

# Радиационные эффекты и уровни радиации

Модуль L-001

*Лекция*



**IAEA**

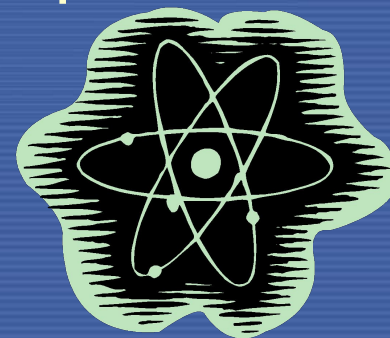
International Atomic Energy Agency

# 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

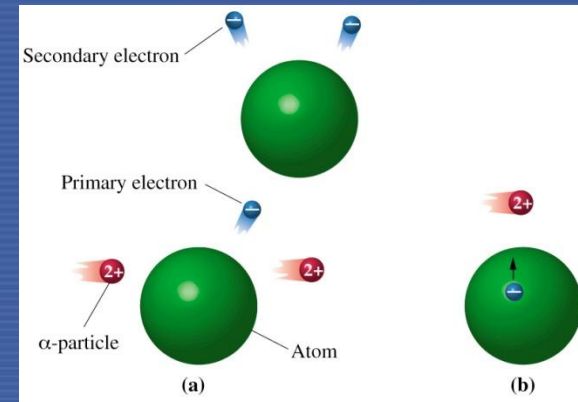
- Все вокруг нас
- Все время

- Существуют два типа радиации

- Неионизирующая радиация
- Ионизирующая радиация

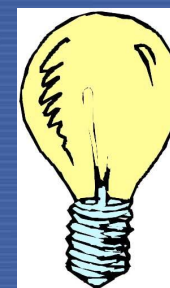
- Происхождение радиации

- 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

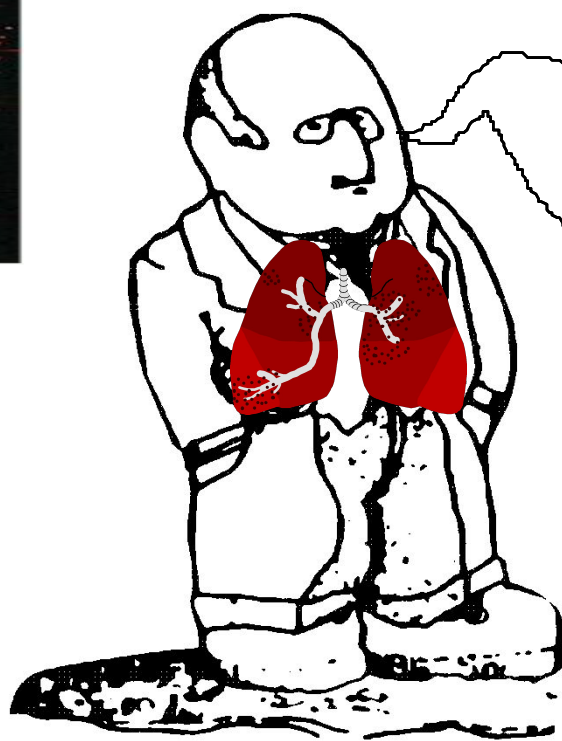
Суммарное облучение от 1 до 10 мЗв в год



