

Экзаменационные вопросы по ФЯР

Выполнила: ст. гр. С18-АЭ Шиганова Анна

Вопрос 5

Решение уравнения диффузии в сферической геометрии с источником. Граничные условия

Рассмотрим точечный источник в бесконечной однородной диффузионной среде.

- 1) Выберем систему координат с началом в точечном источнике;
- 2) В этой системе распределение нейтронов сферически симметрично
- 3) Однородное уравнение принимает вид:

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} \right) \Phi - \frac{1}{L^2} \Phi = 0$$

где r - расстояние от точечного источника, Φ - поток, L - длина диффузии

Граничные условия для данной задачи

1. Поток Φ конечен всюду, за исключением источника, то есть при всех $r > 0$
2. Полное число нейтронов, проходящих сквозь поверхность сферы ($4\pi r^2$), должно равняться мощности источника при стремлении радиуса к нулю.

Если J - плотность потока нейтронов на поверхности сферы, то это условие (условие источника) выражается:

$$\lim_{r \rightarrow 0} 4\pi r^2 J = q_0, \text{ где } q_0 \text{ — мощность источника}$$

Нахождение произвольных постоянных

$$\Phi = \frac{A \cdot e^{-\frac{r}{L}}}{r} + \frac{C \cdot e^{\frac{r}{L}}}{r}$$

где A и C – произвольные постоянные, подлежащие определению из граничных условий

Из 1 условия очевидно, что $C=0$, так как в противном случае поток становился бы бесконечным при $r \rightarrow \infty$

Согласно второму граничному условию источника $A = \frac{q_0}{4\pi D}$

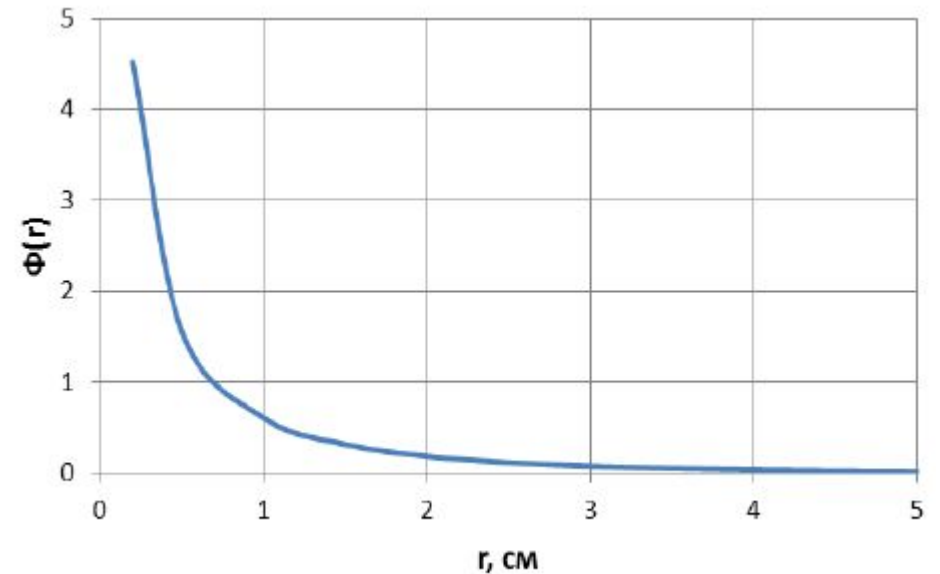
4) Подставляем значение A и (C=0) в

$$\Phi = \frac{A \cdot e^{-\frac{r}{L}}}{r} + \frac{C \cdot e^{\frac{r}{L}}}{r}$$

5) Получаем окончательно $\Phi(r) = \frac{q_0}{4\pi D} \frac{e^{-r/L}}{r}$

Это выражение дает стационарное распределение нейтронного потока вокруг точечного источника в бесконечной среде.

Поток в каждой точке заданной среды зависит только от расстояния r до источника.



