

# Дозиметрия ионизирующих излучений. Задачи.

# Вопросы по лекции 1

1. Что такое ионизирующее излучение?
2. Что такое дозиметрия?
3. Строение атома. Общие представления.
4. Виды элементарных частиц.
5. Строение атомного ядра. Изотопы и изобары.
6. Понятие о ядерных силах.
7. Явление радиоактивности.
8. Основные виды ионизирующих излучений.
9. Радиоактивный распад. Постоянная радиоактивного распада.
10. Активность ионизирующего излучения.
11. Период полураспада.
12. Закон радиоактивного распада.

# **Активность ( $a$ ) (радиоактивность)** образца

Число распадов, регистрируемых в радиоактивном образце за единицу времени

Значение активности прямо пропорционально количеству атомов ( $N$ ) радиоактивного вещества:

$$a = \lambda \cdot N$$

# Единицы измерения радиоактивности

Международная система единиц СИ:

$$1 \text{ Бк} = 1 \frac{\text{расп}}{\text{сек}}$$

**беккерель [Бк]**. Один **беккерель** равен одному распаду в секунду.

Внесистемная единица активности:

**кюри [Ки]**, **соответствующая** скорости распада одного грамма радия ( $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов в секунду),

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$

Эта единица удобна для оценки активности больших количеств радионуклидов

Между постоянной радиоактивного распада и периодом полураспада существует простая связь:

$$T = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$$

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}; T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Закон радиоактивного распада можно записать следующим образом:

$$N_t = N_0 e^{-0,693 \frac{t}{T_{1/2}}}$$

Активность  $a_t$  любого радиоактивного препарата по истечении времени  $t$  определяют по формуле, соответствующей основному закону радиоактивного распада:

$$a_t = a_0 e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}},$$

где  $a_t$  – активность препарата через время  $t$ ;

$a_0$  – активность препарата в начальный момент наблюдения.

Часто необходимо определить активность заданного количества любого радиоактивного вещества.

**Моль** – это количество вещества, содержащее столько же атомов, сколько их содержится в 0,012 кг=12 г изотопа углерода  $^{12}\text{C}$ .

В одном моле любого вещества содержится число Авогадро  $N_A$  атомов:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ атомов.}$$

Для простых веществ (элементов) масса одного моля численно соответствует атомной массе  $A$  элемента.

Например:

для магния: 1 моль  $^{24}\text{Mg} = 24$  г;

для  $^{226}\text{Ra}$ : 1 моль  $^{226}\text{Ra} = 226$  г и т.д.

В  $m$  граммах вещества будет  $N$  атомов:

$$N = \frac{m}{A} \times N_A.$$

Активность  $a$  простого элемента будет определяться по формуле:

$$a = \lambda \times N = \lambda \times \frac{m}{A} \times N_A.$$



## Пример:

Подсчитаем активность 1 грамма  $^{226}\text{Ra}$ , у которого  $\lambda = 1,38 \cdot 10^{-11} \text{ сек}^{-1}$ .

$$a = 1,38 \cdot 10^{-11} \times 1/226 \times 6,02 \cdot 10^{23} = 3,66 \cdot 10^{10} \text{ сек}^{-1}$$

Если радиоактивный элемент входит в состав химического соединения, то при определении активности препарата необходимо учитывать его формулу. С учётом состава вещества определяется массовая доля  $\chi$  радионуклида в веществе:

$$\chi = \frac{m_{рн}}{A_{в}},$$

где  $m_{рн}$  – атомная масса радионуклида в соединении,  
 $A_{в}$  – атомная масса вещества.

С учётом активности  $a_{\varepsilon}$  соединения будет определяться формулой:

$$a_{\varepsilon} = \lambda \times \frac{\chi \times m_{\varepsilon}}{A_{\varepsilon}} \times N_A.$$

## Пример решения задачи:

Активность  $A_0$  радиоактивного элемента  $^{32}\text{P}$  в день наблюдения составляет 1000 Бк.

Определить активность и количество атомов этого элемента через неделю. Период полураспада  $T_{1/2}$   $^{32}\text{P}$  = 14,3 дня.