Космос - 0.3 мЗв

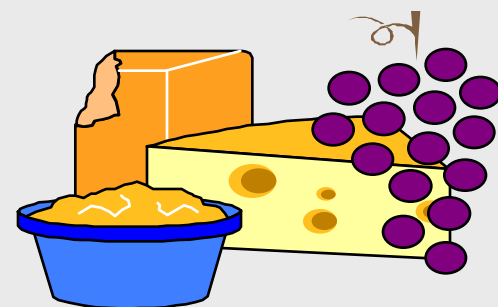


Земля - 0.3 мЗв



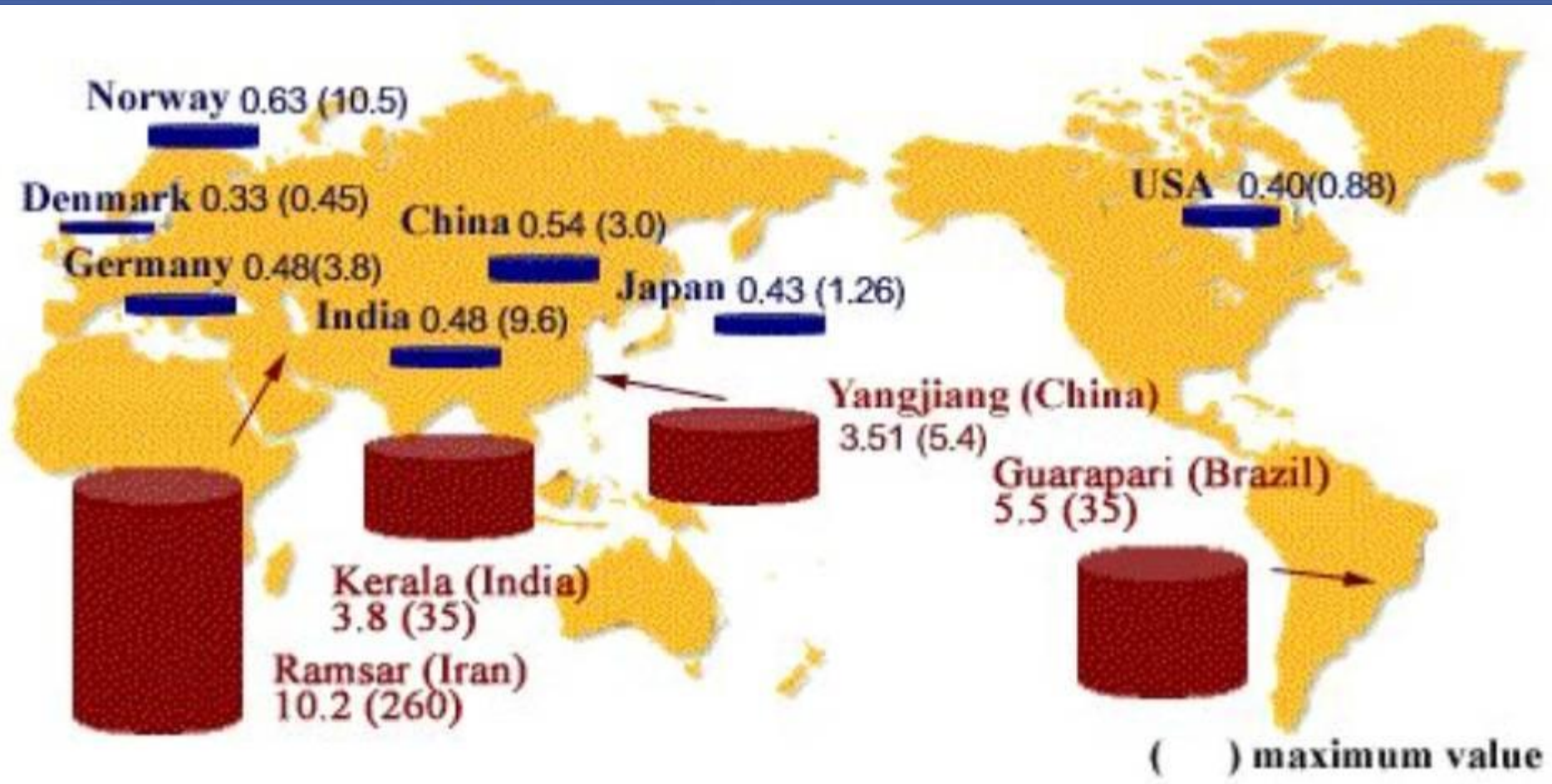
Air

Радон - 2 мЗв



Пицца - 0.4 мЗв

# Территории с высоким уровнем фона (дозы в мЗв)

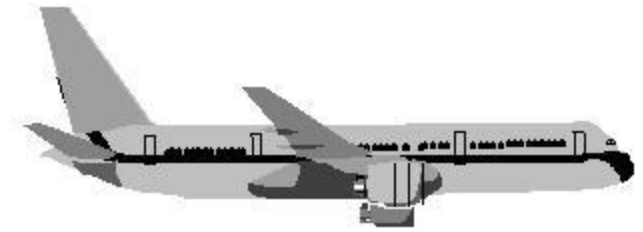


