

07.04.2020

**Тема: «Решение задач на закон радиоактивного распада»**

**1. Изучите теоретическую часть, законспектируйте в рабочую тетрадь**

**Закон радиоактивного распада - закон, открытый Фредериком Содди и Эрнестом Резерфордом** экспериментальным путём и сформулированный в 1903 году. Этот закон считается основным законом радиоактивности, из него было извлечено несколько важных следствий. Получим **математическую формулу** закона радиоактивного распада.

Итак,  $N_0$  - количество радиоактивных атомов в начальный момент времени ( $t = 0$ ).

Пусть  $N$  - количество радиоактивных атомов, оставшихся нераспавшимися через время  $t$ .

Тогда при  $t = 0$   $N = N_0$

Вопрос: Сколько радиоактивных атомов  $N$  останется нераспавшимися по прошествии одного периода полураспада, к моменту времени  $t = T$ ?

$$N = \frac{N_0}{2}$$

Ответ:

Вопрос: Сколько радиоактивных атомов  $N$  останется нераспавшимися по прошествии двух периодов полураспада, к моменту времени  $t = 2T$ ?

$$N = \frac{N_0}{2 \cdot 2} = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$$

Ответ:

Вопрос: Сколько радиоактивных атомов  $N$  останется по прошествии трех периодов полураспада, к моменту времени  $t = 3T$ ?

$$N = \frac{N_0}{4 \cdot 2} = \frac{N_0}{8} = \frac{N_0}{2^3}$$

Ответ:

Вопрос: Сколько радиоактивных атомов  $N$  останется по прошествии  $n$  периодов полураспада, к моменту времени  $t = nT$ ?

$$N = \frac{N_0}{2^n}, \quad n = \frac{t}{T}$$

Ответ:

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} \quad (\text{для решения задач});$$

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \quad (\text{более компактная запись}).$$

Последнее выражение - закон радиоактивного распада. Он позволяет вычислить количество нераспавшихся ядер в любой момент времени (зная количество атомов в начальный момент времени).

Аналогичную формулу закон будет иметь для активности:  $\alpha = \alpha_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$  (вследствие пропорциональности активности препарата количеству радиоактивных ядер).

Согласно закону радиоактивного распада за любые равные промежутки времени распадается одна и та же доля имеющихся атомов (за период полураспада - половина). В этом состоит физический смысл записанного нами выражения. Чем больше время, тем

больше отношение  $n = \frac{t}{T}$ , тем меньше число нераспавшихся ядер. Со временем оно убывает.

Для решения задач введем еще одно обозначение: пусть  $N'$  - количество распавшихся ядер. Как тогда найти  $N'$ ?

Ответ:  $N' = N_0 - N$

Зная  $N_0$  и  $N$  через время  $t$ , можно определить период полураспада любого радиоактивного вещества.

Значение периода полураспада для разных веществ (и их изотопов) колеблется в очень широких пределах - от миллионных долей секунды до миллиардов лет.

См. таблицу.

Изотоп Период полураспада

$^{238}\text{U}$  4,5 млрд. лет

$^{239}\text{Pu}$  24000 лет

$^{14}\text{C}$  5730 лет

$^{226}\text{Ra}$  1600 лет

$^3\text{H}$  12 лет

$^{104}\text{Tc}$  18 минут

Период полураспада - одна из основных величин, определяющих скорость радиоактивного распада. Чем меньше период полураспада, тем меньше "живут" радиоактивные ядра. И тем больше активность вещества. Например, период полураспада изотопа Урана  $^{238}_{92}\text{U}$  равен 4,5 млрд. лет, а изотопа  $^{235}_{92}\text{U}$  - «всего» 700 млн. лет, то есть примерно в шесть с половиной раз меньше. Это различие в периоде полураспада объясняет, почему изотопа в земной коре в 140 раз меньше, чем  $^{238}_{92}\text{U}$ : «вернувшись» во времени, можно надеяться, что этих изотопов Урана было поровну примерно 6 млрд. лет назад (примерно такой возраст Солнечной системы).

