

Пространственное распределение ионов в жидкости

В. И. Иванов

Распределение ионов в облучаемой среде в значительной степени определяется структурой треков ионизирующих частиц. Структура треков в свою очередь зависит как от типа частицы, так и от свойств облучаемой среды. Изучением этих вопросов для различных условий облучения занимались отдельные исследователи [1—3]. Особенность жидкостей состоит в большой плотности ионизации вдоль треков ионизирующих частиц, что приводит к неравномерному распределению концентрации ионов.

Для тяжелых частиц специфическим объемом является цилиндр, в случае β - или γ -излучения ионы группируются гроздьями в специфических объемах приблизительно сферической формы. В результате рекомбинации общее число ионов в пределах специфического объема со временем уменьшается, а сам объем благодаря диффузии увеличивается до тех пор, пока ионы не окажутся равномерно распределенными по всему облучаемому объему.

Таким образом, после длительного облучения часть ионов будет равномерно распределена по всему облучаемому объему, а другая часть окажется сосредоточенной в ячейках сферической и цилиндрической форм или промежуточной между ними формы.

Цель настоящей работы—определить концентрации ионов, равномерно распределенного фона и концентрации ионов, сосредоточенных в ячейках, в зависимости от условий облучения.

Метод рассмотрения основан на предположении, что все ионы в момент их образования сосредотачиваются в ячейках объемом V_0 одинаковой формы. В результате рекомбинации и диффузии концентрации ионов в объеме ячейки будет уменьшаться и через время τ (время существования ячейки как самостоятельного дискретного участка в облучаемом объеме) станет равной концентрации ионов фона y_0 . Изменение концентрации ионов фона с момента начала облучения определяется уравнением

$$\frac{dy}{dt} = -\alpha y^2 + q, \quad (1)$$

где α —коэффициент рекомбинации ионов, а q —число пар ионов, добавляемых к фону в единицу времени в единице объема за счет исчезновения ячеек.

В равновесном состоянии концентрация ионов фона

$$y_0 = \sqrt{\frac{q}{\alpha}}. \quad (2)$$

Если число ионов в ячейке в момент ее исчезновения как самостоятельного специфического объема равно N_τ , а v —число ячеек, образующихся в единицу времени в единице объема, то

$$q = N_\tau v. \quad (3)$$

Для заданных условий облучения v пропорционально интенсивности лучей.

Из уравнений (2) и (3) получим

$$y_0 = \sqrt{\frac{N_\tau v}{\alpha}}. \quad (4)$$

Таким образом, задача определения равновесной концентрации ионов фона y_0 сводится к определению числа ионов N_τ в ячейке в момент ее исчезновения.

Зависимость числа ионов в ячейке от времени может быть представлена в виде

$$N = N_0 f(t), \quad (5)$$

где N_0 —число ионов в ячейке в момент ее образования.

Функция $f(t)$ может быть найдена из условий диффузии и рекомбинации.

При равномерном образовании ячеек по всему облучаемому объему для равновесного состояния разумно предположить, что, пока ячейка существует самостоятельно, в занимаемом ею объеме новых ионов не образуется, т. е., что

$$\tau = \frac{1}{V_\tau}, \quad (6)$$

где V_τ —объем ячейки в момент ее исчезновения.

Изменение объема ячейки со временем может быть представлено в виде

$$V = V_0 \varphi(t), \quad (7)$$

где функция $\varphi(t)$ находится из тех же условий, что и $f(t)$. Соотношения (3), (4) определяют равновесную концентрацию ионов фона.

Равновесная концентрация ионов, сосредоточенных в ячейках,

$$x_0 = \bar{N} n_0, \quad (8)$$

где $\bar{N} = \frac{N_0}{\tau} \int_0^\tau f(t) dt$ —среднее число ионов в ячейке

за время ее существования; $n_0 = v\tau$ —равновесное число ячеек в единице объема.

Этим способом были получены аналитические выражения для x_0 и y_0 в случае цилиндрической и сферической форм ячеек. Предполагалось, что объем ячейки цилиндрической формы увеличивается только в результате диффузии по направлению, перпендикулярному оси цилиндра.