# Источники, созданные человеком

Облучение в среднем около 0,6 мЗв в год



Медицинское:  
0.5 мЗв



0,05 мЗв за полет  
длиной 5,000 км



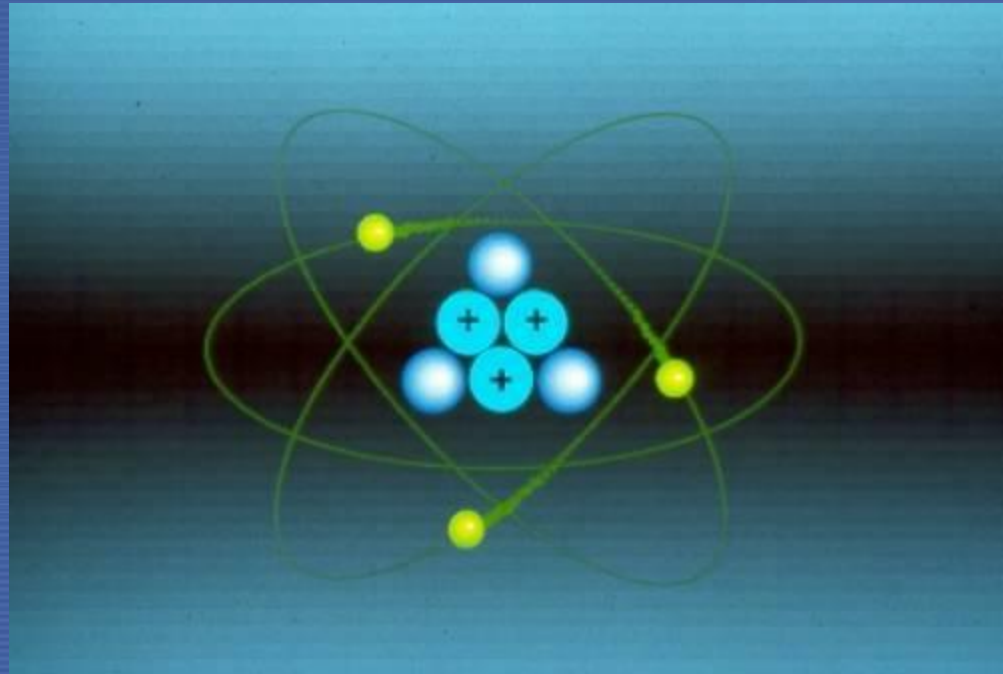
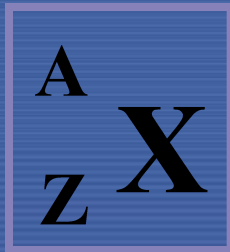
АЭС: выбросы и сбросы  
< 0,05 мЗв



