

2. СТАТИСТИКА РАСПАДА

Радиоактивный распад имеет статистическую природу; атомные ядра превращаются независимо друг в друга; каждый радионуклид имеет характерную для него вероятность распада. Для отдельного атома нестабильного нуклида нельзя предсказать момент времени его превращения. Вероятность распада обуславливается свойствами данного вида ядер, т.е. она не зависит от химического и физического состояния радионуклида. Продолжительность жизни каждого из радиоактивных ядер не задана точно, а лежит в пределах от 0 до ∞ , и вероятность того, что распад происходит в бесконечно малом интервале времени от t до $t+dt$, равняется $d\omega=e^{-\lambda t}dt$. За время, равное периоду полураспада T , лишь в среднем распадается половина первоначально имевшихся радиоактивных ядер; фактически число ядер, распавшихся в каждом данном опыте, может заметно отклоняться как в меньшую, так и большую сторону. Распределение числа наблюдений по числу происходящих за время наблюдений актов радиоактивного распада характеризуется так называемым биномиальным законом (распределением Бернулли), одним из параметров которого является ожидаемое на основании совокупности многочисленных экспериментов среднее число актов распада $P_n(N)$ за какой-то промежуток времени n ядер из общего числа N первоначально имевшихся радиоактивных ядер равняется:

$$P_n(N) = C_N^n \left(\frac{m}{N}\right)^n \left(1 - \frac{m}{N}\right)^{N-n} = \frac{N!}{n!(N-n)!} \left(\frac{m}{N}\right)^n \left(1 - \frac{m}{N}\right)^{N-n} \quad (7)$$

где $m = \bar{n}$ - среднее число ядер, располагающихся в интервале такой длительности, а C_N^n - число сочетаний из N по n . При переходе к очень большому числу радиоактивных ядер, практически не изменяющемуся в интервале времени данной длительности ($N \rightarrow \infty$ или $m/N \rightarrow 0$), биномиальное распределение преобразуется в пуассоновское:

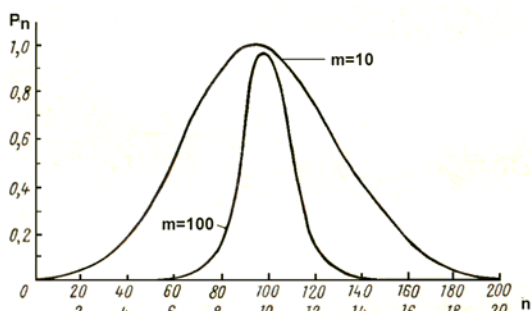
$$P_n(\infty) = \frac{m^n}{n!} e^{-m} \quad (8)$$

При таком виде распределения абсолютная флуктуация наблюдаемого числа распадов равняется:

$$\Delta_n = \sqrt{n^2 - \bar{n}^2} = \sqrt{\bar{n}} = \sqrt{m} \quad (9)$$

Это означает, что если среднее число распадов в интервале данной длительности равняется $\bar{n} = m$, в большей части подобных интервалов фактическое число распадов n будет отличаться от m не более, чем на \sqrt{m} . Так, например, среднее число распадов за 1 мсек для препарата с радиоактивностью 1 мкюри равняется $m=37$. Фактическое число распадов за 1 мсек для этого препарата лежит, как правило, в пределах $37 \pm \sqrt{37}$, т.е. от 31 до 41. поэтому однократное измерение числа распадов такого препарата в течение 1 мсек даст величину его радиоактивности с точностью $\pm \frac{1}{\sqrt{37}} = \pm 16,1\%$. При

измерении радиоактивности этого препарата в течение 1 сек $m=37000$, $\Delta_n=192$, и величина радиоактивности определяется уже с гораздо большей точностью $\pm \frac{1}{\sqrt{37000}} = \pm 0,52\%$. Таким образом,



вследствие статистического характера закона радиоактивного распада точность всяких измерений радиоактивности улучшается с увеличением числа зарегистрированных актов распада, и зачастую именно требование определённой точности результатов задаёт необходимую длительность измерений.

Рис. 2. 1. Относительные вероятности чисел актов распада P_n в единицу времени при двух различных средних числах распада m . (Кривые распределения радиоактивных флуктуаций).

Законы радиоактивного распада носят статистический характер. Они верны лишь в тех случаях, когда числа атомов, распадающихся за единицу времени, достаточно велики, так что можно пренебречь относительно незначительными отклонениями от средних значений рассматриваемых статистических величин. При малых скоростях распада статистические отклонения от среднего могут сыграть существенную роль.

Статистические отклонения при радиоактивном распаде подчиняются определённым закономерностям:

- Вероятность появления малых отклонений больше вероятности больших отклонений от среднего, иначе говоря, вероятность P_n появления статистических отклонений есть убывающая функция их величины.

- Вероятность появления случайных отклонений не зависит от их знака, т.е. статистические отклонения, равные по абсолютной величине, но противоположные по знаку, встречаются одинаково часто. Значение истинной скорости распада может быть получено лишь как среднее при достаточно большой продолжительности наблюдений (если, конечно, можно пренебречь уменьшением количества радиоактивного изотопа за выбранное время). Различия в скоростях распада за равные промежутки времени при постоянной средней скорости распада называются радиоактивными флуктуациями (см. **Рис. 1**).

На **Рис. 2** представлены относительные (т.е. не нормированные на единицу) вероятности чисел актов распада в единицу времени при средних скоростях распада m равных 10 и 100 частицам в единицу времени.