а) Найдём активность фосфора-32 через 7 суток:

$$A_t = 1000 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot 7}{14,3}} = 1000 \cdot 2,72^{-0,34} = 712 \text{ Бк.}$$

б) Рассчитаем количество атомов в образце:

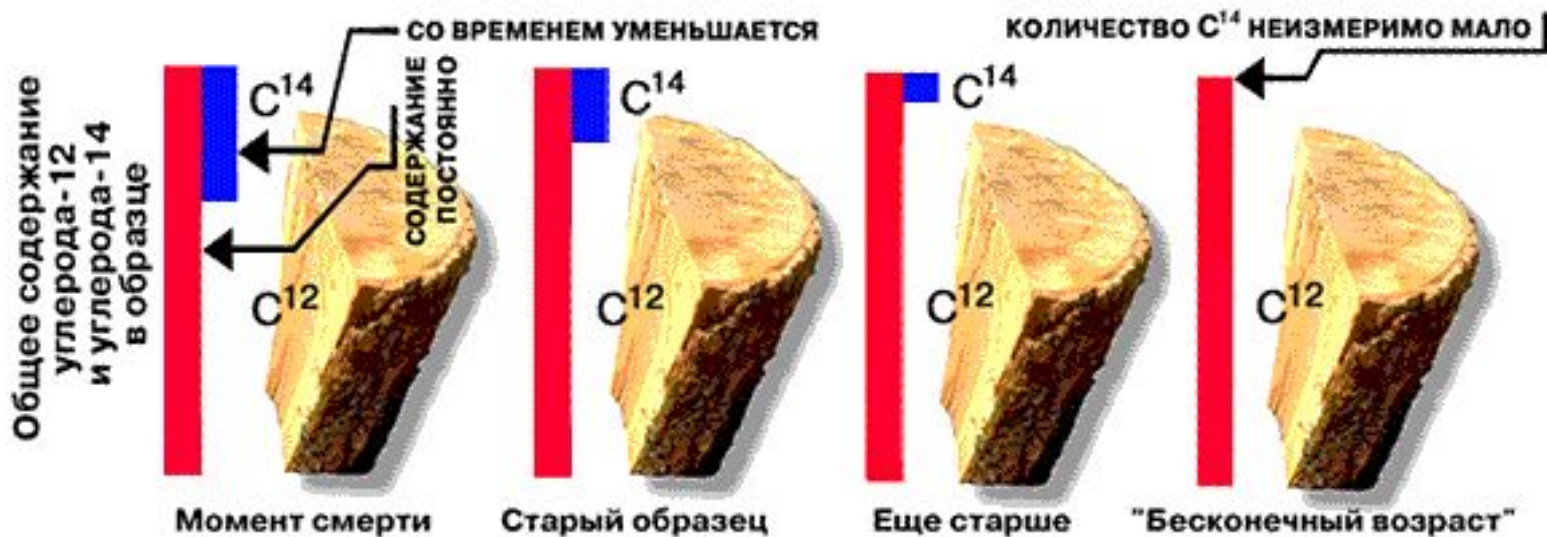
$$N_t = \frac{A_t}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{14,3 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ сек}^{-1} \Rightarrow N_t = \frac{712}{5,6 \cdot 10^{-6}} = 127,14 \cdot 10^6 \text{ ат.}$$

## Ответ:

Через неделю активность препарата  $^{32}\text{P}$  составит 712 Бк, а количество атомов радиоактивного изотопа  $^{32}\text{P}$  –  $127,14 \cdot 10^6$  атомов.