# 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

12

6

C

14

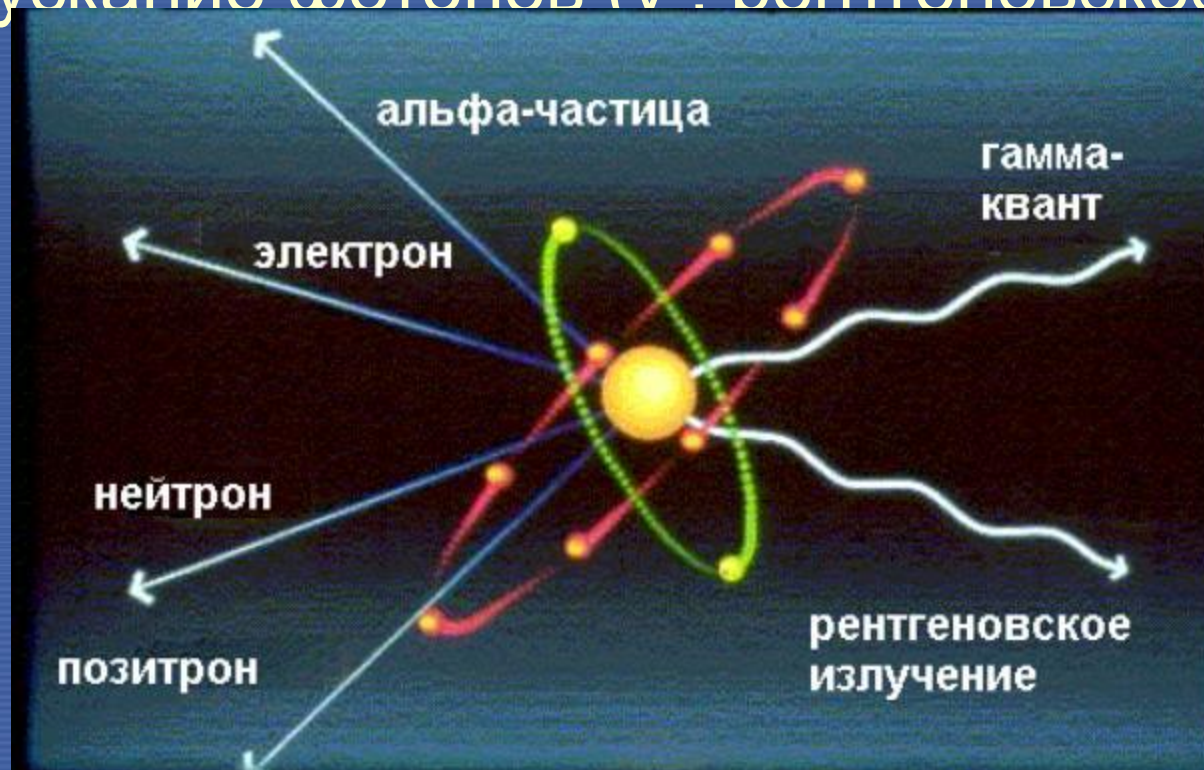
6

C

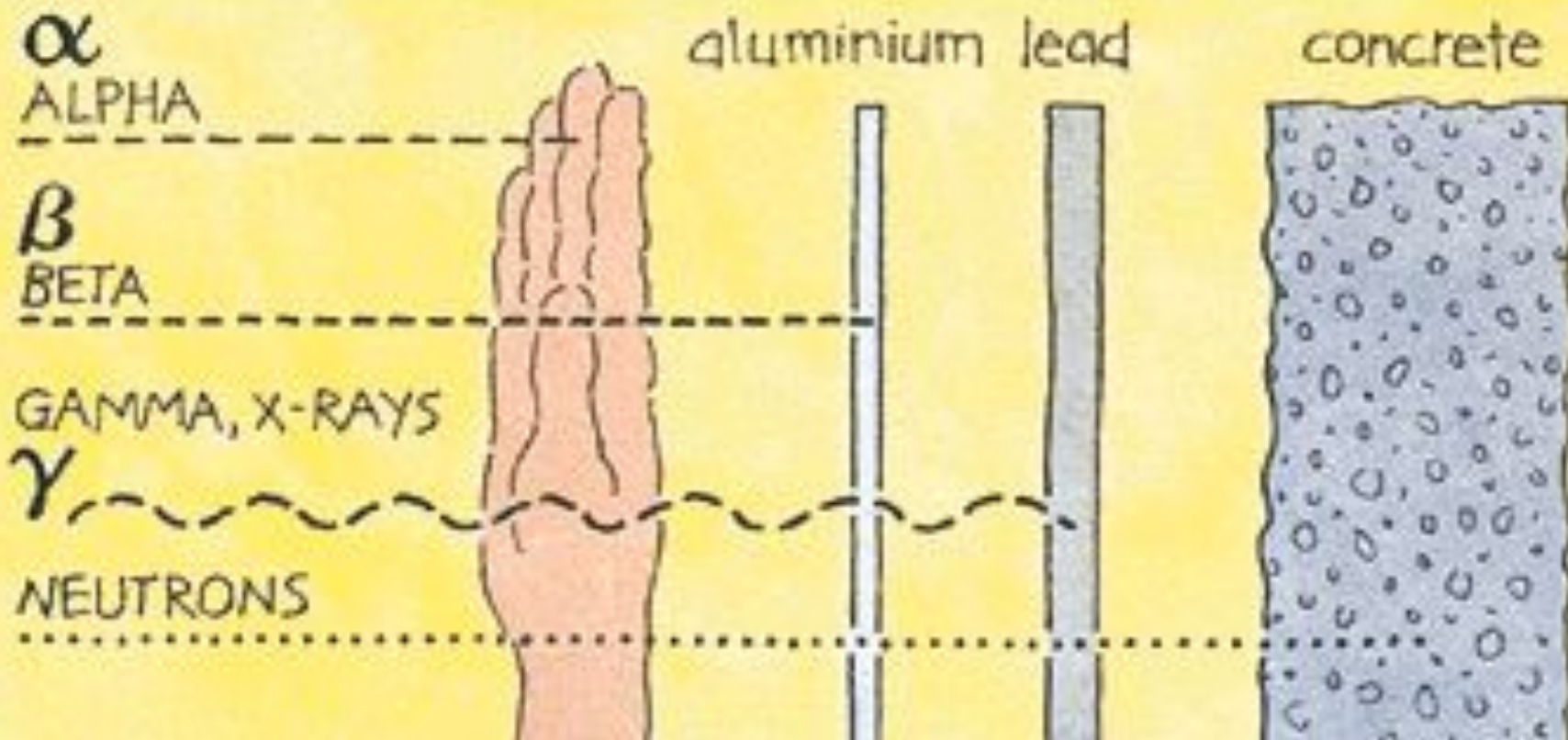
# Радиоактивность и излучение

- Типы излучения

- Испускание частиц ( $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,  $n^0$ )
