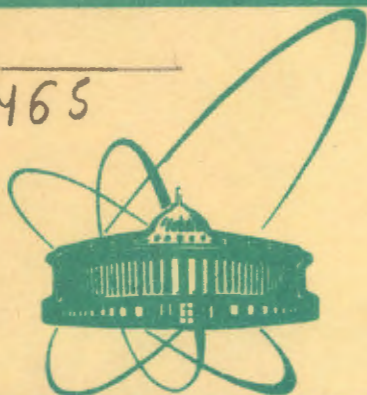


A-465



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

121/2-80

14/1-80

P3 - 12747

Ю.А. Александров

О ВОЗМОЖНОСТИ
УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИПОЛЬНОГО МОМЕНТА
НЕЙТРОНА

1979

Александров Ю.А.

P3 - 12747

О возможности улучшения экспериментальной оценки электрического дипольного момента нейтрона

Обращается внимание на то, что изучение дифракции поляризованных тепловых нейтронов на совершенных монокристаллах с малой амплитудой рассеяния открывает возможность для увеличения чувствительности кристалл-дифракционного метода поиска ЭДМ нейтрона и улучшения имеющейся в настоящее время оценки ЭДМ.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Alexandrov Yu.A.

P3 - 12747

On a Possibility to Improve Experimental Estimation of Neutron Electric Dipole Moment

It is noticed that studying of diffraction of polarized thermal neutrons on perfect monocrystals with a small scattering amplitude opens a possibility to increase the sensitivity of crystal-diffraction method of search for neutron electric dipole moment and improving its available estimate.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Уточнение имеющейся в настоящее время экспериментальной оценки электрического дипольного момента /ЭДМ/ нейтрона $\frac{|D|}{e} < 1,5 \cdot 10^{-24}$ см/ наталкивается на затруднения, связанные с возможностями магнитно-резонансного метода /1/, в частности с ограничениями напряженности электрического поля, приложенного к рабочему объему прибора.

В 1967 году Шаллом и Натансом /2/ был применен кристалл-дифракционный метод, использующий по существу внутриатомное электрическое поле. Однако чувствительность этого метода определяется влиянием швингеровского рассеяния /интерференцией его с ядерным/, вследствие чего в работе /2/ была получена сравнительно грубая оценка ЭДМ $< 5 \cdot 10^{-22}$ см/.

В настоящей заметке рассматривается одна из возможностей увеличения чувствительности кристалл-дифракционного метода, позволяющая, по-видимому, в ближайшем будущем улучшить оценку величины ЭДМ нейтрона.

Как известно, интегральная интенсивность тепловых нейтронов брэгговского дифракционного пика, соответствующего вектору обратной решетки $\vec{\tau}$, равна

$$I_{\vec{\tau}} \sim F_{\vec{\tau}}^2 \sim [a^2 + (a' + f_{sh} + f_d)^2], \quad /1/$$

где $a + ia'$ - амплитуда ядерного рассеяния,

$$if_d = i \frac{Ze(1-f)}{\hbar} \cdot \frac{D}{v} \text{cosec} \theta \cdot (\vec{P} \vec{e}) = if'_d \cdot (\vec{P} \vec{e}) - \quad /2/$$

амплитуда дипольного рассеяния $f'_d \approx 10^{-19}$ см для отражения (110) вольфрама при $D/e \approx 2 \cdot 10^{-24}$ см/,

$$if_{sh} = \frac{i}{2} \mu \left(\frac{\hbar}{Mc} \right) \left(\frac{Ze^2}{\hbar c} \right) (1-f) \text{ctg} \theta \cdot (\vec{P} \vec{n}) = if'_{sh} \cdot (\vec{P} \vec{n}) - \quad /3/$$

амплитуда швингеровского рассеяния $f'_{sh} \approx 3 \cdot 10^{-15}$ см для отражения (110) вольфрама/, f - атомный формфактор, v - скорость нейтрона, θ - угол Брэгга, \vec{P} - вектор поляризации нейтронов, D - ЭДМ нейтрона, $\vec{e} = (\vec{k} - \vec{k}_0) / 2k \sin \theta$ - вектор рассеяния,

$\vec{n} = [\vec{k} \times \vec{k}_0] / k^2 \sin 2\theta$. Эксперимент^{/2/} заключался в поиске асимметрии рассеяния поляризованных в плоскости рассеяния тепловых нейтронов при изменении знака \vec{P} . Величина f_d максимальна, когда вектор \vec{P} лежит точно в плоскости рассеяния и параллелен \vec{e} . В этом случае $(\vec{P}\vec{n})=0$ и, таким образом, $f_{sh}=0$. Однако условие $(\vec{P}\vec{n})=0$ практически невыполнимо /в работе^{/2/} из-за неточности ориентации угол между вектором \vec{P} и плоскостью рассеяния составлял $\approx 4^\circ$, что приводит к интерференции швингеровского рассеяния с ядерным и ограничивает чувствительность метода к ЭДМ.

Рассмотрим теперь дифракцию нейтронов на совершенном кристалле, установленном в положение Лауэ /на прохождение, см. рис. 1/.