Вопрос 31

Реакция деления и ее характеристики. Взаимодействие нейтронов с ядрами среды. Сечения реакций. Характеристики нейтронного поля. Число реакций в единице объема.

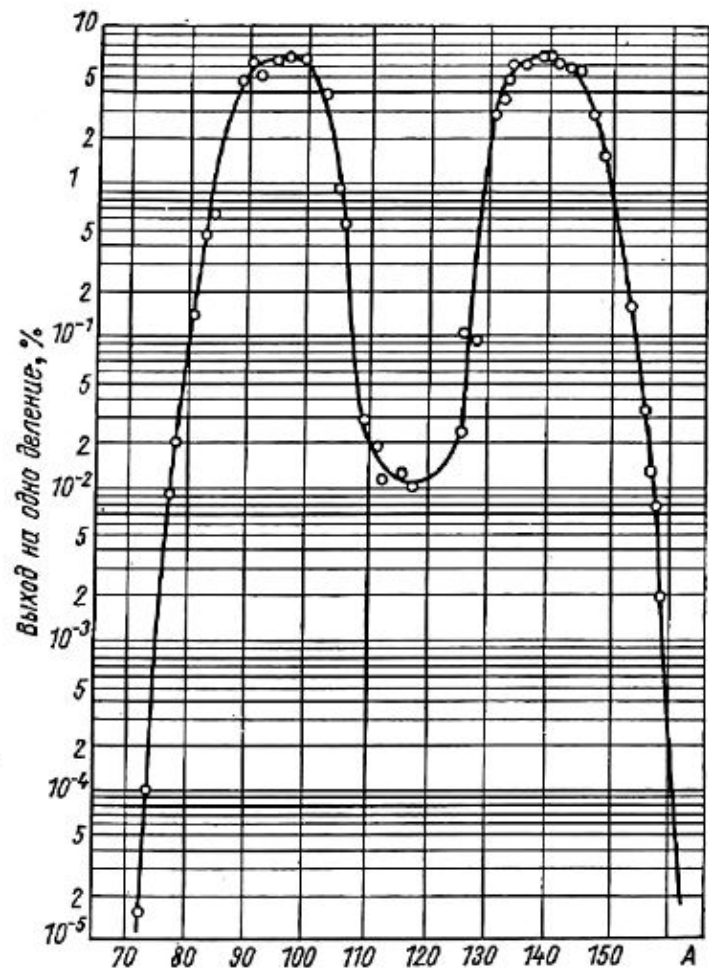
Реакция деления - экзотермическая реакция - с выделением энергии. В процессе деления освобождаются нейтроны, которые инициируют реакцию деления.

Деление характеризуется следующими параметрами:

- сечением деления σ_f ;
- числом мгновенных нейтронов на 1 акт деления ν ;
- η - числом нейтронов, выделяющихся на 1 акт поглощения;
- $\alpha = \frac{\sigma_\gamma}{\sigma_f}$ - вероятностью тепловому нейтрону поглотиться по отношению к делению;

$$\eta = \frac{\nu}{(1+\alpha)}$$

где $\alpha, \nu, \eta, \sigma_f$ - зависят от E и A .



