

# Ионизирующее излучение

1. Природа ионизирующего излучения (И.И.)
2. Источники ионизирующих излучений
3. Измерение ионизирующих излучений
4. Количественные характеристики И.И.
5. Физические свойства И.И.
6. Биологическое действие И.И.
7. Механизмы биологического воздействия
8. Гигиеническое нормирование И.И.

## Природа И.И.

- **Ионизирующим излучением («И.И.»)** называют потоки частиц и электромагнитных волн, взаимодействие которых со средой вызывает ионизацию ее молекул и атомов. К **электромагнитному «И.И.»** относят жесткое ультрафиолетовое,

# Корпускулярное И.И. $E = mv^2/2$

- К корпускулярному «И.И.» относят все частицы, энергия которых больше или равна энергии ионизации, в частности, потоки:

**бета-частиц (электронов и позитронов);**

**альфа-частиц (ядер атома гелия-4);**

**нейтронов; протонов, других ионов,**

**мюонов и др.; осколков деления**

**(тяжелых ионов, возникающих при**

# Источники ионизирующего излучения

- Природные источники ионизирующего излучения:
- Спонтанный радиоактивный распад радионуклидов.
- Термоядерные реакции, например на Солнце.
- Индуцированные ядерные реакции в результате попадания в ядро высокоэнергетичных элементарных частиц или слияния ядер.
- Космические лучи.

# Источники ионизирующего излучения

- Искусственные источники ионизирующего излучения:
- Искусственные радионуклиды.
- Ядерные реакторы.
- Ускорители элементарных частиц (генерируют потоки заряженных частиц, а также тормозное фотонное излучение).
- Рентгеновский аппарат как разновидность ускорителей, генерирует тормозное рентгеновское излучение.

## Основные источники И.И.

**49,5% - газ радон  $^{222}\text{Rn}$ ;**

**15% - радиоизотоп  $^{40}\text{K}$ ;**

**15,3% - космическое  
излучение;**

**12,2% - радиевый ряд урана;**

**8% - ториевый ряд урана**

# ГАЗ РАДОН

Образуется из рассеянного в породах земной коры, непрерывно распадающегося радия  $^{236}\text{R}$ . Радон, являясь инертным газом, сравнительно хорошо растворим в воде. Из почвы он поступает в приземный слой атмосферы и воды подземных источников, непрерывно облучая высокоэнергетичными (5,4 МэВ)  $\alpha$ -частицами и  $\gamma$ -излучением (0,51 МэВ) почву, корни растений и наземную флору и фауну

$$1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6 \text{ Кл} \cdot \text{В} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

# Радиоизотоп $^{40}\text{K}$

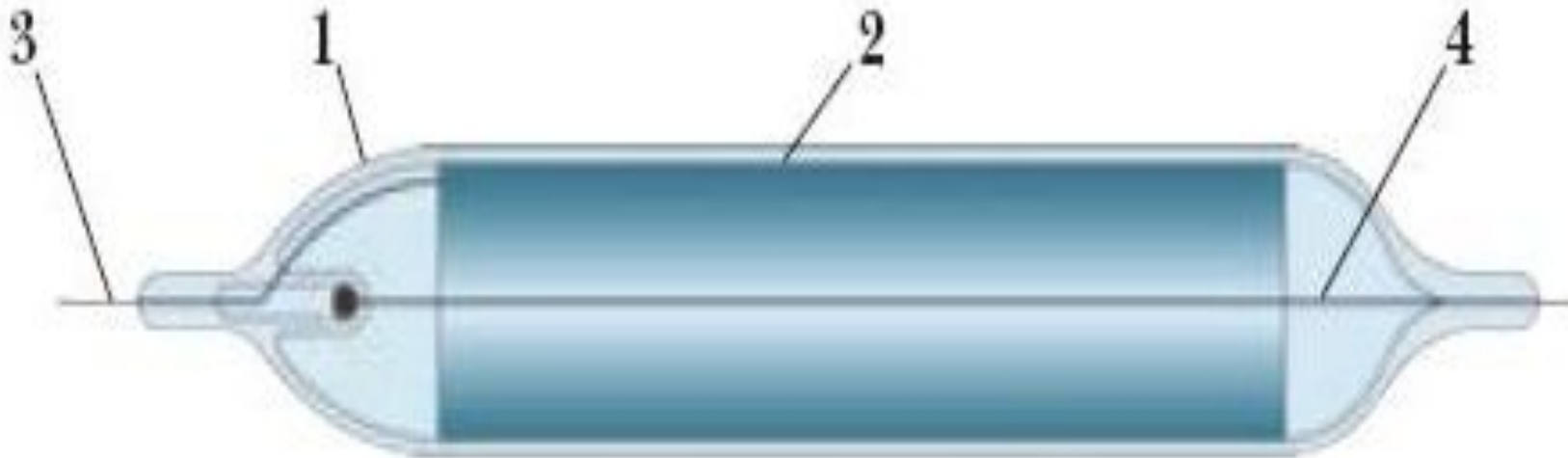
- Радиоизотоп  $^{40}\text{K}$  является основным источником постоянного внутреннего облучения живых организмов. Наибольшая его концентрация в красном костном мозге