- Испускание фотонов ( $\gamma$  - рентгеновское)



# Проникновение радиации

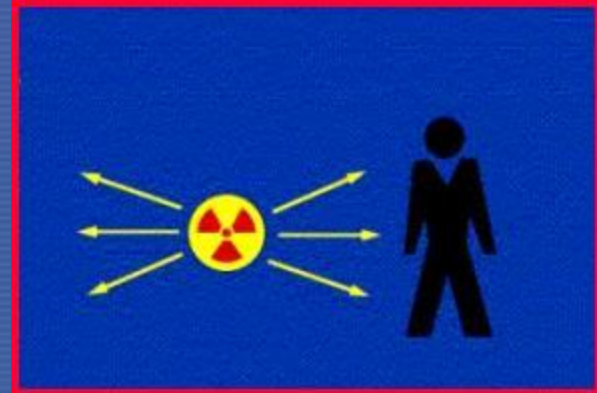


# Облучение: внешнее и внутреннее

- Внешнее облучение

- Источник вне тела человека

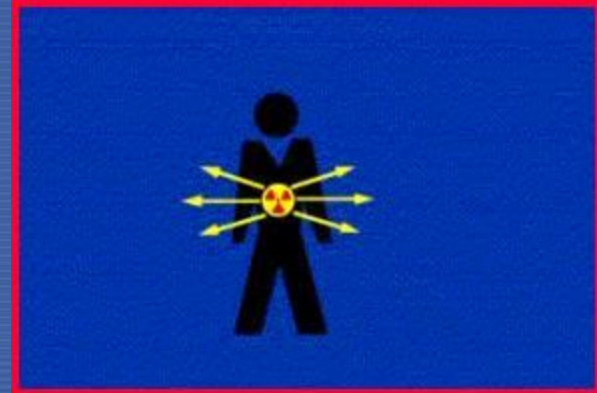
- Проникающее излучение:  
*фотоны, нейтроны*