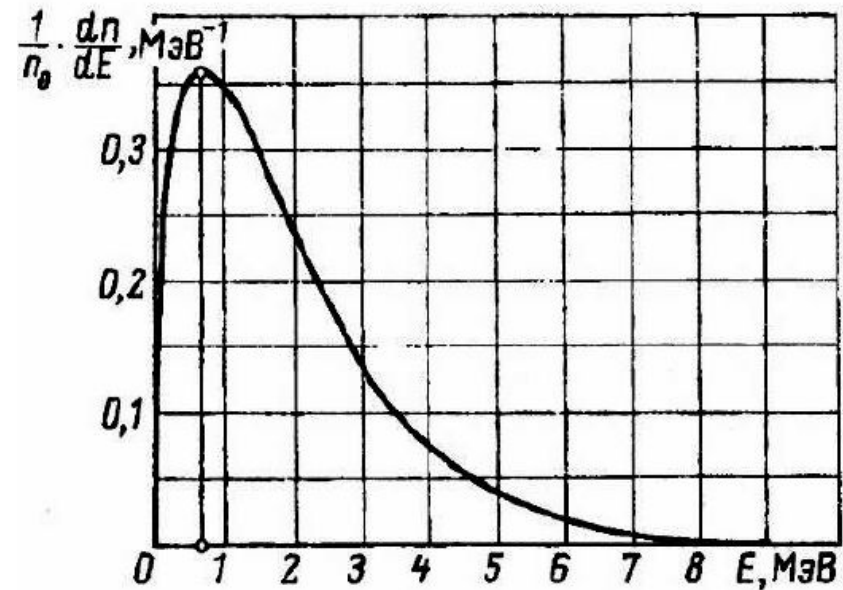
Общий вид распределения осколков по массе (на рис.) сохраняется независимо от того, какое ядро делится и какая энергия была у нейтрона. Средняя энергия на 1 акт деления $E=200$ МэВ. Осколки - это голые ядра, которые пробегая несколько микрометров становятся нормальными, приобретая электроны.

Спектр нейтронов деления представлен на рисунке. Он может быть аппроксимирован следующим выражением:

$$s(E) = 0,48e^{-E} \operatorname{sh}\sqrt{(2E)},$$

где $s(E)$ —число нейтронов деления в единичном интервале энергии.

Площадь под кривой $\int_0^{\infty} s(E)dE$ равна единице, т. е. $s(E)$ нормирована на один нейтрон; E —энергия нейтронов в МэВ.



Область тепловых нейтронов

U^{235} -единственный природный делящийся элемент, который образует критическую массу. U^{233} и Pu^{239} – искусственные элементы, которые также образуют критическую массу. Их основные характеристики для энергии $E=0,0253$ эВ, соответствующей тепловому равновесию нейтронного газа при $T=20^{\circ}C$,

Среднее число мгновенных нейтронов на один акт деления

Нуклид	ν	$\frac{d\nu}{dE}, 1/МэВ$
^{233}U	2,51	0,115
^{235}U	2,43	0,115
^{239}Pu	2,88	0,110

Баланс энергии при делении

Энерговыделение при делении складывается из: кинетической энергии осколков деления - E_k , кинетической энергии мгновенных нейтронов - E_n , энергии мгновенных γ -квантов - $E_{\gamma 1}$, энергии β -частиц, испускаемых продуктами деления - E_{β} , энергии запаздывающих γ -квантов, испускаемых продуктами деления - $E_{\gamma 2}$ и энергии, уносимой антинейтрино - E_{ν} . Суммарная энергия – энергия деления - E_f [МэВ] представлена в табл. для трех делящихся изотопов.

Значение энергии деления для основных делящихся изотопов, МэВ

Ядро	E_k	E_n	$E_{\gamma 1}$	E_{β}	$E_{\gamma 2}$	E_{ν}	E_f
U-233	160,5	5,0	7,0	9,0	7,0	10	198,5
U-235	166,0	4,9	7,2	9,0	7,2	10	204,3
Pu-239	171,5	5,8	7,0	9,0	7,0	10	210,3

Взаимодействия нейтронов с ядрами среды

Нейтроны взаимодействуют с ядрами среды.

Мера этого взаимодействия - сечение взаимодействия – эффективная площадь ядра мишени относительно налетающего нейтрона.