# Космическое излучение

- Из космического пространства исходит поток И.И., постоянно облучающий нашу планету. Во время солнечных вспышек этот поток существенно возрастает. **Первичное космическое излучение состоит из протонов высоких энергий, ионов гелия, ядер других атомов, электронов, фотонов и нейтронов.** Попадая в атмосферу они вызывают ядерные реакции с образованием ряда радиоактивных нуклидов

# Измерение ионизирующих излучений



**Схема устройства счётчика Гейгера – Мюллера:**

**1 – герметически запаянная стеклянная трубка; 2 – катод (тонкий слой меди на цилиндре из нержавеющей стали); 3 – вывод катода; 4 – анод (тонкая нить)**

# РАДИОАКТИВНОСТЬ

**Радиоактивностью** называют **самопроизвольный распад** **неустойчивых ядер с испусканием других ядер или элементарных частиц.**

Характерным признаком, отличающим ее от других видов ядерных превращений, является **самопроизвольность**

(**спонтанность**) этого процесса. Различают радиоактивность **естественную** и **искусственную.** **Естественная**

**радиоактивность** встречается у **неустойчивых ядер, существующих в**

# Основной закон радиоактивного распада

*Радиоактивный распад — это статистическое явление.* Невозможно предсказать, когда распадется данное нестабильное ядро, можно лишь сделать некоторые вероятностные суждения об этом событии. Пусть за достаточно малый интервал времени  $dt$  распадается  $dN$  ядер. Это число пропорционально интервалу времени  $dt$ , а также общему числу  $N$  радиоактивных ядер:

$$dN = -\lambda N dt$$

Основной закон радиоактивного распада

$$dN = -\lambda N dt$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

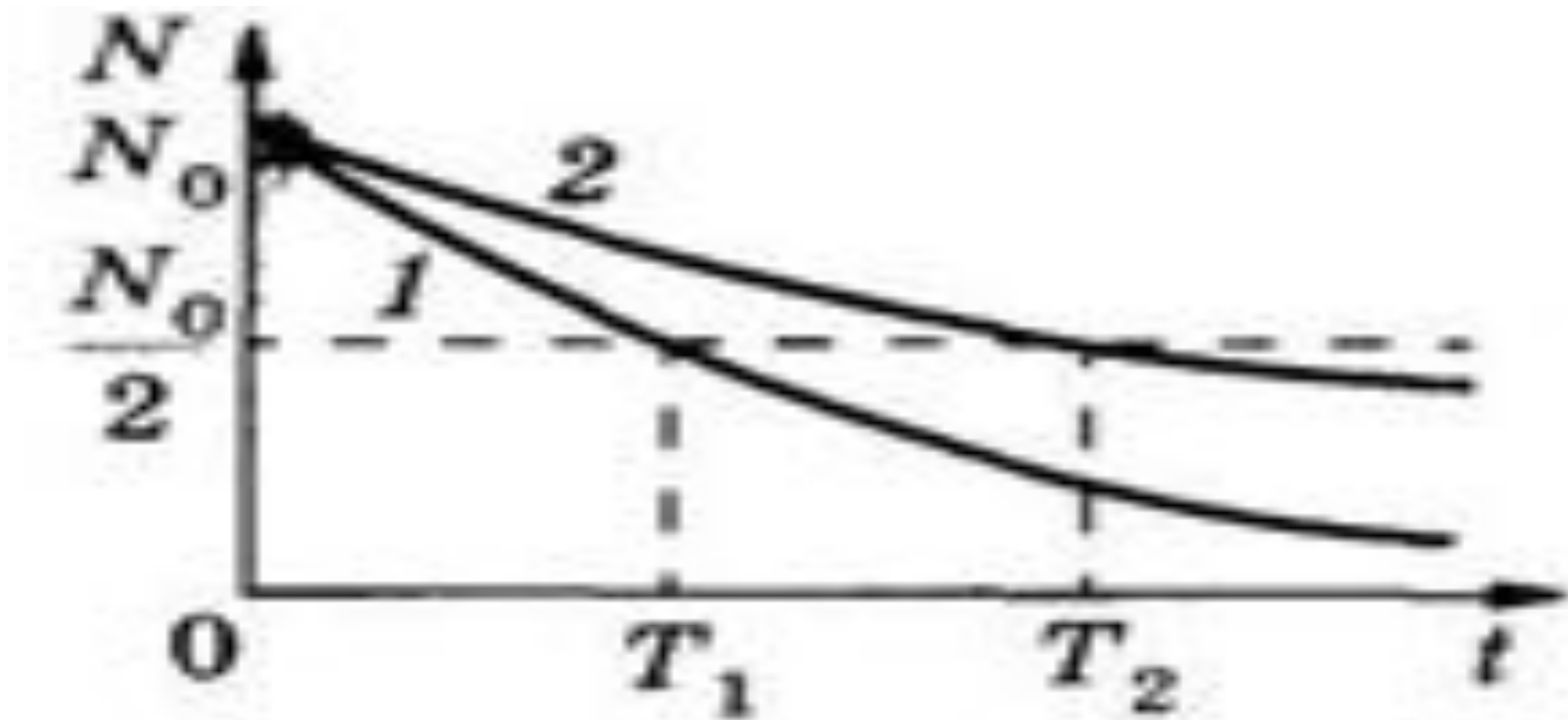
$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