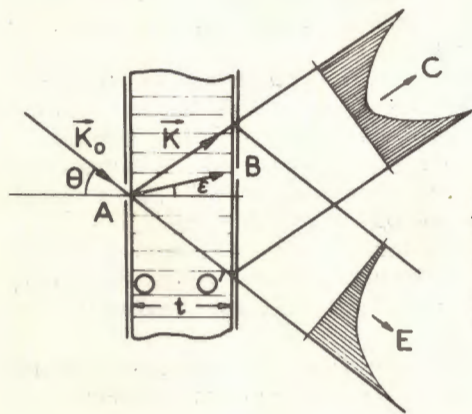


Рис. 1. А - входная щель, В - сканирующая щель, $00'$ - отражающие плоскости, С - дифрагированные волны, Е - прошедшие волны.

Интенсивность нейтронов, распространяющихся в кристалле под углом ϵ , описывается в приближении сферических волн^{/3,4/} формулой

$$I = \frac{c}{(1-\gamma^2)^{1/2}} J_0^2 [A(1-\gamma^2)^{1/2} \text{tg}\theta] \rightarrow \frac{c}{(1-\gamma^2)^{1/2}} \sin^2 \left[\frac{\pi}{4} + A(1-\gamma^2)^{1/2} \text{tg}\theta \right], /4/$$

где $\gamma = \text{tg}\epsilon / \text{tg}\theta$, $A = 2tN \text{Re}(F_r F_{-r})^{1/2} d_r$, N - число элементарных ячеек в 1 см^3 , d_r - межплоскостное расстояние, c - константа. Вычислим величину $\text{Re}(F_r F_{-r})^{1/2}$. При вычислении примем во внимание, что при операции $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$ f_d и f_{sh} изменяют знак. Получим:

$$\text{Re}(F_r F_{-r})^{1/2} \sim [a^2 + a'^2 + (f_{sh} + f_d)^2]^{1/2}. /5/$$

Таким образом, в формулу /4/ под знаком синуса будет входить величина, не содержащая членов, обусловленных интерференцией ядерного и швингеровского рассеяния. Поскольку $\vec{n} \perp \vec{e}$, то формулу /5/ можно записать в виде

$$\text{Re}(F_r F_{-r})^{1/2} \sim [a^2 + a'^2 + |P|^2 (f'_{sh} \cos\phi + f'_d \sin\phi)^2]^{1/2}, /6/$$

где ϕ - угол между векторами \vec{n} и \vec{P} /см. рис. 2/.

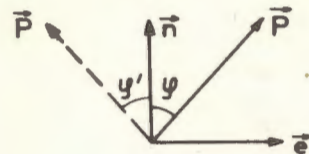


Рис. 2

Рассмотрим конкретный пример дифракции поляризованных тепловых нейтронов на семействе плоскостей (110) совершенного кристалла вольфрама, выращенного из изотопической смеси с очень малой величиной $a' = 90\% \text{ } ^{186}\text{W}$ в смеси^{/5/}. Для такой смеси величина $a' \approx 10^{-15} \text{ см}$. Пользуясь формулами /4/ и /6/, можно легко показать, что изменение интенсивности $\Delta I/I$ при изменении угла ϕ на $\phi' = -\phi$ составит не менее $10^{-3} \div 10^{-2}$ при значениях $|D|/g = 1,5 \cdot 10^{-24} \text{ см}$, $t = 2 \text{ см}$, $\phi = 45^\circ$, $\epsilon = 0$, $\lambda = 2 \cdot 10^{-8} \text{ см}$, $|P|=1$.

При проведении предлагаемого эксперимента важно выполнить условие $\phi' = -\phi$, иными словами, прокалибровать прибор при $f'_d \rightarrow 0$. Поскольку $f'_d \sim \frac{1-f}{\sin\theta} \cdot \frac{1}{v}$, а $f'_{sh} \sim (1-f)\text{ctg}\theta$, то отношение $\frac{f'_d}{f'_{sh}} \sim \frac{\cos\theta}{v}$ при фиксированном θ уменьшается, как $1/v$.

Поэтому калибровку прибора можно провести на более быстрых нейтронах, используя отражения высоких порядков.

В заключение заметим, что хотя в настоящее время в литературе пока нет данных о работе с совершенными кристаллами вольфрама, быстрое развитие техники выращивания монокристаллов из тугоплавких материалов^{/6/} позволяет надеяться, что предлагаемый эксперимент может быть осуществлен в ближайшем будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобашов В.М., Серебров А.П. III Школа по нейтронной физике. ОИЯИ, ДЗ-11787, Дубна, 1978.

2. Shull C.G., Nathans R. Phys.Rev.Lett., 1967, 19, No.7, p.384.
3. Shull C.G., Oberteuffer J.A.Phys.Rev.Lett., 1972, 29, No.13.
4. Stassis C., Oberteuffer J.A.Phys.Rev., 1974, B10, No12, p.5192.
5. Александров Ю.А. и др. ЯФ, 1969, 10, с.328.
6. Савицкий Е.М. и др. Развитие плазменных методов выращивания монокристаллов тугоплавких металлов и сплавов. В сб.: Монокристаллы тугоплавких и редких металлов, сплавов и соединений. "Наука", М., 1977, с.5.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 августа 1979 года.