

чек (см. *Магнитная нейтронография*). Для очень медленных нейтронов необходимо также принимать во внимание и наличие силы тяжести Земли. В результате к оптич. потенциалу добавляются потенциалы $U_M = -\mu B$, $U_{грав} = mgz$, где μ — магн. момент нейтрона, B — магн. индукция, g — ускорение свободного падения, z — высота. Общее выражение для показателя преломления имеет вид:

$$n^2 = 1 - \frac{h^2 N b}{\pi m^2 v^2} - \frac{2gz}{v^2} \pm \frac{2|\mu B|}{mv^2} \quad (5)$$

Неоднородность хим. состава среды, наличие гравит. и магн. членов в (5) приводят к зависимости n от координат. При этом, как и в оптике неоднородных сред, имеет место искривление лучей. Наличие двух знаков у последнего слагаемого в (5) соответствует двум возможным ориентациям спина нейтрона относительно H . Различие показателя преломления для двух спиновых компонент приводит к магн. двойному лучепреломлению (рис. 1). Пучок нейтронов испытывает последовательно брэгговскую дифракцию на двух кристаллах Si. Расположенная между ними ферромагн. призма по-разному отклоняет нейтроны с ориентацией спина параллельно полю (\odot) и антипараллельно (\oplus). В ре-

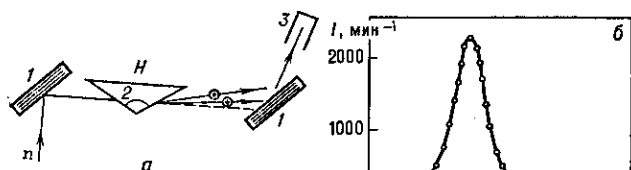


Рис. 1. а — Двойное лучепреломление нейтронного пучка в ферромагнитной призме: 1 — кристаллы Si; 2 — ферромагнитная призма; 3 — детектор нейтронов; б — кривая отражения без призмы; в — кривая отражения с призмой; 1 — счёт детектора нейтронов.

зультате дифракц. отражение от 2-го кристалла Si происходит при двух разных поворотах кристалла и регистрируются два пика, соответствующие двум противоположным ориентациям спина нейтрона. Из-за спиновой зависимости ядерных сил двойное лучепреломление имеет место также в среде, содержащей *ориентированные ядра* (ядерный псевдомагнетизм).

Для того чтобы описать распространение нейтронной волны в среде с учётом её ослабления, пользуются понятием комплексной длины рассеяния $b = b' + ib''$, где $b'' = k\sigma/4\pi$ (согласно т. н. *оптической теореме*), σ — сечение всех процессов, приводящих к ослаблению пучка. Поскольку для холодных нейтронов σ обратно пропорц. скорости нейтрона в среде (закон $1/v$), а $k^{cp} = 2\pi mv^{cp}/h$, то b'' не зависит от кинетич. энергии нейтрона и является эмпирич. константой среды. Как правило, $b'' \ll b'$. Из-за комплексности b комплексными величинами являются U и n^2 . В оптике *диэлектриков* и немагн. металлов комплексной является *диэлектрическая проницаемость* $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$. Сопоставляя это соотношение с (2), получим для нейтронного аналога диэлектрич. проницаемости выражение:

$$\epsilon' = 1 - \frac{h^2 N b'}{\pi m^2 U^2}; \quad \epsilon'' = \frac{h^2 N b''}{\pi m^2 U^2} \quad (6)$$

В Н. о. $|\epsilon'| \gg |\epsilon''|$. Если $b' < 0$, то $\epsilon' > 0$ и имеется полная аналогия с диэлектриками. Однако для большинства материалов $b' > 0$. При этом $\epsilon' > 0$ только в случае, когда энергия нейтронов \mathcal{E} не слишком мала. Если $\mathcal{E} < U$, то $\epsilon' < 0$, что характерно для металлов.

В оптике амплитуды отражённой (r) и прошедшей (f) волн (при единичной амплитуде падающей волны) определяются *Френеля формулами*. В Н. о. все особенности преломления и отражения связаны с нормальными к плоскости раздела компонентами скоростей v_1 и v_1^{cp} . Поэтому удобно ввести «нормальный» коэф. преломления $n_{\perp} = v_1^{cp}/v_1 = (1 - v_0^2/v_1^2)^{1/2}$, где $v_0 = 2U/m$ наз. *граничной скоростью* среды. Тогда ф-лы Френеля будут иметь вид:

$$r = \frac{1 - n_{\perp}}{1 + n_{\perp}}; \quad f = \frac{2}{1 + n_{\perp}} \quad (7)$$

При $v_1 < v_0$ ($v_0 \leq 6$ м/с) показатель преломления n_{\perp} становится мнимым, а коэф. отражения $R = |r|^2 = 1$. Это явление, как и в случае рентг. лучей, наз. *полным внешним отражением*. Наличие поглощения (комплексность потенциала U и соответственно n_{\perp}) делает отражение не идеально полным, хотя из-за малости b'' по сравнению с b' коэф. отражения в этом случае отличается от 1 на величину $\sim 10^{-3} - 10^{-4}$.

Нейтронно-оптические методы в физических исследованиях. Анализируя дифракц. картину, возникающую при прохождении нейтронов через кристаллич. веществ-

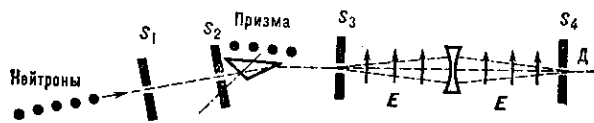


Рис. 2. Прибор для обнаружения заряда нейтрона.

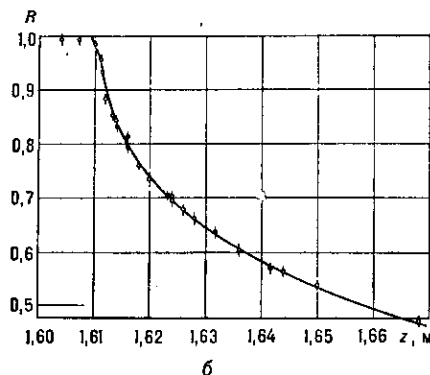
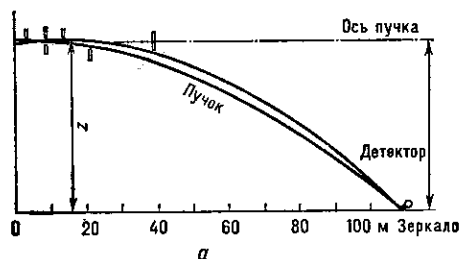


Рис. 3. а — Схема гравитационного рефрактометра; б — зависимость коэффициента отражения R от z для тяжелой воды.

ва, можно восстановить пространств. структуру элементарной ячейки кристалла (см. *Нейтроннография структурная*). В свою очередь, монокристаллы используются как монохроматоры нейтронов. Явление полного отражения используется для создания зеркальных *нейтронопроводов*, с помощью к-рых можно выводить нейтроны из ядерного реактора или др. нейтронного источника на достаточно большие расстояния. Т. к. пока-