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

# Основной закон радиоактивного распада

Число радиоактивных ядер, которые еще не распались, убывает со временем по экспоненциальному закону.



# АКТИВНОСТЬ РАСПАДА

Работая с радиоактивными источниками, важно знать число частиц или  $\gamma$ -фотонов, вылетающих из препарата в секунду. Это число пропорционально скорости распада, поэтому скорость распада, называемая

$\varepsilon$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t},$$

$$A = \frac{N}{T} \ln 2.$$

# АКТИВНОСТЬ РАСПАДА

Единица активности — **беккерель (Бк)**, что соответствует активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за 1 с происходит один акт распада.

Наиболее употребительной единицей активности является **кюри (Ки)**;  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ . Кроме того, существует еще одна внесистемная единица активности — **резерфорд (Рд)**;

- $1 \text{ Рд} = 10^6 \text{ Бк} = 10^6 \text{ с}^{-1}$



# Счетчик Гейгера-Мюллера

- Счётчик Гейгера – Мюллера представляет собой герметично запаянную стеклянную трубку, наполненную каким-либо газом под давлением 13–26 кПа. Внутри трубки находятся два электрода, к которым прикладывается напряжение в несколько сотен вольт. При попадании ионизирующей частицы в счётчик Гейгера – Мюллера возникает вспышка коронного разряда и во внешней цепи прибора появляется импульс тока, который усиливается и регистрируется счётчиком импульсов.

# Количественные характеристики И.

И.

- Эффективность взаимодействия ионизирующего излучения с веществом зависит от типа излучения, энергии частиц и сечения взаимодействия облучаемого вещества. Важными показателями взаимодействия ионизирующего излучения с веществом служат такие величины, как:

# Количественные характеристики И. И.

- **линейная плотность ионизации (i)**, под которой понимают отношение числа  $dn$  ионов одного знака, которые образуются при прохождении «И. И.» элементарного пути  $dl$  к этому пути:

$$\bullet i = dn/dl$$

# Количественные характеристики И.

И.

- линейная тормозная способность вещества ( $S$ ), под которой понимают отношение энергии  $dE$ , которая теряется «И. И.» при прохождении элементарного пути  $dl$  к этому пути:

$$\bullet S = dE/dl$$

# Количественные характеристики И.

## И

- **Средний линейный пробег  $R$**  - это среднее значение расстояния между началом и завершением прохождения «И.И.» в данном веществе.
- **При изучении степени поражения** тех или иных биологических объектов необходимо иметь представление о физических характеристиках излучения, **особенно о его энергии.**

## Физические свойства ИИ

Для ионизации молекул, входящих в состав воздуха, значения линейной тормозной способности воздуха  $S$  лежат в интервале 70—270 МэВ/м. Средний линейный пробег  $\alpha$ -частицы зависит от ее энергии и от плотности вещества. В воздухе он равен нескольким см, в жидкостях и в живом организме - 10 -100 мкм. После того как скорость  $\alpha$ -частицы уменьшается до скорости молекулярно-теплового движения, она, захватив два электрона в веществе, превращается в атом гелия.