# Радиоизотопные методы датировки ископаемых остатков



## Изотопы, используемые для определения абсолютного возраста

Материнский изотоп	Конечный продукт	Период полураспада, млрд лет
$^{147}\text{Sm}$	$^{143}\text{Nd} + \text{He}$	106,00
$^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb} + ^8\text{He}$	4,46
$^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb} + ^7\text{He}$	0,70
$^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb} + ^6\text{He}$	14,00
$^{87}\text{Rb}$	$^{87}\text{Sr}$	48,80
$^{40}\text{K}$	$^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}$	1,30
$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{N}$	5730 лет



# Калий – аргоновый метод (*аргоновый метод*)

радиометрический физический метод датирования палеонтологических остатков, предметов и материалов биологического происхождения путём измерения содержания в материале радиоактивного изотопа калия  $^{40}\text{K}$  и изотопа аргона  $^{40}\text{Ar}$ . Изотоп  $^{40}\text{K}$ , который составляет 0,012 % природного калия

Предложен в 1948 году Эрихом Карловичем Герлингом (СССР) и Альфредом Ниром (США)

Период полураспада изотопа калия  $^{40}\text{K}$ :  
 $T = 300$  млн лет

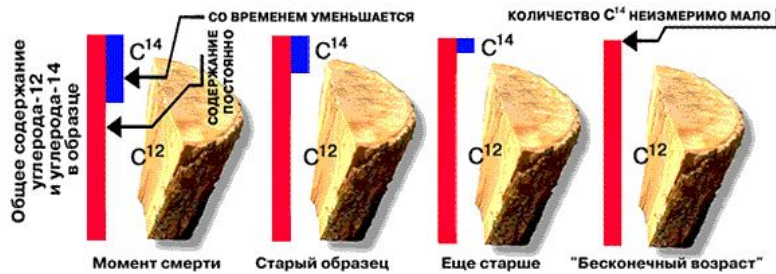
## Радиоуглеродный метод

физический метод датирования палеонтологических остатков, предметов и материалов биологического происхождения путём измерения содержания в материале радиоактивного изотопа углерода  $^{14}\text{C}$  относительно содержания его в атмосфере.

Предложен Уиллардом Либби в 1946 – 1949 годах

Период полураспада изотопа углерода  $^{14}\text{C}$ :

$T = 5360$  лет.



ВОСПОЛЬЗУЕМСЯ ФОРМУЛАМИ:

$$p(t) = 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$t = -\ln p(t) \cdot \frac{T}{\ln 2}$$

$p(t)$  – доля радионуклида ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ )

$t$  – продолжительность распада (возраст палеонтологических остатков, горных пород)

$$t = -\ln p(t) \cdot \frac{T}{\ln 2}$$

Радиоуглеродный метод:

$$\frac{T}{\ln 2} = \frac{5360}{\ln 2} = \frac{5360}{0,693} = 7734,5$$

$$t = -\ln p(t) \cdot 7734,5 \text{ лет}$$

$$t = -\ln p(t) \cdot \frac{T}{\ln 2}$$

Калий – аргоновый метод:

$$\frac{T}{\ln 2} = \frac{300}{\ln 2} = \frac{300}{0,693} = 432,9$$

$$t = -\ln p(t) \cdot 432,9 \text{ млн лет}$$

# ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ:

**Радиоуглеродный метод:**

**Образец кости мамонта содержит 0,20 изотопа  $^{14}\text{C}$  от исходного количества. Определить возраст данного образца.**

*Решение:*

$$t = -\ln p(t) \cdot 7734,5$$

$$t = -\ln 0,20 \cdot 7734,5 = 1,609 \cdot 7734,5 = 12448$$

лет

# ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ:

## Калий-аргоновый метод:

Палеонтологические отпечатки листьев древовидного папоротника содержат 0,50 изотопа калия  $^{40}\text{K}$  от исходного количества. Определить возраст данного образца.

## *Решение:*

$$t = -\ln p(t) \cdot 432,9 \text{ млн лет}$$

$$t = -\ln 0,50 \cdot 432,9 \text{ млн лет} = 0,6931 \cdot 432,9 \text{ млн лет} = 300 \text{ млн лет}$$

**Экспозиционная доза** является количественной характеристикой поля ионизирующего излучения.

Она зависит от **величины ионизации** (количества образованных пар ионов) сухого воздуха при атмосферном давлении в 760 мм рт. ст.

$$D_{\text{эксн}} = \frac{dQ}{dm}$$



**Экспозиционная доза** – это величина отношения суммарного заряда всех ионов одного знака, которые образуются рентгеновским или гамма-излучением в некотором объёме, к массе воздуха в этом объёме.