- Внутреннее облучение

- Источник внутри тела человека

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

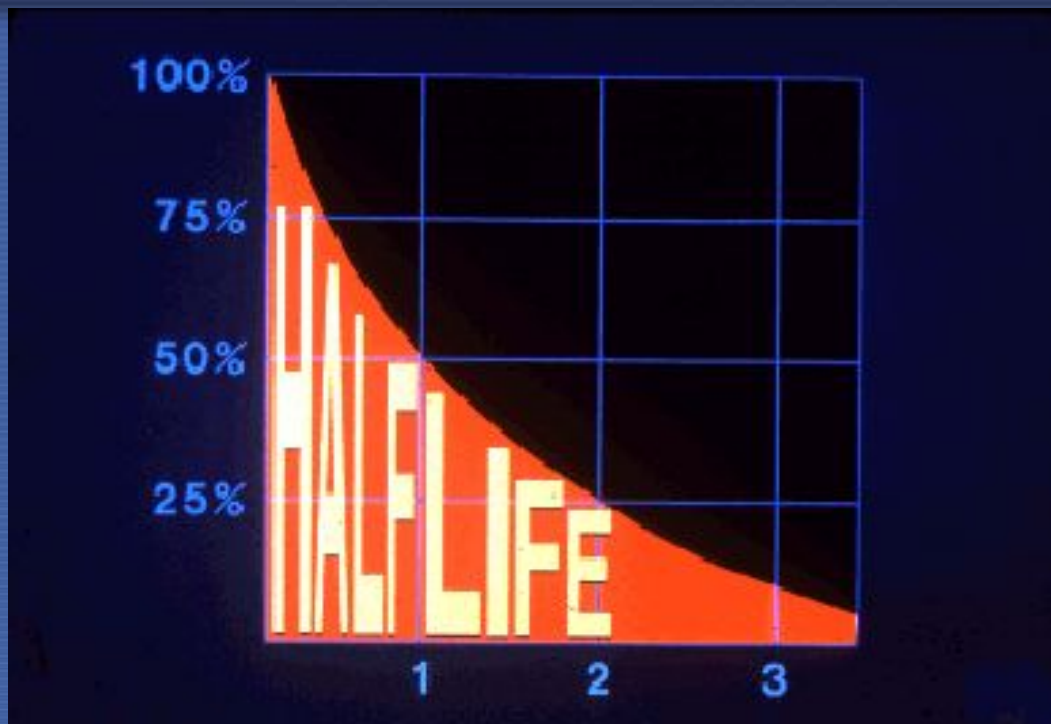


# Активность

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

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

# Радиоактивность и период полураспада



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

Нуклид:

Полураспад

$^3\text{H}$	12.3 лет
$^{14}\text{C}$	5,730 лет
$^{32}\text{P}$	14.4 дней
$^{125}\text{I}$	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:  $5 \text{ Зв/ч}$
  - 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:

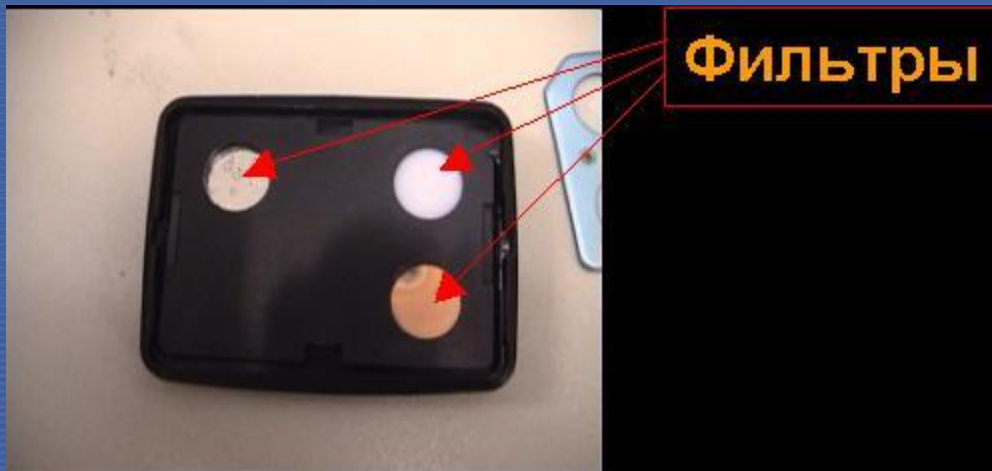
1. Измерители накопленной дозы или дозиметры