# Физические свойства ИИ

Бета-излучение, так же как и  $\alpha$ -излучение, вызывает ионизацию вещества. В воздухе линейная плотность ионизации  $\beta$ -частицами может быть вычислена по формуле:

$$I = k(c/v)^2$$

$k \sim 4600$  пар ионов/м;  $c$  - скорость света;

$v$  - скорость  $\beta$ -частиц. Кроме ионизации и возбуждения  $\beta$ -частицы могут вызывать и другие процессы. Так, например, при торможении электронов возникает тормозное рентгеновское излучение.

# Физические свойства ИИ

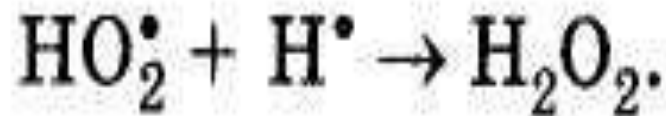
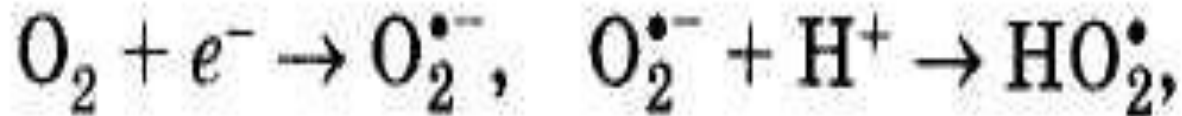
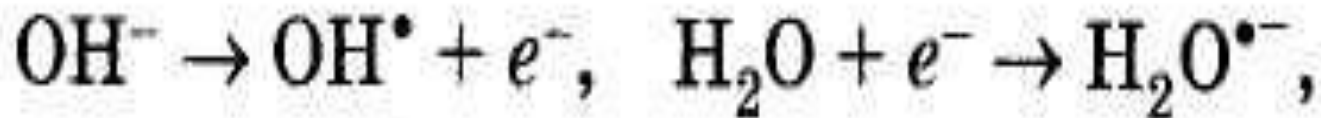
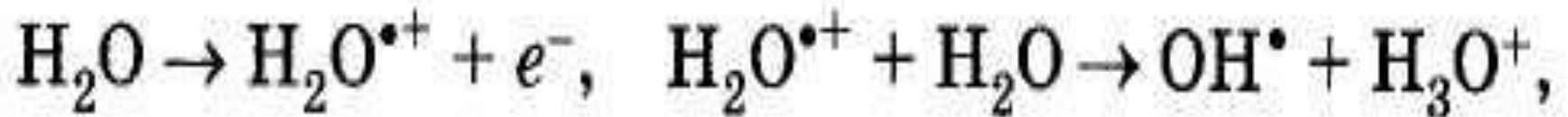
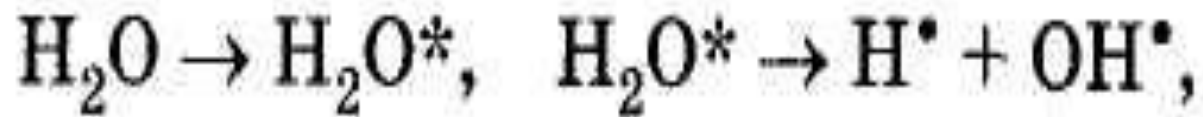
В ткани организма  $\beta$ -частицы проникают на глубину 10–15 мм. При попадании  $\gamma$ -излучения в вещество наряду с когерентным рассеянием, эффектом Комптона, фотоэффектом, возникают и такие явления, как образование пары электрон — позитрон, происходящее при энергии  $\gamma$ -фотона, не меньшей суммарной энергии покоя электрона и позитрона (1,02 МэВ), и фотоядерные реакции, которые возникают при взаимодействии  $\gamma$ -фотонов больших энергий с атомными ядрами.



# Биологическое действие И.И.

Рассматривая первичные физико-химические процессы в организме при действии ионизирующих излучений, следует учитывать две принципиально разные возможности взаимодействия: с молекулами воды и с молекулами органических соединений. Под действием ионизирующих излучений происходят химические превращения вещества, получившие название *радиолиза*. Укажем возможные механизмы радиолиза воды:

# Радиолиз воды

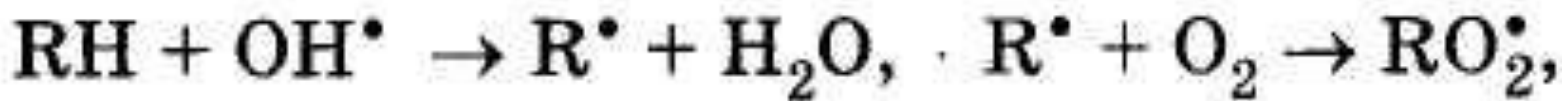


# Радиолиз воды

Наиболее реакционноспособными являются три типа радикалов (присутствие неспаренного электрона у свободных радикалов обозначается жирной точкой в верхнем правом индексе), образующихся при радиолизе воды:  $e^-$ ,  $H^+$  и  $OH^\bullet$ .

