

## Тема: Законы радиоактивного распада

### Краткая теория

*Радиоактивностью* называется превращение неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотопы другого элемента, сопровождающееся испусканием некоторых частиц.

*Естественной радиоактивностью* называется радиоактивность существующих в природе неустойчивых изотопов.

*Искусственной радиоактивностью* называется радиоактивность изотопов, полученных в результате ядерных реакций.

Самопроизвольный распад атомных ядер подчиняется закону радиоактивного распада.

Число атомов радиоактивного вещества  $dN$ , распадающихся за время  $dt$ , пропорционально числу имеющихся атомов и определяется соотношением

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

где  $\lambda$  – постоянная радиоактивного распада, интегрируя, получим

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

где  $N_0$  – число атомов в момент времени  $t = 0$ ,  $N$  – число их по истечении времени  $t$ .

Число распадов, происходящих в препарате за единицу времени, называется активностью радиоактивного препарата (1 Бк = 1 расп/с)

$$a \text{ [Бк]} = \frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

Период полураспада  $T_{1/2}$  и постоянная распада  $\lambda$  связаны соотношением

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

Величина  $T = \frac{1}{\lambda}$ , обратная постоянной распада, называется средним временем жизни радиоактивного атома.

Активность образца в начальный момент (при  $t = 0$ )

$$a_0 = \lambda N_0.$$

Если имеется смесь ряда радиоактивных веществ, образующихся одно из другого, то в смеси устанавливается состояние радиоактивного равновесия, при котором активности всех членов ряда равны между собой

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots \lambda_k N_k.$$

### Примеры решения задач

**Задача 14.1.** За год распалось 60 % некоторого исходного радиоактивного элемента. Определить период полураспада этого элемента.

#### Решение

$t = 1 \text{ год}$ $\frac{N_0 - N}{N_0} = 0,6$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> $T_{1/2} - ?$	<p>По закону радиоактивного распада</p> $N = N_0 e^{-\lambda t}.$
--	---

Постоянная радиоактивного распада связана с полупериодом распада соотношением

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

По условию задачи

$$\frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - \frac{N}{N_0} = 1 - \frac{N_0 e^{-\lambda t}}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t} = 0,6;$$

$$e^{-\lambda t} = 0,4;$$

$$e^{\lambda t} = \frac{1}{0,4} = 2,5;$$

$$\lambda t = \ln 2,5, \quad \lambda = \frac{\ln 2,5}{t}.$$

Тогда

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2 \cdot t}{\ln 2,5} = \frac{\ln 2 \cdot 1}{\ln 2,5} = 0,76 \text{ года.}$$

Ответ:  $T_{1/2} = 0,76$  года.

**Задача 14.2.** Определить постоянную распада и число атомов радона, распавшихся в течение суток, если первоначальная масса радона 10 г. Период полураспада  $^{222}_{86}\text{Ra}$  равен 3,82 сут.

### Решение

$t = 1$ сут $T_{1/2} = 3,82$ сут $m = 10$ г = $10^{-2}$ кг $\lambda - ?$ $N_1 - ?$	Число атомов радона  $N_0 = N_A \frac{m}{M},$
---	---

где  $N_A$  – число Авогадро,  $M$  – молярная масса радона,  $M = 222$  кг/моль,  $m$  – масса радона.

Число атомов, распавшихся за  $t = 1$  сут, будет

$$N_1 = N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) = N_A \frac{m}{M} \left( 1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t} \right) =$$

$$= 6,02 \cdot 10^{26} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-2}}{222} \left( 1 - e^{-\frac{0,693}{3,82} \cdot 1} \right) = 4,3 \cdot 10^{21} \text{ атомов.}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{3,82} = 0,181 \text{ сут}^{-1}.$$

Ответ:  $\lambda = 0,181 \text{ сут}^{-1}$ ,  $N = 4,3 \cdot 10^{21}$  атомов.

**Задача 14.3.** Масса препарата радиоактивного магния  $^{27}\text{Mg}$  равна 0,2 мкг. Определить начальную активность препарата.

### Решение

$m = 0,2$ мкг = $= 0,2 \cdot 10^{-9}$ кг $a_0 - ?$	Начальная активность препарата  $a_0 = \lambda N_0.$
--	--

Постоянная радиоактивного распада

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}},$$

где  $T_{1/2} = 10$  мин (табличные данные).

Количество атомов в препарате в начальный момент

$$N_0 = \frac{m_0}{M} N_A,$$

где  $M = 27 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

Тогда

$$a_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \frac{m_0}{M} N_A = \frac{0,693 \cdot 0,2 \cdot 10^{-9} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{600 \cdot 27 \cdot 10^{-3}} = 5,15 \cdot 10^{12} \text{ расп/с.}$$

Ответ:  $a_0 = 5,15 \cdot 10^{12}$  расп/с.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Сколько ядер, содержащихся в 1 г трития  ${}^3_1\text{H}$ , распадается за среднее время жизни этого изотопа?

Ответ:  $N' = 1,27 \cdot 10^{23}$ .

2. Период полураспада радиоактивного аргона  ${}^{41}_{18}\text{Ar}$  равен 110 мин. Определить время, в течение которого распадается 25 % начального количества ядер.

Ответ:  $t = 46$  мин.

3. За восемь суток распалось 75 % начального количества радиоактивного нуклида. Определить период полураспада.

Ответ:  $T_{1/2} = 4$  сут.

4. За один год начальное количество радиоактивного нуклида уменьшилось в 3 раза. Во сколько раз оно уменьшается за 2 года?

Ответ: в 9 раз.

5. За какое время распадается 1/4 начального количества ядер радиоактивного нуклида, если период его полураспада 24 ч?

Ответ:  $t = 10,5$  ч.

6. Период полураспада  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  равен 5,3 года. Определить, какая доля первоначального количества ядер этого изотопа распадается через 5 лет.

Ответ:  $\frac{N_0 - N}{N_0} = 0,48$ .