

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



РЗ - 11868

20/11-79

Л-878

В.И.Лушиков, А.И.Франк

735/
2-79

КВАНТОВЫЕ ЭФФЕКТЫ
ПРИ ХРАНЕНИИ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ
НА ПЛОСКОСТИ

1978

РЗ - 11868

В.И.Лушиков, А.И.Франк *

КВАНТОВЫЕ ЭФФЕКТЫ
ПРИ ХРАНЕНИИ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ
НА ПЛОСКОСТИ

Направлено в "Письма в ЖЭТФ"



* Институт атомной энергии, Москва

Лушиков В.И., Франк А.И.

P3 - 11868

Квантовые эффекты при хранении ультрахолодных нейтронов на плоскости

Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с хранением на горизонтальной плоскости нейтронов с минимальной энергией вертикального движения. Предложен эксперимент по пропусканию нейтронов через щель с использованием неоднородного магнитного поля.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Lushchikov V.I., Frank A.I.

P3 - 11868

Quantum Effects at the Storage of Ultracold Neutrons on a Plane

Some problems of storage of neutrons on a horizontal plane with a minimum energy of vertical motion are considered. An experiment is proposed on the transmission of neutrons through a slit using a nonhomogeneous magnetic field.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubno 1978

Открытие ультрахолодных нейтронов /УХН/ сделало доступной для изучения новую область очень низких энергий элементарных частиц: для работающих с УХН стали привычными энергии $\sim 10^{-8}$ эВ. Можно ожидать, что в ближайшее время появятся источники УХН с существенно большей, чем сейчас, интенсивностью, что позволит работать с еще более "холодными" нейтронами. При переходе к более низким энергиям возможно проявление квантовых эффектов в макроскопических объектах. В этой связи можно, в частности, рассмотреть хорошо известную задачу о частице, упруго отражающейся от горизонтальной плоскости и находящейся в потенциале $U = Fz$ /рис. 1/. При этом энергия вертикального движения квантована, а волновые функции уровней есть функции Эйри^{1,2}. Задача характеризуется энергетической постоянной $\xi = \left[\frac{(\hbar F)^2}{2m} \right]^{1/3}$ и линейной постоянной

$l = \left(\frac{\hbar^2}{2mF} \right)^{1/3}$. Для нейтрона, хранящегося на плоскости

в гравитационном поле ($F = mg$), значения этих величин таковы: $\xi = 0,6 \cdot 10^{-12}$ эВ, $l = 0,3 \cdot 10^{-3}$ см. Положение уровней определяется соотношением $E_n = \lambda_n \xi$, где λ_n - нули функции Эйри. Первые два уровня имеют энергию $1,4 \cdot 10^{-12}$ и $2,45 \cdot 10^{-12}$ эВ. Очень близкий результат можно получить, комбинируя классическое выражение $H = v^2/2g$ /H - высота подъема нейтрона над поверхностью/ с квантовомеханическим требованием $H \geq \lambda$, $\frac{v^2}{2g} \geq \frac{2\hbar}{mv}$,

откуда $v \geq 2,4$ см/с, $H \sim 0,003$ см, $E = \frac{mv^2}{2} \approx 3 \cdot 10^{-12}$ эВ. В работе^{3,7} также обращалось внимание на то обстоя-

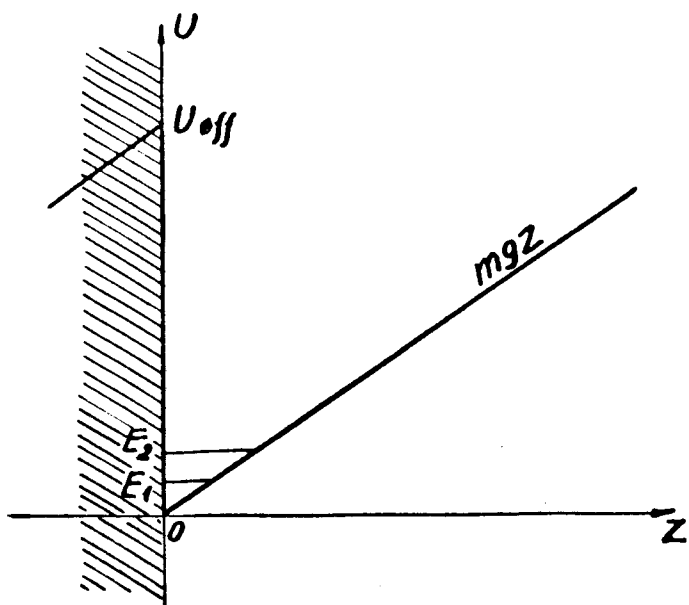


Рис.1. Эффективный потенциал при отражении УХН от горизонтальной плоскости $E_1 = 1,4 \cdot 10^{-12} \text{ эВ}$, $E_2 = 2,45 \cdot 10^{-12} \text{ эВ}$.

ятельность, что волновая функция первого уровня локализована вблизи плоскости в области, имеющей заметно меньшие размеры, чем для второго уровня /18 и 28 мкм соответственно/. Это позволяет, в принципе, экспериментально выделить нейтроны, находящиеся только на первом уровне.