Взаимодействие органических молекул  $RH$  с этими радикалами может привести к образованию радикалов органических

М



# Механизмы биологического действия

И.И

Общие закономерности, характерные для биологического действия ионизирующего излучения состоят в том, что значительные биологические нарушения вызываются ничтожно малыми количествами поглощаемой энергии излучения. И.И. действует не только на биологический объект, подвергнутый облучению, но и на последующие поколения через наследственный аппарат клеток. Это обстоятельство, а также его условное прогнозирование особо остро ставят вопрос о защите организмов от излучения

# Механизмы биологического действия

## И.И

Для биологического действия ионизирующего излучения специфичен скрытый (*латентный*) период. Разные части клеток по-разному чувствительны к одной и той же дозе ионизирующего излучения. Наиболее чувствительным к действию излучения является ядро клетки. Способность к делению — наиболее уязвимая функция клетки, поэтому при облучении прежде всего поражаются растущие ткани. Это делает И.И. особенно опасным для детского организма, включая

# Гигиеническое нормирование И.И.

Естественные радиоактивные источники (космические лучи, радиоактивность недр, воды, радиоактивность ядер, входящих в состав человеческого тела, и др.) создают фон, соответствующий приблизительно эквивалентной дозе 125 мбэр в течение года. Предельно допустимой эквивалентной дозой при профессиональном облучении считается 5 бэр в течение года. Минимальная летальная доза от  $\gamma$ -излучения около 600 бэр. Эти данные соответствуют облучению всего организма.

# ДОЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И.И.

Независимо от природы ионизирующего излучения его взаимодействие количественно может быть оценено отношением энергии, переданной элементу облученного вещества, к массе этого элемента. Эту характеристику называют *дозой излучения* (**поглощенной дозой излучения**)  $D_n$ . Различные эффекты ионизирующего излучения прежде всего определяются поглощенной дозой. Она сложным образом зависит от вида ионизирующего излучения, энергии его

# ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА

$$D_n = E/m = nE_0 / m$$

Единицей поглощенной дозы излучения является *грей* (Гр), который соответствует дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж.

Внесистемная единица дозы излучения — *рад* (1 рад =  $10^{-2}$  Гр = 100 эрг/г). **Мощность** поглощенной дозы выражается в греях в секунду (Гр/с) или рад/с.

$$P_n = E/(m \cdot t) = nE_0 / (m \cdot t)$$



# Экспозиционная доза И.И.

Практически измерить поглощенную дозу трудно, так как тело неоднородно, энергия рассеивается телом по всевозможным направлениям и т.п. Но можно оценить поглощенную телом дозу по ионизирующему действию излучения в воздухе, окружающем тело. В связи с этим вводят еще одно понятие дозы для рентгеновского и  $\gamma$ -излучения - *экспозиционную дозу излучения*  $D_{\text{эксп}}(X)$ , которая является мерой ионизации воздуха рентгеновскими и  $\gamma$ -лучами.

# Экспозиционная доза И.И.

Экспозиционная доза И.И. находится по формуле

$$D_{\text{эксп}} = Q/m = n \cdot e/m$$

За единицу экспозиционной дозы принят *кулон на килограмм* (Кл/кг). На практике используют единицу, называемую *рентгеном* (Р).

Между поглощенной и экспозиционной дозами существует связь:  $D_{\text{п}} = f \cdot D_{\text{эксп}}$

$$P_{\text{эксп}} = D_{\text{эксп}}/t = Q/(m \cdot t) = n \cdot e/(m \cdot t) = k \cdot A/r^2$$

Единицей мощности экспозиционной дозы является 1 А/кг, а внесистемной единицей — 1 Р/с

# ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА И.И.

Различные излучения даже при одной и той же поглощенной дозе оказывают разные воздействия. Поэтому для учета поглощенной дозы и биологического эффекта вводят эквивалентную дозу, которая измеряется в зивертах (**Зв**), а меньшая единица – **бэр**.

$$D_{\text{экв}} = k \cdot D_{\text{п}} = k \cdot n \cdot E_0 / m$$

Коэффициент  $K$ , показывающий, во сколько раз эффективность биологического действия данного вида излучения больше, чем рентгеновского или  $\gamma$ -излучения.