Диффузия замедляющихся нейтроноДиффузия замедляющихся нейтронов.

K01-22M: Петровская, Бодунков, Таракчян, Царь

16 ноября 2015 г.

dkfjhksdjлваорыолвфра воларловр

Аннотация

Your abstract.

1 Introduction

Найдем функциональную связь между временем и энергией при непрерывном торможении нейтрона. Пусть нейтрон при своем замедлени проходит энергетический интервал dE, около энергии E за время dt. Нейтрон снижает свою энергию за счет того, что за время dt сталкивается с ядрами среды. Число таких столкновений при диффузии нейтрона легко определяется из соотношений

$$\frac{V}{l_s}dt, \text{ где } V \text{ - скорость нейтрона} \tag{1}$$

соответствующая энергия E.
С другой стороны, число столкновений, которое необходимо претерпеть нейтрону, чтобы изменить свою энергию на величину dE, есть отношение приращения логарифма энергии на этом интервале к величине ξ - средней потере логарифма энергии на одно столкновение. Приравняем эти величины и ваполняя простые преобразования, получим:

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{V}{l_s}\xi E = \xi \Sigma_s V E \tag{2}$$

Знак $(-)$ в этом выражении взят с целью описать факт уменьшения энергии нейтрона со временем.
Обратимся теперь к следующей задаче: в бесконечной непоглощающей среде находится точечный источник, испускающий нейтроны с энергией E_o. Если источник испускает в единицу времени какую-то порцию нейтронов, то эти нейтроны будут распределяться по все возрастающему объему. Поэтому число нетронов в I см^3 около точки с координатой $\overrightarrow{r}$, будет зависеть от хронологического времени t, т.е. $n_1 = n_1(\overrightarrow{r}, t)$.
Изменение плотности нейтронов $n_1(\overrightarrow{r}, t)$ при отсутствии поглощения происходит только за счет диффузии, поэтому:

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = DV_{\Delta} n_1 \tag{3}$$

Уравнение (3) описывает изменение плотности нейтронов, за счет того, что источник испустил порцию нейтронов, равную мощности источники, то есть, по сути дела, уравнения (3) описывает скорость изменения числа нейтронов, т.е. $n_1(\overrightarrow{r}, t) = \frac{dn}{dt}$. Учтем, что переменные t и E связанны соотношением (1). Поскольку форма дифференциала dn не зависит от того, что рассматривать в качемтве переменной, имеем

$$dn = \frac{dn}{dt}dt \qquad \text{или} \qquad dn = \frac{dn}{dE}dE \tag{4}$$

откуда

$$\frac{dn}{dt}dt = \frac{dn}{dE}dE \tag{5}$$

Обозначим $\frac{dn}{dE} = n_2(\overrightarrow{r}, E)$, тогда будем иметь

$$n_1(\overrightarrow{r}, t)dt = n_2(\overrightarrow{r}, E)dE \tag{6}$$

откуда

$$n_1(\overrightarrow{r}, t) = n_2(\overrightarrow{r}, E)\frac{dE}{dt} = n_2(\overrightarrow{r}, E)V\xi E\Sigma_s \tag{7}$$

или

$$n_1(\overrightarrow{r}, t) = \Phi(\overrightarrow{r}, E)\xi\Sigma_s E \tag{8}$$

$\frac{dn}{dE}$ - есть число нейтронов в ед. объема, приходящихся на единичный энергетический интервал, т.е. $\varphi(\overrightarrow{r}, E)$.

Величина $q(\overrightarrow{r}, \overrightarrow{E}) = \xi\Sigma_s E\varphi(\overrightarrow{r}, E)$ носит название плотности замедления и имеет смысл числа нейтронов в I см^3 пересекающих в ед. времени значение энергии E.

Действительно, величина ξ есть среднее изменение логорифма энергии в одном акте рассеяния

$$\xi = \overline{\vartriangle lnE} \approx \overline{(lnE)'_E \vartriangle E} = \overline{\frac{1}{E}\vartriangle E}, \text{ откуда } \overline{\vartriangle E} = \xi E \tag{9}$$

$\overline{\vartriangle E}$ - потеря энергии нейтроном в одном акте рассеяния. Если интервал $\overline{\vartriangle E}$ расположен между E и $E + \overline{\vartriangle E}$, то каждое рассеяние приводит к снижению энергии нейтрона за значение E.

Число нейтронов претерпевших рассеяние в интервале $[E, E + \overline{\vartriangle E}]$, есть произведение числа нейтронов рассеяных в единичном интервале энергий $\varphi(E)\Sigma_s$ на величину $\overline{\vartriangle E}$. Все эти нейтроны снижают свою энергию за значение E, следовательно

$$q(\overrightarrow{r}, E) = \varphi(E)\Sigma_s\overline{\vartriangle E} = \Sigma_s\varphi(E)E \tag{10}$$

Так как $\frac{\partial n_1}{\partial E} = \frac{\partial n_1}{\partial E}\frac{\partial E}{\partial t}$, и $n_1 = q(\overrightarrow{r}, E)$, получим из уравнения (3) относительно плотности нейтронов, уравнение (23) относительно плотности замедления

$$D_\vartriangle q(\overrightarrow{r}, E) = -\xi E\Sigma_s\frac{\partial q(\overrightarrow{r}, E)}{\partial E} \tag{11}$$

Уравнение (23) можно еще упростить, если ввести новую независимую переменную

$$\tau(E) = \int_{E}^{E_0} \frac{D}{\Sigma_s} \frac{dE}{\xi E} \tag{12}$$

$$\text{Очевидно, что } \frac{\partial q}{\partial \tau} \frac{\partial \tau}{\partial E} = \frac{\partial q}{\partial E}; \text{ откуда} \tag{13}$$

$$\frac{\partial q}{\partial \tau} = \frac{\partial q}{\partial E} \frac{1}{\frac{\partial \tau}{\partial E}} \text{ , но } \frac{\partial \tau}{\partial E} = -\frac{D}{\Sigma_s \xi E} \tag{14}$$

$$\text{т.е. } \frac{\partial q}{\partial \tau} = -\frac{\xi \Sigma_s E}{D} \frac{\partial q}{\partial E} \tag{15}$$

Тогда уравнение (23) запишется в следующем виде

$$\triangle q(\overrightarrow{r}, \tau) = \frac{\partial q(\overrightarrow{r}, \tau)}{\partial \tau} \tag{24}$$

Уравнение (24) описывает распределение в пространстве $\overrightarrow{r}$ и в пространстве τ плотности замедления $q(\overrightarrow{r}, \tau)$.