Если пучок УХН пропускать через щель высотой $\sim 20 \text{ мкм}$, образованную горизонтальной отражающей плоскостью и поглотителем с нулевой граничной скоростью /рис. 2/, то нейтроны с энергией E_2 будут поглощены, а нейтроны с энергией E_1 пропущены такой системой. Эти нейтроны будут течь /или "катиться"/ по поверхности, не отрываясь от нее /на тангенциальную составляющую скорости ограничений не наложено/, даже если поверхность отклоняется от горизонтальной, поскольку переход на следующий уровень требует конечного приращения энергии. Поток таких нейтронов составляет

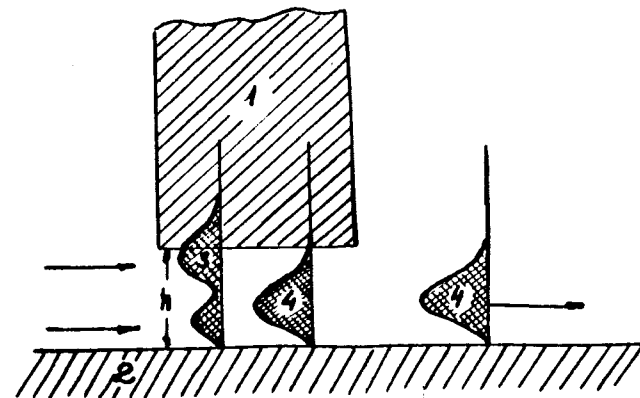


Рис.2. "Течение" УХН по горизонтальной плоскости в случае гравитационного потенциала. 1 - поглотитель, 2 - отражающая поверхность, 3 - плотность УХН с энергией вертикального движения $E_2 = 2,45 \cdot 10^{-12} \text{ эВ}$, 4 - плотность УХН с энергией вертикального движения $E_1 = 1,4 \cdot 10^{-12}$. Высота щели $h = 20 \text{ мкм}$.

примерно 10^{-3} от общего потока и не безнадежно мал для эксперимента.

На величины эффектов можно влиять, поместив систему в неоднородное магнитное поле ($F = mg \pm \mu \frac{\partial B}{\partial z}$),

где μ - магнитный момент нейтрона.

Выбирая нужную величину магнитного поля и направление поляризации нейтронов, можно менять величину F в широких пределах. Компенсируя гравитацию ($F < mg$), можно увеличить $\xi \left(\xi \sim \frac{1}{F^{1/3}} \right)$, сделав более выражен-

ным описанный выше эффект поверхностного течения УХН. С другой стороны, увеличив F путем применения сильно неоднородного поля, можно заметно увеличить величину ξ . Для величины неоднородности поля $\frac{\partial B}{\partial z} =$

$= 5 \cdot 10^4 \text{ Гс/см}$, что является вполне достижимым, получим $F = \mu \frac{\partial B}{\partial z} \approx 3 \cdot 10^{-7} \text{ эВ/см}$ / $mg \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ эВ/см}$ /. При этом $\xi =$
 $\approx 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ эВ}$, а первые два уровня лежат при значениях

энергии $2,8 \cdot 10^{10}$ и $4,9 \cdot 10^{10}$ эВ, т.е. в области, уже доступной для спектрометрии. Заслуживает внимания вопрос о времени жизни нейтрона в такой системе. В классическом случае при $v < v_{\text{ГР}}$ время жизни нейтрона на плоскости в поле тяготения определяется соотношением $\tau = \frac{v_{\text{ГР}}}{g\eta}$, где η - отношение мнимой и действительной частей потенциала стенки.

Для обычных значений $v_{\text{ГР}} = 500$ см/с и $\eta = 1 \cdot 10^{-4}$ получим $\tau = 5 \cdot 10^3$ с, что больше периода полураспада нейтрона $\tau_0 \approx 10^3$ с. Наш случай эквивалентен замене g на величину F/m . Таким образом, классическая оценка приводит к значению для времени жизни нейтрона в такой системе $\tau \sim 20$ с и для ширины уровней - $3 \cdot 10^{-17}$ эВ. При движении нейтрона по плоскости возможно неупругое рассеяние на шероховатостях поверхности. При этом нейтрон, имеющий горизонтальную компоненту скорости, воспринимает шероховатости как колеблющуюся поверхность. Оценки показывают, что вероятность такого рассеяния $\sim 10^{-3}$ с $^{-1}$.

Хотелось бы отметить, что в эксперименте с магнитным потенциалом можно менять величину магнитной индукции во время хранения нейтронов, изучая таким образом нестационарную картину.

Авторы благодарны И.М.Франку за весьма полезные обсуждения затронутых вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Физматгиз. М., 1963, § 24.
2. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. "Мир", М., 1974, задача 40.
3. Luschnikov V.I. Proceedings of the International Conference on the Interactions of Neutrons with Nuclei, July 6-9, 1976, Lowell, USA. ERDA, CONF-760715-81, 1976.
4. Игнатович В.К., Терехов Г.И. ОИЯИ, Р4-9567, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 сентября 1978 года.