$H_p(10)$

$H_p(3)$

$H_p(0,07)$



Фильтры



Чипы

# Приборы радиационного контроля

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

$H^*(10)$

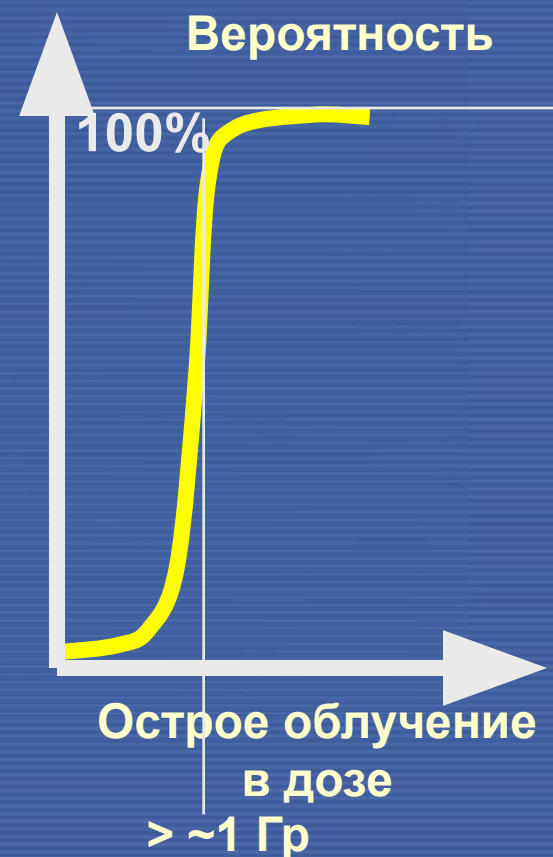
Ф





# 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
 <b>IAEA</b>	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

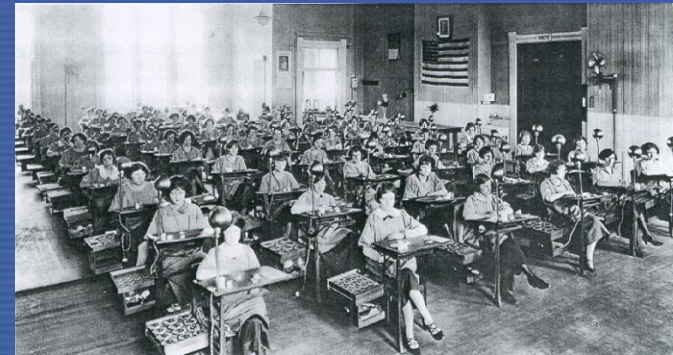
- Очень высокие дозы в пределах площадки
- 134 случая острой лучевой болезни среди реагирующих (пожарные и ликвидаторы)
  - 28 человек умерло вследствие высоких доз облучения – сочетание высоких доз внешнего облучения и радиационных ожогов кожи от облучения бета частицами
  - 17 человек умерли в 1987-2004 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)

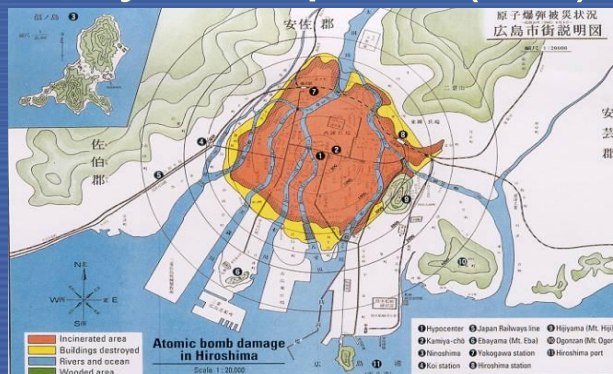
# Источники данных о стохастических эффектах

- 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?
1. Вы получили дозу облучения 1000 мкГр – какие медицинские эффекты можно ожидать в этом случае?
1. 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

1.  $1000 \text{ мкГр} = 0.001 \text{ Гр}$  – нет эффектов

1.  $60 \text{ Гр/ч}$  в течение 10 минут =  $10 \text{ Гр}$  –  
смерть в течение короткого времени  
после облучения

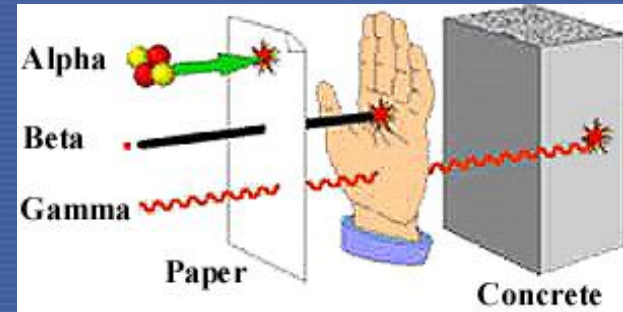
# Другие последствия

- 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](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-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1265_web.pdf)
- <http://www.iaea.org/>