Период же полураспада радия  $^{226}_{88}\text{Ra}$ , по геологическим меркам очень мал: всего лишь 1600 лет, то есть примерно в 3 млн. раз меньше, чем период полураспада  $^{238}_{92}\text{U}$ . Радий существует на Земле только потому, что он во время радиоактивного распада урана постоянно образуется в небольших количествах.

***Таким образом, на основе закона радиоактивного распада можно утверждать только то, что за время, равное периоду полураспада распадается в среднем (приблизительно) половина имеющихся радиоактивных ядер. Чем больше атомов,***

*тем точнее выполняется закон. Он справедлив для большого количества частиц (границы применимости закона).*

Закон радиоактивного распада существенно отличается от законов, изученных нами ранее. Этот закон описывает процессы, происходящие в **микромире** и носит **статистический характер**. Период полураспада - **статистическая величина**.

Причина - в том, что статистический, вероятностный характер носят процессы внутри радиоактивных атомных ядер. Все ядра одного радиоактивного изотопа совершенно одинаковы. Любое из них с одинаковой вероятностью может распасться в любой момент времени, и распад каждого ядра никаким образом не влияет на распады других ядер. Распад ядра - **случайное** событие. Предсказать, когда произойдет распад данного атома, невозможно. Математически оценить можно лишь вероятность распада атома (ядра) в конкретный момент времени.

Поскольку время существования отдельных ядер может колебаться от долей секунды до миллиардов лет, имеет смысл говорить о **среднем** времени жизни - среднем арифметическом времени жизни большого количества атомов данного вида (статистическая величина). По этой же причине не имеет смысла говорить о периоде полураспада для одного атома, о законе радиоактивного распада для малого числа атомов. Определенная **закономерность** проявляется лишь для большого количества ядер. При малом же их количестве неизбежными будут отклонения от средних значений, чем меньше атомов, тем отклонения будут заметнее.

Таким образом, на основе закона радиоактивного распада можно утверждать только то, что за время, равное периоду полураспада распадается **в среднем** (приблизительно) половина имеющихся радиоактивных ядер. Чем больше атомов, тем точнее выполняется закон. Он справедлив для большого количества частиц (**границы применимости закона**).

## 2. Разберите решение задач

### 3. Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

$N_0$  – первоначальное число радиоактивных атомов;

$N$  – число радиоактивных атомов в данный момент времени  $t$ ;

$T$  – период полураспада;

Задача:

Каков период полураспада радона, если за 11,4 дня количество радона уменьшилось в 8 раз?

Дано:  $\frac{N_0}{N} = 8$ ;  $t = 11,4$  дня;

Найти:  $T$  - ?

Решение:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$\frac{N_0}{N} = \frac{N_0}{N_0 2^{-\frac{t}{T}}} \Rightarrow 8 = 2^{-\frac{11,4}{T}} = 2^3 \Rightarrow T = \frac{11,4}{3} = 3,8 \text{ дня}$$

Ответ: период полураспада радона 3,8 дня.

### Задача 2.

$$\begin{array}{l|l} \text{Дано:} & \\ T = 1600 \text{ лет} & \\ \hline \frac{N_0}{N} = 4 & \\ \hline t = ? & \end{array}$$

Решение:

Закон радиоактивного распада имеет вид

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Отсюда  $\frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T}} = 4$ .

Очевидно, что  $t/T = 2$ . Окончательно искомое время равно 3200 лет.

Ответ: 3200 лет.

$$\begin{array}{l|l} \text{№ 3. Дано:} & \\ T = 3,82 \text{ сут} & \\ t = 1,91 \text{ сут} & \\ \hline \frac{N_0}{N} = ? & \end{array}$$

Решение:

Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}, \Rightarrow \frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{1,91 \text{ сут}}{3,82 \text{ сут}}} = 0,7$$

$$\frac{N_0}{N} = \frac{1}{0,7} = 1,41 \text{ раз.}$$

Ответ: в 1,41 раз.

### 3. Закрепление. Самостоятельно решите задачи, отсканируйте и вышлите на проверку

1. Определить какая часть начального количества начального количества ядер радиоактивного изотопа распадется за время  $t$ , равное двум периодам полураспада.
2. Определить период полураспада радиоактивного изотопа, если  $5/8$  начального количества ядер этого изотопа распалась за время  $t = 849$  с.