Поглощение – включает все виды взаимодействия в результате которых образуется новое ядро и новые частицы (в том числе и нейтроны)

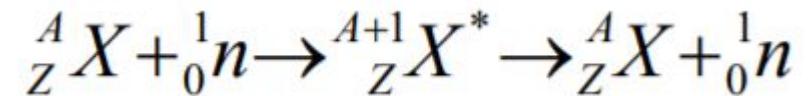
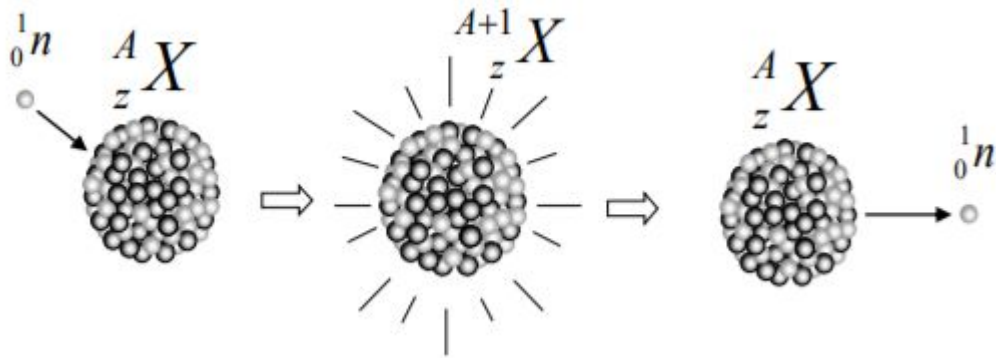
Потенциальное рассеяние – рассеяние нейтронной волны на потенциале ядра без проникновения нейтронной волны внутрь ядра. Идет при любой кинетической энергии нейтрона (σ_p)

Рассеяние – новых ядер не образуется, происходит перераспределение кинетической энергии и момента количества движения между нейтроном и ядром

Кинетические энергии исходного и испущенного нейтронов неодинаковы. В тепловом реакторе за счёт реакций рассеяния идёт процесс уменьшения кинетической энергии нейтронов - замедление.

Замедлители:

водород, дейтерий, бериллий, углерод, кислород, цирконий.



Упругое рассеяние: суммы кинетических энергий ядра и нейтрона до и после рассеяния равны | (σ_{el}) любой

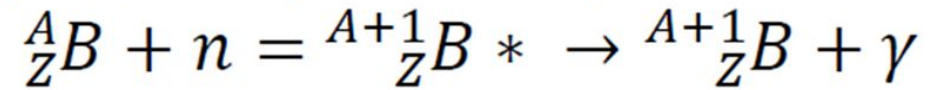
$$(E_{\text{ядра}} + E_n)_{\text{до}} = (E_{\text{ядра}} + E_n)_{\text{после}}$$

Неупругое рассеяние: сумма кинетических энергий ядра и нейтрона после рассеяния оказывается ниже, чем их сумма до рассеяния

Часть энергии после рассеяния идет на увеличение потенциальной энергии ядра

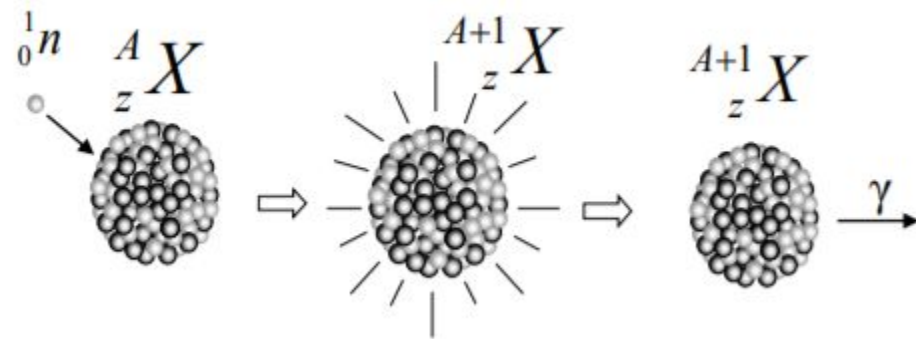
$$(E_{\text{ядра}} + E_n)_{\text{до}} > (E_{\text{ядра}} + E_n)_{\text{после}}$$

