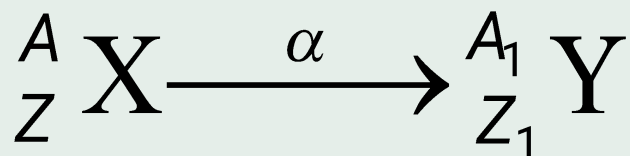




# Радиоактивный распад. Активность



- Ядро  $X$  - материнское;  $Y$  - дочернее. Под частицей  $\alpha$  в основном понимают  $\alpha$ -частицу и  $\beta^+$ -частицу.
- Радиоактивный распад, явление квантомеханическое, и он является свойством ядра. Повлиять на ход процесса радиоактивного распада нельзя, не изменив состояние ядра. Следовательно, для данного радиоактивного ядра, находящегося в определенном состоянии, вероятность распада постоянна. Эта вероятность носит название **постоянной распада** -  $\lambda$  (вероятность распада в единицу времени)  $[\lambda]=\text{с}^{-1}$



- Количество радиоактивных ядер в зависимости от времени подчиняется *exp* закону:

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

- где  $N_0$  - число радиоактивных ядер в момент времени  $t = 0$ ,  $T_{1/2}$  - период полураспада - время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер.

- Кроме используют величину среднего времени жизни радиоактивных ядер -  $\tau$
- По физическому смыслу среднее время жизни радиоактивных ядер - это время, за которое число радиоактивных ядер и скорость распада уменьшается в  $e$  раз. На практике более удобно использовать **период полураспада**  $T_{1/2}$  - это время, за которое количество радиоактивности уменьшится вдвое.
- $$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \ln 2 \cdot \tau$$
- ( $\ln 2 \approx 0.693$ )



# АКТИВНОСТЬ

$$C(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t) = \frac{N(t)}{\tau} = \frac{\ln 2 \cdot N(t)}{T_{1/2}},$$

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t).$$

- Обозначив  $\lambda N_0$  как  $C_0$ , где  $C_0$  – активность материала в момент времени  $t=0$ , получаем, что активность уменьшается во времени по экспоненциальному закону:

$$C(t) = C_0 \exp(-\lambda t).$$

- Если имеется радиоактивное вещество массой  $M$  и массовым числом  $A$  с постоянной распада  $\lambda$  (или периодом полураспада), то для того, чтобы определить активность этого вещества, необходимо вычислить количество радиоактивных ядер, содержащихся в массе  $M$  этого вещества, а затем умножить на постоянную распада

$$C = \frac{\lambda N_a M}{A} = \frac{\ln 2 \cdot N_a M}{A T_{1/2}},$$

- где  $N_a$  — число Авогадро;  $A$  — массовое число.
- Пользуясь этим выражением, можно решить обратную задачу — определить массу радиоактивного нуклида, зная его измеренную активность:

$$M = \frac{CA}{\lambda N_a} = \frac{C T_{1/2} A}{N_a \ln 2}.$$



## Основные радиологические величины и единицы

Величина	Наименование и обозначение единицы измерения		Соотношения между единицами
	Внесистемные	СИ	
Активность нуклида, А	Кюри (Ки, Ci)	Беккерель (Бк, Bq)	$1 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$ $1 \text{ Бк} = 2.7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$
Экспозиционная доза, Х	Рентген (Р, R)	Кулон/кг (Кл/кг, C/kg)	$1 \text{ Р} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ $1 \text{ Кл/кг} = 3.88 \cdot 10^3 \text{ Р}$
Поглощенная доза, D	Рад (рад, rad)	Грей (Гр, Gy)	$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$ $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$
Эквивалентная доза, Н	Бэр (бэр, rem)	Зиверт (Зв, Sv)	$1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$ $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$
Интегральная доза излучения	Рад-грамм (рад*г, rad*g)	Грей- кг (Гр*кг, Gy*kg)	$1 \text{ рад*г} = 10^{-5} \text{ Гр*кг}$ $1 \text{ Гр*кг} = 10^5 \text{ рад*г}$



# Задача 1

- Постоянные радиоактивного распада урана, радия и радона соответственно равны  $4,9 \cdot 10^{-18}$ ;  $1,37 \cdot 10^{-11}$  и  $2,09 \cdot 10^{-6}$  сек<sup>-1</sup>. Вычислить среднее время жизни данных ядер и их периоды полураспада.

Ответ:  $6,5 \cdot 10^9$ ; 2300 лет и 5, 52 суток, периоды полураспада  $4,5 \cdot 10^9$ ; 1590 лет и 3,8 сут.





## Задача 2

- Найти постоянную распада элемента если его период полураспада равен 1602 лет.

