

СЖАТИЕ И ФОКУСИРОВКА НЕЙТРОННОГО ГАЗА ПРИ ДВИЖЕНИИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯ

Г. А. Аскарьин, В. А. Намиот

Показано, что при движении замедлителя в нейтронном газе возможно сграбление и увеличение плотности нейтронов в замедлителе и перед ним, что может быть использовано для увеличения концентрации актов и энерговыделения от индуцированных нейтронами реакций, саморазлета и самосжатия полости в веществе. Показана возможность инерционного сграживания и фокусировки нейтронов при резком торможении вещества. Поставлена задача о распределении нейтронов в среде с распределением плотности и скоростей.

В ряде научных и прикладных задач желательно увеличение плотности нейтронного газа. В настоящее время в лабораторных условиях достигнута [1] плотность нейтронного потока $I = 10^{18} / \text{см}^2 \cdot \text{сек}$ до или после замедления и плотность тепловых нейтронов $n_T \approx I/v_T \approx 10^{18} / \text{см}^3$, где $v_T \approx 2 \cdot 10^5 \text{ см/сек}$. В данной статье отмечается возможность увеличения плотности нейтронов при движении замедлителя в нейтронном облаке. Этот эффект увеличения связан с замедлением нейтронов при неупругих и упругих столкновениях в замедлителе при любых скоростях его движения и возможности сграбления и сбрасывания нейтронов быстро движущимися стенками замедлителя. Отмечены практические использования сжатых нейтронных облаков.

1. Если задана скорость движения замедлителя $u > v_T$ в облаке нейтронов с плотностью n_0 , то в системе координат движущегося замедлителя падающий поток нейтронов $I \approx n_0 u$. В пренебрежении отражением получим концентрацию n нейтронов в диффузационном слое толщиной $\delta_D = \sqrt{Dt}$ в замедлителе равной

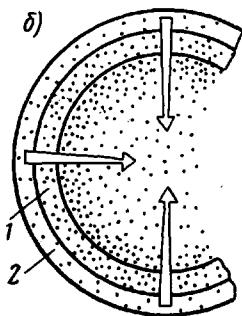
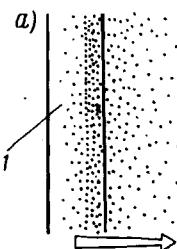
$$n \approx It/\delta_D \approx I\sqrt{t/D} = n_0 u / v_D,$$

где v_D – скорость диффузии нейтронов в замедлитель $v_D \approx \sqrt{D/t}$, а D – коэффициент диффузии.

Если устанавливается плотность нейтронов у поверхности вследствие увеличения обратного потока рассеяния $I_{\text{расс}} = nv_T/6$, а диффузионным потоком можно пренебречь (большие глубины диффузии и малые градиенты) то из условия $I = n_0 u = I_{\text{расс}} = nv_T/6$ получим коэффициент увеличения плотности $K = n/n_0 = 6u/v_T$.

Поскольку обратный поток пропорционален плотности нейтронов внутри замедлителя у его поверхности, то и перед его поверхностью происходит увеличение плотности нейтронов, т.е. происходит сграбление.

Особенно сильно происходит процесс увеличения плотности нейтронов при сжатии замкнутой геометрии, например, при цилиндрическом или сферическом или ином всестороннем смыкании стенок замедлителя. Например, если скорость u стенок превышает скорость v_D диффузии вглубь $u > v_D$, то концентрация $n(t) \sim 1/V(t)$, где V – объем полости внутри стенок замедлителя. Диффузия вглубь замедлителя увеличивает эффективный объем сжимаемых нейtronов $V_{\text{эфф}} \sim \{R(t) + \delta_D(t)\}^m$, где $m = 2$ – для цилиндра и $m = 3$ – для сферы, т.е. $V_{\text{эфф}}|_{\min} \sim \delta_D^m(t_{\text{кон}}) \sim D t_{\text{кон}}^{m/2}$; где $t_{\text{кон}}$ – длительность процесса сжатия и $n_{\max} \sim n_0 V_0 / V_{\text{эфф}}|_{\min}$.