Для среднего смещения иона в результате диффузии использовалось соотношение

$$\bar{r} = \sqrt{\frac{4}{\pi} Dt},$$

где D —обычный коэффициент диффузии. Ниже приводятся формулы:

1) для цилиндрических ячеек:

$$y_0 = \left\{ \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{2N_0}{V_0 a^2} \left[\ln(1+ak) - \frac{ak}{1+ak} \right]} \right\}^{1/2},$$

где $k = \frac{1}{2a} \left[\left(1 + \frac{4a}{\sqrt{V_0}} \right)^{1/2} - 1 \right],$

$$a = \sqrt{\frac{6\pi D l}{V_0}} \quad (l - \text{длина цилиндра});$$

$$x_0 = \frac{N_0 \nu \tau}{1 + \frac{2\alpha N_0}{V_0 a^2} \left[\ln \left(1 + \frac{4}{3} a + \frac{1}{2} a^2 \tau \right)^{1/2} + \frac{1}{1 + \frac{4}{3} a + \frac{1}{2} a^2 \tau} - 1 \right]};$$

2) для сферических ячеек:

$$y_0 = \left[\frac{N_0 \nu}{\frac{1}{a} + \frac{1}{V_0} \left(\frac{k}{1 + bk} \right)^2} \right]^{1/2},$$

где k определяется из уравнения

$$\frac{1}{V k^2} = V \sqrt{V_0} + 1,82 V \sqrt{V D_1 k},$$

$$b = \frac{1,82 V D_1}{V \sqrt{V_0}}, \quad D_1 = \frac{3}{2} \pi D;$$

$$x_0 = \frac{N_0 \nu \tau}{1 + \frac{\alpha}{V_0} \left(\frac{k_1}{1 + bk_1} \right)^2},$$

где $k_1 = \frac{V \sqrt{1 + A} - 1}{b},$

$$A = 2bk + \frac{3}{2} b^2 k^2 + \frac{2}{5} b^3 k^3.$$

x_0 определено приближенно по среднему объему ячейки за время ее существования. Точность опреде-

ления концентраций x_0 и y_0 зависит от точности исходных данных. Полученные соотношения при прочих равных условиях позволяют охарактеризовать распределение ионов в облученной среде точнее, чем расчеты, проведенные на основе модели Маги [3].

Модель Маги применима только к цилиндрическим ячейкам, а лежащее в ее основе предположение о характере изменения объема ячейки не совсем строго соответствует теории диффузии.

Из полученных соотношений непосредственно следует, что относительная концентрация ионов фона растет с увеличением начального объема ячейки и интенсивности излучения. Это объясняет некоторые закономерности жидкостных ионизационных камер. Соотношения для определения концентраций x_0 и y_0 могут быть использованы при изучении радиационно-химических реакций и действия излучений на организм.

Поступило в Редакцию 12/I 1959 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Jaffe. Ann. Physik, 42, 303 (1912).
2. D. Lea. Proc. Cambridge Philos. Soc., 30, 80 (1934).
3. Д. Л. Маги. Теория радиационной химии. Влияние плотности ионизации. Сб. «Радиационная химия». Изд-во иностр. лит., 1953, стр. 5.

Радиоактивность аэрозолей в здании синхроциклотрона Объединенного института ядерных исследований

В. П. Афанасьев

В работе [1] было показано, что воздух вблизи работающего синхроциклотрона ОИЯИ становится активным, причем активность наблюдается в течение нескольких минут после выключения ускорителя. Естественно предположить, что взвешенные в воздухе аэрозоли активируются пучком частиц высоких энергий. Настоящая работа была поставлена с целью выяснить степень радиационной опасности активных аэрозолей и по возможности изучить их изотопный состав.

Для отбора проб аэрозолей использовалась установка, состоящая из пылесоса, фильтра и счетчика, измерявшего объем проходившего через фильтр воздуха. Аналитический фильтр, помещенный на входе счетчика, представлял собой круг диаметром 28 мм, к которому с двух сторон приклеивались резиновые кольца для создания вакуумного уплотнения. Воздух начинали прокачивать либо сразу, либо через несколько часов после выключения ускорителя. Пробы аэрозолей отбирались в наиболее опасных местах. Активность фильтра измерялась через 2–5 мин после окончания прокачивания воздуха. Бета-излучение регистрировалось торцевым гейгеровским счетчиком со слюдяным окном

толщиной ~5 мг/см². Толщина фильтра (без учета его марлевой основы) равна 3 мг/см², расстояние от фильтра до чувствительного объема счетчика 15 мм. Значение относительного телесного угла ω при этом равно 0,06 [2].

Для определения доли аэрозолей r , не задерживаемых фильтром, проводились специальные измерения с двумя фильтрами, помещенными один над другим на входе счетчика. Обнаружено, что доля аэрозолей, не задерживаемых фильтром, составляет только 10%.

Определялся также максимальный коэффициент S самопоглощения β -частиц в фильтре. Для β -частиц, излучаемых аэрозолями, отобранными в помещении ускорителя, коэффициент самопоглощения S равен 0,98; для β -частиц аэрозолей, отобранных на открытом воздухе, — 0,85. Коэффициенты поглощения в слое воздуха K_1 и в окне счетчика K_2 соответственно равны 0,91 и 0,75.

В помещении ускорителя было взято 14 проб аэрозолей. Одновременно брались пробы вне помещения. Величина активности в помещении синхроциклотрона равна в среднем 84 имп/мин·м³, на открытом воздухе — 25 имп/мин·м³. Таким образом,