Такую дозу используют для **оценки радиационной обстановки на местности, в производственных или жилых помещениях.**

**Единицей экспозиционной дозы в СИ  
является 1 кулон делённый на 1 кг  
облучённого воздуха  
1 Кл/кг**

**Рентген** – такая доза облучения рентгеновским или гамма-излучением, при которой суммарный заряд, что возникает в  $1 \text{ см}^3 \sim 0,001293 \text{ г}$  воздуха, соответствует приблизительно 2 млрд. парам ионов. – 2,08 парам ионов

Применяются более мелкие единицы:

**Миллирентген** (мР):  $1 \text{ мР} = 10^{-3} \text{ Р}$

**Микрорентген** (мкР):  $1 \text{ мкР} = 10^{-6} \text{ Р}$

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

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$$

**Поглощённая доза** – это количество энергии, поглощенное единицей массы облучённого тела (тканями организма).

За единицу поглощенной дозы в СИ принимается **грей (Гр)**



Внесистемной единицей поглощённой дозы является **рад**  
(радиационная адаптивная доза).

Соотношение между греем и радом следующее:

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад};$$

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр.}$$

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Дж/кг.}$$

Для мягких тканей в поле рентгеновского или гамма-излучения поглощённой дозе в **1 рад** соответствует экспозиционная доза равная **~ 1 рентген**.

Эквивалентная доза излучения представляет собой поглощённую дозу, умноженную на коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организма.

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является **зиверт (Зв)**.

Применяются и более мелкие единицы:

□ **миллизиверт (мЗв)**,  $1 \text{ мЗв} = 10^{-3} \text{ Зв}$

□ **микрорзиверт (мкЗв)**,  $1 \text{ мкЗв} = 10^{-6} \text{ Зв}$

**БЭР (биологический эквивалент рентгена)** – единица эквивалентной дозы любого вида излучения в биологических тканях, которая создает такой же биологический эффект, что и поглощенная доза в 1 рад рентгеновского или гамма-излучения

$$1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{Зв} = 0,01 \text{ Зв}$$

$$1 \text{ Зв} = 10^2 \text{ бэр} = 100 \text{ бэр}$$

**Если поглощенная доза измеряется в радах, то эквивалентная в бэрах, а если поглощенная доза в греях, тогда эквивалентная доза в зивертах**

Для поглощённых и эквивалентных доз, как и для экспозиционной дозы вводится понятие мощность дозы.  
Они характеризуются приростом дозы за единицу времени.

## Коэффициенты радиационного риска для разных тканей (органов) человека при равномерном облучении

Органы и ткани	Коэффициент радиационного риска	
	$W_i$	$W_i$ НРБ-2000
1. Красный костный мозг	0,12	0,12
2. Костная ткань (кости)	0,03	0,01
3. Щитовидная железа.	0,03	0,05
4. Лёгкие	0,12	0,12
5. Молочные железы	0,15	0,05
6. Яичники или семенники	0,25	0,2
7. Другие ткани	0,3	0,05
8. Организм в целом	1	1

**Эффективная доза излучения** – это основная величина, используемая при гигиеническом нормировании ионизирующих излучений, которая устанавливается для людей, работающих с техногенными источниками радиации или находящихся в зоне их воздействия (в связи с профессиональной деятельностью или проживанием).

Ее значение используется для измерения **вероятности наступления последствий облучения человека, его органов и тканей**. При этом учитывается их индивидуальная радиочувствительность.

Например, при равной эквивалентной дозе облучений возникновение рака щитовидной железы менее вероятно, чем возникновение рака легких.



Вид излучения	Значение коэффициента качества
Рентгеновское и гамма-излучение	1
Бета-излучение	1
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
Нейтроны с энергией меньше 20 КэВ	3
Нейтроны с энергией 0.1 – 10 МэВ	10
Альфа-излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжёлые ядра отдачи	20

$$H_{\text{экв.}} = D_{\text{погл.}} \times Q$$