Радиационный захват – реакция поглощения нейтрона в результате которой нейтрон захватывается ядром и вся энергия возбуждения уносится γ – квантами (σ_c)



Наиболее склонные к радиационному захвату ядра называют поглотителями нейтронов:

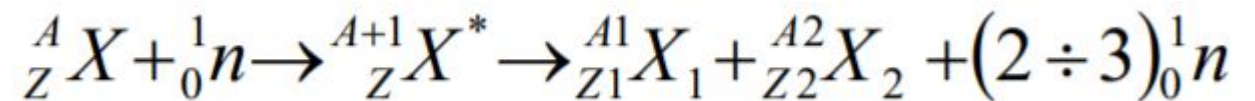
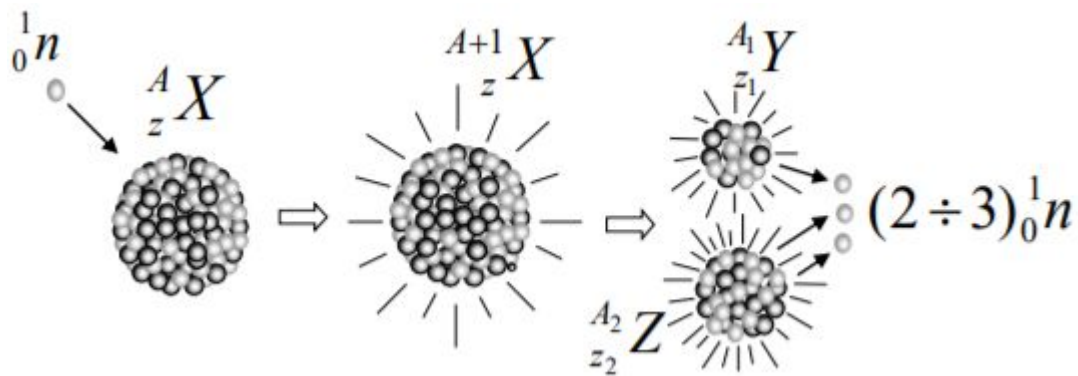
бор-10, самарий-149, ксенон-135, европий, кадмий, гадолиний U-235 и Pu-239 также являются поглотителями



Деление – составное ядро распадается на несколько осколков (σ_f)

Деление ядра – процесс расщепления атомного ядра на два (реже три) ядра с близкими массами, называемых осколками деления. Это основной тип реакций в работе ядерного реактора, обеспечивающая выделение энергии

К делению склонны чётно-нечётные ядра тяжёлых элементов



Характеристики нейтронного поля

Нейтронное поле - это совокупность свободных нейтронов, движущихся и определённым образом распределённых в объёме материальной среды (активной зоны).

Характеристики нейтронного поля:

- плотность нейтронов - n ;
- скорость нейтронов - v (или их кинетическая энергия);
- плотность потока нейтронов - Φ ;
- плотность тока нейтронов – I .

Плотность нейтронов

Плотность нейтронов (n) - это число нейтронов, находящихся в данный момент времени в единичном объёме среды.

Это статическая характеристика, показывающая наличие нейтронов в единичном объёме.

$$n = dN/dV, [\text{нейтр./см}^3]$$

Скорость нейтронов

По энергетическому спектру нейтроны классифицируются на:

- быстрые ($E > 0,1 \text{ МэВ}$)
- промежуточные ($0,625 \text{ эВ} < E < 0,1 \text{ МэВ}$)
- тепловые ($E < 0,625 \text{ эВ}$)

Энергетический спектр тепловых нейтронов – спектр Максвелла :

$$n(E)dE = n_0 C E \exp(-E/kT)dE$$

Плотность потока нейтронов

Плотность потока нейтронов (Φ) - это отношение числа нейтронов, ежесекундно падающих на поверхность элементарной сферы, к величине диаметрального сечения этой сферы.

