

ЭФФЕКТ УСКОРЕНИЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ НЕЙТРОНОВ ЧЕРЕЗ УСКОРЯЮЩИЙСЯ КРИСТАЛЛ

А. И. Франк^{1*}, В. А. Бушуев², М. А. Захаров¹, Г. В. Кулин¹

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Московский государственный университет, Москва, Россия

*E-mail: frank@jinr.ru

В работах [1, 2] был зарегистрирован эффект, состоящий в изменении энергии нейтронов при их прохождении через преломляющий образец, движущийся с ускорением. Аналогичный эффект для света был ранее предсказан в работе [3]. Качественное объяснение этих двух явлений сводилось к представлению о разностном эффекте Доплера. Поскольку за время распространения волны в образце скорость образца меняется, то величина доплеровских сдвигов частоты при преломлении на входной и выходной поверхностях образца, отличается не только по знаку, но и по абсолютной величине. Такая интерпретация эффекта полностью справедлива в случае преломления нейтронной волны, когда физически значимые явления происходят только на границах образца, но едва ли вполне корректна для света.

В то же время было показано, что исходя только из принципа эквивалентности можно единым образом описать изменение частоты и энергии при прохождении через преломляющий образец как нейтронов, так и света. При этом основным фактором, определяющим величину сдвига частоты при прохождении волны через образец, движущийся с постоянным ускорением, является величина временной задержки, возникающая из-за преломления волны в образце. В результате появилось представление об универсальном оптическом явлении, справедливом для волн любой природы и названном в [1] эффектом ускоряющегося вещества (ЭУВ). Впоследствии было осознано, что представление о связи эффекта только с преломлением является необоснованно узким, а изменение частоты волны неизбежно должно возникать при взаимодействии с любым объектом, движущимся с ускорением [4]. При этом изменение частоты во всех случаях определяется соотношением

$$\Delta\omega = k_0 a t, \quad (1)$$

где k_0 – волновое число падающей волны и a – ускорение.

Временная задержка рассеянной волны по отношению к падающей может возникать по любой причине. В нейтронной оптике возникновение временной задержки, не связанной с обычным преломлением, демонстрировалось в экспериментах, в которых нейтроны проходили через кристалл в условиях, близких к условию Брэгга [5-7]. Из соотношения (1) следует, что в этих условиях приведение образца в ускоренное движение также должно приводить к изменению энергии прошедших через него нейтронов. Для того, чтобы определить величину изменения частоты и энергии, следует только правильно вычислить величину временной задержки, возникающей вследствие отличия групповой скорости нейтрона в кристалле от вакуумного значения.

Такое изменение энергии действительно наблюдалось в эксперименте [8], где нейтроны с энергиями вблизи условия Брэгга проходили через осциллирующий в простран-

стве кристалл кварца. Нами были сделаны приближенные оценки ожидаемой величины эффекта изменения энергии в условиях, близких к условиям этого эксперимента. Для групповой скорости нейтронов [9] было принято значение

$$v = \frac{\hbar k}{m_*} = \frac{\hbar}{2m} \left(\frac{dF}{d(k_0^2)} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где k – волновое число в среде, характеризующейся законом дисперсии $k = F(k_0^2)$. Дисперсионное соотношение для двух ветвей было найдено из решения уравнения Шредингера в двухволновом приближении.

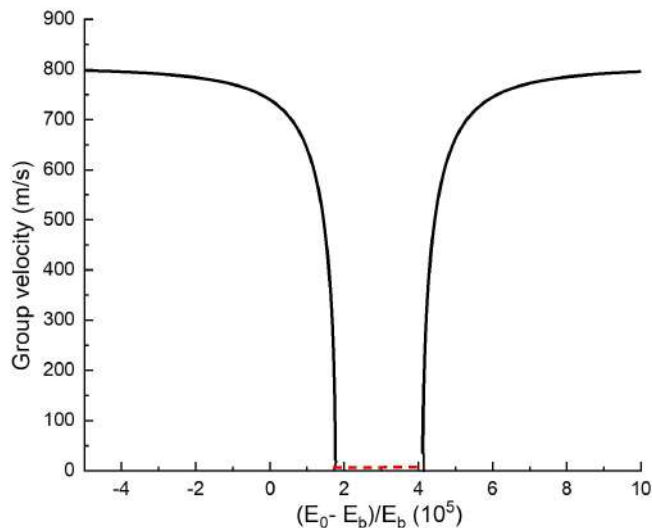


Рис. 1. Групповая скорость нейтрона в кристалле кварца в зависимости от отклонения энергии нейтрона E_0 от брэгговского значения E_b . Красная пунктирная линия соответствует области отражения, где проходящая волна отсутствует.

Полученные оценки величины изменения энергии нейтронов в условиях, близких к условиям эксперимента [8], качественно согласуются с результатами последнего. Можно полагать, что этот эксперимент, наряду с результатами работ [1, 2], является еще одной демонстрацией справедливости эффекта ускорения в нейтронно-оптических явлениях.

1. A. I. Frank, P. Geltenbort, M. Jentschel et al. Phys. At. Nucl. **71**, 1656–1674 (2008).
2. A. I. Frank, P. Geltenbort, M. Jentschel et al. JETP Lett. **93**, 361–365 (2011).
3. K. Tanaka, Phys. Rev. A **25**, 385–390 (1982).
4. A. I. Frank. Physics Uspekhi **53**, 500–502 (2020).
5. C. G. Shull, A. Zeilinger, G. L. Squires et al., Phys. Rev. Letters **44**, 1715–1718 (1980).
6. V. V. Voronin, E. G. Lapin, S. Yu. Semenikhin, et al., JETP Lett. **71**, 76–79 (2000).
7. V. V. Voronin, Y. V. Borisov, A. V. Ivanyuta et al. JETP Lett. **96**, 609–612 (2013).
8. V. V. Voronin, Y. A. Berdnikov, A. Y. Berdnikov et al. JETP Lett. **100**, 497–502, (2014).
9. A. I. Frank. Physics Uspekhi **61** (9) 900–901 (2018).