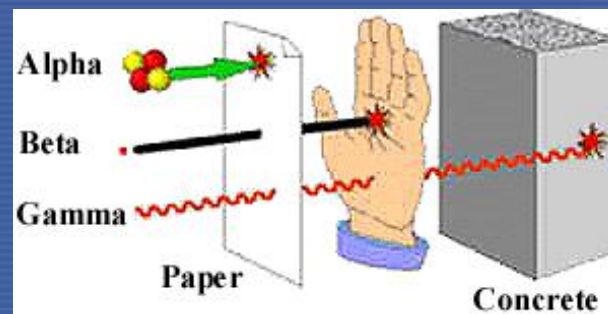
Другие последствия

- Для большинства радиологических аварий очень важны следующие последствия
 - Психологические
 - Экологические
 - Экономические
 - Социальные
 - Политические
- Часто являются результатом слабого реагирования
 - Медленная оценка
 - Неэффективное информирование населения



Заключение

- Важность знаний об эффектах радиации и последствиях радиационных аварий
- Три типа радиации
 - Альфа
 - Бета
 - Гамма
- Радиация присутствует везде
- Эффект зависит от дозы
- Детерминированные эффекты возможны вследствие облучения в высоких дозах
- Стохастические эффекты имеют вероятностный характер проявления



Где получить дополнительную информацию

- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996)
<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/SS-115-Web/Start.pdf>
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for developing arrangements for response to a nuclear or radiological emergency, EPR-METHOD, IAEA, Vienna (2003)
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Method2003_web.pdf
- UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volumes 1 and 2. N.-Y.: United Nations (2000).
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna (2007)
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1265_web.pdf
- <http://www.iaea.org/>