

- б) камеру Вильсона наполняют водородом;
- в) фотопластинки не требуют специальной обработки благодаря тому, что водород уже входит в состав самой эмульсии;
- г) органический сцинтиллятор также содержит много водорода и поэтому может быть использован для регистрации протонов отдачи.

Существуют и другие методы детектирования нейтронов. Из сказанного выше уже видно, что регистрировать нейтроны труднее, чем заряженные частицы; в то же время медленные нейтроны проще регистрировать, чем быстрые. Поэтому часто выгодно сначала замедлять нейтроны.

§ 35. ЗАМЕДЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ

Простейшим типом ядерной реакции, происходящей под действием нейтронов, является упругое рассеяние, которое можно рассматривать как упругое соударение двух шаров: ядра и нейтрона. Выше были записаны законы сохранения для случая лобового столкновения (104). Энергия, теряемая нейтроном, переходит в кинетическую энергию ядра отдачи.

Доля энергии, передаваемая нейтроном ядру при лобовом столкновении η , после усреднения по углам вылета

$$\eta = \frac{4mM}{(m+M)^2}, \quad (106)$$

где m и M соответственно массы нейтрона и ядра. Очевидно, что η уменьшается с увеличением массы ядра. При $M \rightarrow \infty$ замедления вообще не будет (упругий удар шара о стенку).

Из формулы (106) следует, что $\eta_{\text{макс}} = 0,5$ при $M = m$, т. е. максимальная доля энергии теряется нейтроном при упругом рассеянии на протоне. Поэтому в качестве замедлителя везде, где это нужно, обычно используют водородсодержащие вещества. Однако ядра не только рассеивают, но и захватывают нейтроны в процессе замедления и это приходится учитывать при выборе вещества замедлителя.

Расчеты показывают, что средняя энергия нейтронов после одного столкновения с протоном (E_1) равняется половине первоначальной энергии (E_0):

$$\bar{E}_1 = \frac{1}{2} E_0.$$

После m соударений энергия нейтронов

$$\bar{E}_m = \left(\frac{1}{2}\right)^m E_0. \quad (107)$$

Замедление продолжается до энергий, соответствующих тепловому равновесию нейтронов со средой, т. е. до тех пор, пока их энергия в среднем не будет такой же, как у атомов среды.

Тепловые нейтроны имеют спектр, близкий к максвелловскому. Средняя энергия теплового движения нейтронов $\bar{E}_n = \frac{3}{2} kT$, наиболее вероятная энергия $E_n = kT$, где k — постоянная Больцмана. При комнатной температуре $T \approx 300^\circ \text{K}$ и тепловая энергия нейтрона

$$E_n = kT = \frac{1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-12}} \approx 0,025 \text{ эв.}$$

В таблице 3 приведено среднее число столкновений, необходимое для того, чтобы уменьшить энергию нейтрона от 1 Мэв до 0,025 эв в разных средах.

Таблица 3

Изотоп	H ₁ ¹	H ₁ ²	He ₂ ⁴	Ve ₄ ⁹	C ₆ ¹²	O ₈ ¹⁶	U ₉₂ ²³⁸
A	1	2	4	9	12	16	238
Число столкнове- ний	18	25	42	90	114	150	2100
$\sigma_{\text{захв}}$ барн	0,33	$4,6 \cdot 10^{-4}$	0	$9 \cdot 10^{-3}$	$4,510^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	

Как видно из таблицы, у водорода велико сечение поглощения тепловых нейтронов и его невыгодно использовать в чистом виде в качестве замедлителя.

Чтобы процесс замедления происходил быстрее, желательно использовать твердый или жидкий замедлитель, так как в нем ядра «упакованы» теснее и чаще происходят столкновения. Теоретически идеальным замедлителем может быть жидкий гелий, он практически не поглощает нейтроны, но он существует лишь при температуре $4,2^\circ \text{K}$, поэтому его трудно использовать.

Из других веществ, приведенных в таблице, часто используют дейтрон, находящийся в тяжелой воде, бериллий и углерод.

§ 36. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ НЕЙТРОНОВ

Большинство источников дает нейтроны с неодинаковой энергией. Часто их спектр довольно широкий. Однако для многих исследований необходимо иметь большое разрешение по энергиям. Например, при изучении зависимости эффективного сечения какого-либо процесса от энергии нейтронов нужно выделять из непрерывного спектра нейтроны заданной энергии.

Нейтроны можно разделить по энергиям двумя методами.