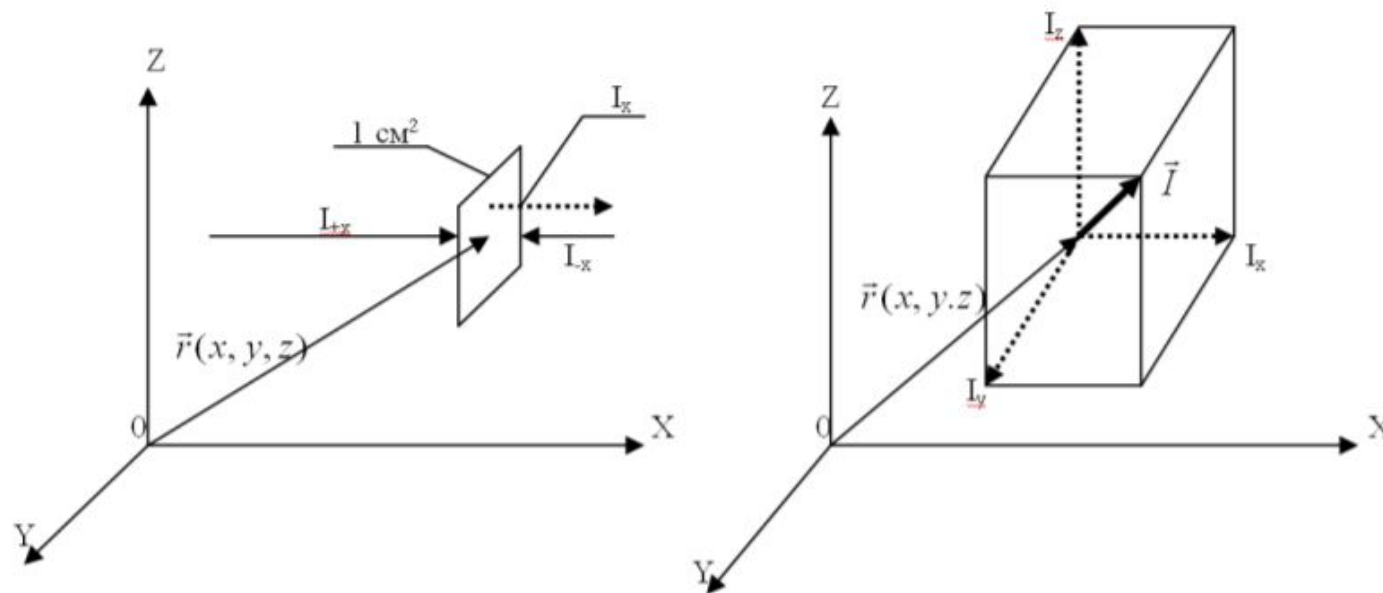
Это суммарный ежесекундный путь всех нейтронов в 1 см³ среды.

Величина скалярная.

$$\Phi = n \cdot v$$

Плотность тока нейтронов

Плотность тока нейтронов (\vec{I}) – это вектор, модуль которого численно равен разности чисел нейтронов, ежесекундно пересекающих единичную площадку, перпендикулярную направлению этого вектора, в двух противоположных направлениях.



Число реакций в единице объема

Число взаимодействий нейтронов в единице объема за единицу времени

$v \cdot n \cdot 1 \text{ с}$ = сумма путей всех нейтронов за 1 с

$\frac{v \cdot n}{\lambda} = v \cdot n \cdot \Sigma = \Phi \cdot \Sigma$ – число взаимодействий нейтронов в 1 объеме за 1 времени

$N_a = \Phi \cdot \Sigma_a$ = число поглощений в 1 объеме в 1 времени

$N_f = \Phi \cdot \Sigma_f$ = число делений

$$3,1 \cdot 10^{10} \cdot q_v = N_f = \Phi \cdot \Sigma_f$$

q_v - объемная плотность энерговыделения в активной зоне [Вт/см³]