Сжатие нейтронного газа при движении замедлителя: а – плоский случай; б – сходящееся сжатие: 1 – слой замедлителя, 2 – слой рабочего вещества

2. Увеличение плотности нейтронов может повысить выход и объемную концентрацию актов таких реакций, как $(n\gamma)$, (na) , (nf) и др., идущих обычно с выделением энергии $\epsilon \approx 1 \div 100 \text{ МэВ}$. При большой плотности нейтронов объемная мощность энерговыделения $W = n v_T n_{\text{яд}} \sigma_{nx} \epsilon$ может быть столь большой, что вещество сильно нагреется, испарится и начнет разлетаться во вне или внутрь (если в нем есть полость).

Этот индуцированный разлет со все возрастающей скоростью также можно использовать для сжатия и повышения воздействия нейтронного потока, если, например, перед движущейся поверхностью рабочего вещества движется вместе с ним слой замедлителя, увеличивающего не только плотность нейтронов, но и увеличивающего сечение взаимодействия нейтронов с ядрами. Можно оценить необходимую начальную плотность нейтронов для инициирования такого процесса саморазгона и сжатия вещества: $n \sim W / v_T n_{\text{яд}} \sigma \epsilon$ полагая энергию, приходящуюся на ядро $\epsilon_{\text{яд}} \sim W t / n_{\text{яд}} \approx 100 \text{ эВ}$, $v_T \approx 3 \cdot 10^5 \text{ см/сек}$, $\sigma \epsilon \approx 10^4 \text{ бн} \cdot \text{МэВ}$ и $t \approx 10 \text{ мксек}$ получим $n \approx \epsilon_{\text{яд}} / \epsilon_x v_T \sigma t \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$, т.е. достаточна компрессия нейтронов в $K \approx 10^2 \div 10^3$ раз.

3. Интересно отметить, что при торможении замедлителя с накопленными нейтронами в нем возникает инерционный поток нейтронов с мгновенной начальной скоростью v_0 и устанавливающейся $v \approx a/v_s$, где a – ускорение и v_s – частота столкновений нейтронов в замедлителе ($v_s = n_{\text{я}} \sigma_s v_T$) – в том случае, когда в течение торможения успевает установиться диффузия $t >> 1/v_s$ (обычно $v_s \sim 10^6 \text{ сек}^{-1}$).

Этот инерционный поток также может быть использован на практике.

Отметим, что движение и сжатие сред, в которых диффундируют нейтроны могут изменить плотность распределения нейтронов. В частности, движение стенки-замедлителя в нейтроносодержащей среде может увеличить плотность нейтронов вблизи стенки вследствие диффузионного замедления их ухода от движущейся стенки. В частности, возможны случаи, когда скорость стенки замедлителя превосходит скорость удаления от нее нейтронов и стенка нагоняет и собирает все рассеянные ранее нейтроны. (При движении в вакууме это возможно лишь при монотонном ускоренном движении стенки замедлителя).

Если среда резко тормозится на пути $L \approx l_s$, то нейтроны продолжают движение по инерции, что можно использовать для фокусировки нейтронов (например, при быстром стекании потока среды к оси или к центру и резком изменении вектора скорости при торможении или разете). Наиболее четкая фокусировка имеет место, когда скорость среды превосходит тепловую скорость нейтронов и когда поверхность торможения близка к сферической. Условие увлечения и вовлечения нейтронов в поток или в сжатие среды – время увлечения $t \ll t_D \approx L^2/D$, где L – эффективные размеры участка среды.

Поставленные здесь задачи о распределении нейтронов в среде с распределением скоростей и плотности представляет не только прикладной, но и теоретический интерес. Рассмотренные процессы увеличения плотности нейтронов и увеличения их концентрации использования, а также схлопывания и самосхлопывания полостей в средах, помещенных в нейтронный газ может быть использовано для достижения очень больших плотностей при самосжатии и нейтронов для различных задач нейтронной физики.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15 июля 1974 г.

Институт ядерной физики
Московского
государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Литература

[1] Физический энциклопедический словарь. М., 1966 г., том 5, стр. 554.