

14. РАДИОАКТИВНОСТЬ

Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \quad (14.1)$$

где N_0 – начальное число радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$; N – число не распавшихся радиоактивных ядер в момент времени t ; λ – постоянная распада.

Время, за которое распадается половина первоначального количества ядер, называется периодом полураспада

$$T = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda.$$

Среднее время жизни радиоактивного ядра $\tau = 1/\lambda$.

Число распадов ядер вещества в единицу времени (активность вещества)

$$A = -dN/dt = \lambda N = \lambda N_0 \exp(-\lambda t) = A_0 \exp(-\lambda t). \quad (14.2)$$

Удельной активностью вещества называют активность, отнесенную к единице массы вещества.

Пример 1. Сколько атомов распадается в 1 г трития ${}^3_1\text{H}$ за среднее время жизни этого изотопа.

Решение. Среднее время жизни радиоактивного изотопа – величина, обратная постоянной распада, $\tau = 1/\lambda$. По условию $t = \tau$. Подставляя это значение в закон радиоактивного распада (14.1), получим $N = N_0/e$, где e – основание натурального логарифма. Число атомов, распавшихся за время $t = \tau$, $N' = N_0 - N = N_0(1 - 1/e)$. Найдем число атомов N_0 , содержащихся в массе $m = 1$ г изотопа ${}^3_1\text{H}$: $N_0 = mN_A / M$, где $M = 3 \cdot 10^{-3}$ кг/моль – молярная масса изотопа ${}^3_1\text{H}$; N_A – число Авогадро. Тогда $N' = mN_A / M(1 - 1/e)$. Подставляя числовые значения, получим $N' = 1,27 \cdot 10^{23}$.

Пример 2. Определить начальную активность A_0 радиоактивного магния ${}^{27}\text{Mg}$ массой $m = 0,2$ мкг, а также активность A по истечении времени $t = 1$ ч. Предполагается, что все атомы изотопа радиоактивны.

Решение. Начальная активность изотопа $A_0 = \lambda N_0$, где λ – постоянная радиоактивного распада; N_0 – количество атомов изотопа в начальный момент времени. Если учесть, что $\lambda = \ln 2 / T$ и $N_0 = mN_A / M$, то начальная активность $A_0 = (mN_A / MT) \ln 2$. Подставляя числовые значения, получим $A_0 = 5,15 \cdot 10^{-12}$ Бк. Со временем активность уменьшается по закону (14.2). Заменяя постоянную распада λ ее выражением, получим $A = A_0 \exp(-t \ln 2 / T) = A_0 [\exp(\ln 2)]^{-t/T} = A_0 2^{-t/T} = 8,05 \cdot 10^{10}$ Бк.

Задачи.

1. Какая часть атомов радиоактивного вещества остается нераспавшейся по истечении времени, равного утроенному среднему времени жизни атома?

2. Какая часть атомов радиоактивного вещества распадается за время, равное трем периодам полураспада T ?

3. Какая доля радиоактивных ядер кобальта распадется за месяц, если период полураспада кобальта 71,3 сут?

4. Среднее время жизни атомов радиоактивного вещества $\tau = 1$ с. Определить вероятность того, что ядро распадется за время t , равное 1; 10 и 0,1 с.

5. Чтобы определить возраст t древней ткани, была определена концентрация в ней атомов радиоуглерода ${}^{14}\text{C}$. Она оказалась соответствующей 9,2 распадам в минуту на 1 г углерода. Концентрация ${}^{14}\text{C}$ в живых растениях соответствует 14 распадам в минуту на 1 г углерода. Период полураспада ${}^{14}\text{C}$ равен 5730 лет. Исходя из этих данных, оценить t .

6. В настоящее время в природном уране содержится $k_8 = 99,28\%$ ${}^{238}\text{U}$ и $k_5 = 0,72\%$ ${}^{235}\text{U}$. Каким было соотношение между ${}^{238}\text{U}$ и ${}^{235}\text{U}$ в момент образования Земли, если ее возраст равен $4 \cdot 10^6$ лет? Периоды полураспада ${}^{238}\text{U}$ и ${}^{235}\text{U}$ соответственно $T_8 = 4,51 \cdot 10^9$ лет и $T_5 = 0,713 \cdot 10^9$ лет. Считать, что в период образования Земли в природе не было более короткоживущих изотопов урана.

7. Определить возраст древних деревянных предметов, если удельная активность изотопа ^{14}C у них составляет $\eta = 3/5$ удельной активности этого же изотопа в только что срубленных деревьях. Период полураспада ^{14}C равен 5730 лет.

8. В урановой руде отношение числа ядер ^{238}U к числу ядер ^{206}Pb $\eta = 2,8$. Оценить возраст руды, считая, что весь свинец ^{206}Pb является конечным продуктом распада уранового ряда. Период полураспада ^{238}U равен $4,5 \cdot 10^9$ лет.

9. В кровь человека ввели небольшое количество раствора, содержащего ^{24}Na с активностью $A = 2,0 \cdot 10^3$ Бк. Активность 1 см³ крови через $t = 5,0$ ч оказалась $A' = 0,267$ Бк/см³. Период полураспада данного радиоизотопа $T = 15$ ч. Найти объем крови человека.

10. За какое время распадается 87,5 % атомов $^{45}_{20}\text{Ca}$?

11. Какая доля первоначального количества радиоактивного изотопа распадается за время жизни этого изотопа?

12. Найти период полураспада радиоактивного препарата, если за сутки его активность уменьшается в 3 раза.

13. Каков период полураспада изотопа, если за сутки распадается в среднем следующее количество атомов: а) 900 из 1000; б) 750 из 1000; в) один из 1000?

14. Период полураспада радиоактивного йода-131 восемь суток. За какое время количество атомов уменьшится в 1000 раз?

15. В образцах урановой руды всегда содержится некоторое количество атомов тория-234, образовавшихся в результате α -распада урана-238 (период полураспада $T_{\text{U}} = 4,5 \cdot 10^9$ лет). Торий также радиоактивен (период полураспада $T_{\text{Th}} = 24$ сут). Сколько атомов тория содержится в урановой руде, в которой находится 0,5 г урана-238?

16. Период полураспада радиоактивного изотопа один год. Какова средняя продолжительность жизни этого изотопа?

17. Определить период полураспада радиоактивного полония ^{210}Po , если 1 г этого изотопа образует в год 89,5 см³ гелия при нормальных условиях.

18. На сколько процентов снизится активность иридия ^{92}Ir через месяц?

19. Какая доля радиоактивных ядер кобальта, период полураспада которых 71,3 сут, распадется за месяц?

20. Сколько β -частиц испускает за один час 1,0 мкг ^{24}Na , период полураспада которого $T = 15$ ч?

21. При изучении β -распада ^{23}Mg в момент времени $t = 0$ был включен счетчик. К моменту времени $t = 2,0$ с он зарегистрировал N_1 частиц, а к моменту времени $t_2 = 3t_1$ в 2,66 раз больше. Найти среднее время жизни данных ядер.

22. Активность некоторого изотопа уменьшается в 2,5 раза за семь суток. Найти его период полураспада.

23. В начальный момент времени активность радиоизотопа 10,8 Бк. Какова будет его активность по истечении половины периода полураспада?

24. Найти постоянную распада и среднее время жизни радиоактивного ^{55}Co , если его активность уменьшается на 4,0 % за 1 ч.

25. Вычислить удельную активность ^{24}Na и ^{235}U , период полураспада которых равен 15 ч и $7,1 \cdot 10^8$ лет.