# Задача 3



- $\beta$ -активный изотоп  $^{90}\text{Sr}$  (стронций) имеет период полураспада 20 лет. Подсчитать какая доля первоначального количества ядер данного изотопа останется через 10 и 100 лет?

$$N(t) = N_0 \exp(-t \cdot \ln 2 / T_{1/2})$$

Ответ: 0,708; 0,0313



# Задача 4

- Какая доля первоначального количества ядер радиоактивного препарата со средним временем жизни  $\tau$ :
  - останется через интервал времени, равный  $10\tau$ .
  - распадется за интервал времени между  $t_1 = \tau$  и  $t_2 = 2\tau$

# Решение

- Число ядер препарата к моменту времени  $t$ :
- $N(t) = N_0 \exp(-t / \tau)$
- Доля ядер, оставшихся к моменту  $t = 10\tau$ ,
- $N(10\tau) / N_0 = \exp(-10)$
- Доля ядер, распавшихся за интервал времени  $\Delta t = t_2 - t_1$

$$\Delta N = \frac{N(t_1) - N(t_2)}{N_0} = \frac{1}{e} \left( 1 - \frac{1}{e} \right)$$

# Задача 5



- Вычислить постоянную распада, среднее время жизни и период полу распада радиоактивного нуклида, активность которого уменьшается в 1,07 раза за 100 дней.



- Активность по определению – число распадающихся ядер в единицу времени:  $A = dN_d / dt$
- где  $N_d$  – число ядер, которые должны испытать распад за время  $t$ ,
- $N_d(t) = N_0 - N(t) = N_0(1 - e^{-\lambda t})$
- Продифференцируя последнее выражение по времени, получим
- $A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$ ,
- где  $A_0 = \lambda N_0$  – активность в начальный момент времени.
- Таким образом,

$$\frac{A_0}{A} = \frac{A_0}{A_0 \cdot \exp(-\lambda t)} = e^{\lambda t} = 1,07$$

- Решая последнее уравнение относительно  $\lambda$ , получим

$$\lambda = \frac{\ln 1,07}{100} = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ сут}^{-1}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{6,8 \cdot 10^{-4}} = 1024,26 \text{ сут}$$



## Задача 6

- Определить возраст древних деревянных предметов, у которых удельная активность  $^{14}\text{C}$  составляет  $3/5$  удельной активности этого же нуклида в только что срубленных деревьях.



# Решение

- Радиоактивный углерод  $^{14}\text{C}$ , период полураспада которого  $T_{1/2} = 5730$  лет, непрерывно образуется в верхних слоях атмосферы Земли из азота  $^{14}\text{N}$  под действием космического излучения. Благодаря ветрам и океанским течениям равновесная концентрация  $^{14}\text{C}$  в различных местах земного шара одинакова и равна примерно 14 распадам в минуту на каждый грамм углерода природного состава. Пока организм жив, концентрация  $^{14}\text{C}$  в нем остается постоянной из-за круговорота веществ в природе. После смерти организма усвоение  $^{14}\text{C}$  прекращается и его количество начинает убывать по обычному закону радиоактивного распада, что позволяет определить дату их смерти или, как говорят археологи, возраст.





## Задача 7

- Свежеприготовленный препарат содержит 1,4 мкг радиоактивного нуклида  $^{24}\text{Na}$ . Какую активность он будет иметь через сутки?



# Решение

- Согласно  $C(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} = C_0 e^{-\lambda t}$ ,
- $1 \text{ а. е. м.} \approx 1,660\,540\,2 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,660\,540\,2 \cdot 10^{-24} \text{ г}$ .

$$\begin{aligned} C(t) &= \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{M} \cdot e^{-\lambda t} = \\ &= \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{A_{am} \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) = \\ &= \frac{0,693}{15 \cdot 3600} \cdot \frac{1,4 \cdot 10^{-6}}{24 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}} \cdot \exp\left(-\frac{0,693}{15} \cdot 24\right) = \\ &= 1,5 \cdot 10^{11} \text{ Бк} = 4 \text{ Ки} \end{aligned}$$



## Задача 8

- Определить число радиоактивных ядер в свежеприготовленном препарате  $^{82}\text{Br}$ , если известно, через сутки его активность стала равной  $S(t) = 7,4 \cdot 10^{-9}$  Бк (0,4 Ки).



# Решение

$$C(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N_0 = \frac{C(t)}{\lambda} e^{\lambda t} = \frac{T_{1/2} C(t)}{\ln 2} \exp\left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) =$$

$$= \frac{36 \cdot 3600 \cdot 7,4 \cdot 10^{-9}}{0,693} \exp\left(\frac{0,693}{36} 24\right) = 2,3 \cdot 10^{15}$$

Fr

Fr

# Эквивалентная доза



Весовые множители излучения	
Вид излучения и диапазон энергий	Весовой множитель
Фотоны всех энергий	1
Электроны и мюоны всех энергий	1
Нейтроны с энергией < 10 КэВ	5
Нейтроны от 10 до 100 КэВ	10
Нейтроны от 100 КэВ до 2 МэВ	20
Нейтроны от 2 МэВ до 20 МэВ	10
Нейтроны > 20 МэВ	5
Протоны с энергий > 2 МэВ (кроме протонов отдачи)	5
$\alpha$ -частицы, осколки деления и другие тяжелые ядра	20



# Эквивалентная доза

**Значения тканевых весовых множителей  $w_t$  для различных органов и тканей.**

Ткань или орган	$w_t$	Ткань или орган	$w_t$
Половые железы	0.20	Печень	0.05
Красный костный мозг	0.12	Пищевод	0.05
Толстый кишечник	0.12	Щитовидная железа	0.05
Легкие	0.12	Кожа	0.01
Желудок	0.12	Поверхность костей	0.01
Мочевой пузырь	0.05	Остальные органы	0.05
Молочные железы	0.05		