

УДК 539.125.5 + 539.12.12

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НЕЙТРОНА
ПРИ ПОМОЩИ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВЮ. В. Борисов*, Н. В. Боровикова*, А. В. Васильев*,
Л. А. Григорьева*, С. Н. Иванов*, Н. Т. Кашукеев**,
В. В. Несвижевский*, А. П. Серебров*, П. С. Яйджиев

Сообщается об эксперименте, выполненном совместно ОИЯИ-ЛИЯФ на реакторе ВВР-М. Впервые для измерения электрического заряда нейтрона были использованы УХН. С этой целью создана оригинальная нейтронно-оптическая установка, в которой измеряется величина смещения пучка УХН под действием электрического поля. В установке использован дифференциальный метод измерений, обеспечивающий контроль систематических эффектов. Пробная серия измерений, проведенная в течение трех суток набора статистики, позволила получить результат для $q_n = (4,3 \pm 7,1) \cdot 10^{-20} q_e$.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Investigation of the Possibility of Neutron
Electric Charge Measurement by Means
of Ultracold Neutrons

Yu. V. Borisov et al.

The experiment in collaboration between JINR and Leningrad Nuclear Physics Institut at the nuclear reactor WWP-M is reported. Measurement of the neutron electric charge for the first time by means of ultracold neutrons is described. For this purpose a new experimental device to measure the shift of the neutron beam affected by the electric field has been designed. The differential method of the measurement used in the set-up provides the check of a number of systematic effects. The trial measurement run, carried out during 3 days permitted to obtain for $q_n = (4.3 \pm 7.1) \cdot 10^{-20} q_e$.

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

* Ленинградский институт ядерной физики АН СССР

** Институт ядерных исследований и ядерной энергетики

Возможность существования у нейтрона электрического заряда рассматривалась в работах ^{/1-4/}. В некоторых работах ^{/3,4/} указывались конкретные величины 10^{-18} и $10^{-19} q_e$, где q_e - заряд электрона. К настоящему моменту осуществлено несколько прямых нейтронно-оптических экспериментов, измеряющих величину отклонения нейтронного пучка в электрическом поле ^{/5-7/}. Поскольку чувствительность такого эксперимента сильно зависит от времени прохождения нейтрона через электрическое поле, переход к нейтронам с низкими энергиями дает ощутимый выигрыш. Измеряя заряд при помощи двойного кристаллического спектрометра на тепловых нейтронах ($\lambda = 2,4 \text{ \AA}$, $v = 1820 \text{ м/с}$), авторы работы ^{/6/} получили результат $q_n = (-1,9 \pm 3,7) \cdot 10^{-18} q_e$. Используя линзу для фокусировки холодных нейтронов ($\lambda = 20 \text{ \AA}$, $v = 200 \text{ м/с}$), в Гренобле /Франция/ ^{/7/} получили $q_n = (1,5 \pm 1,4) \cdot 10^{-20} q_e$. В этих опытах одномерное нейтронно-оптическое изображение получалось при помощи элементов, пропускание которых зависело от длины волны нейтронов λ /монокристалл, линза/. Кроме того, применялась однощелевая система регистрации.

Ниже описан результат эксперимента, в котором впервые для фокусировки ультрахолодных нейтронов ($v \leq 7 \text{ м/с}$, $\lambda \geq 600 \text{ \AA}$) применялись вертикальное цилиндрическое зеркало и многощелевая дифференциальная система.

Принцип работы установки был продемонстрирован ^{/8/} на жидководородном источнике ультрахолодных нейтронов на реакторе ВВР-М в ЛИЯФ. Недавний ввод в строй нового, высокоинтенсивного источника ^{/9/} ультрахолодных нейтронов /УХН/ в ЛИЯФ дал возможность продемонстрировать работу нового варианта установки и произвести первые измерения электрического заряда нейтрона с УХН. Подробное описание установки опубликовано в работе ^{/11/}.

Схема установки показана на рис. 1. Оптическая часть состоит из двух плоскопараллельных зеркал размерами $1055 \times 100 \times 12 \text{ мм}$, вертикального цилиндрического

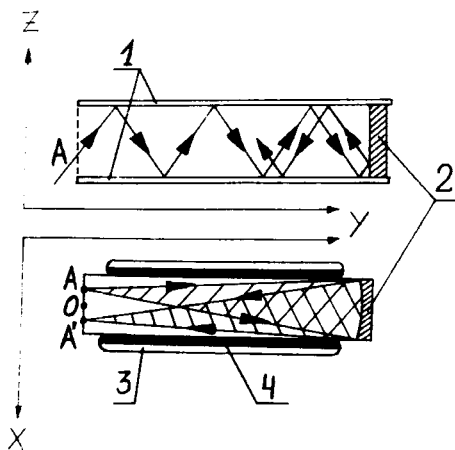


Рис. 1. Принцип действия и схема установки: 1 - горизонтальные плоские зеркала, 2 - вертикальное цилиндрическое зеркало, 3 - электроды для высокого напряжения из нержавеющей стали, 4 - титановые вкладыши.

кого зеркала с радиусом кривизны 1044 мм, входной и выходной решеток. На плоскопараллельные зеркала напылен слой BeO толщиной 2000 Å с граничной скоростью для нейтронов около 7 м/с. На цилиндрическое зеркало напылен слой $^{58}\text{Ni} - \text{Mo}$ толщиной 2000 Å с граничной скоростью около 8 м/с. Высота цилиндрического зеркала равна расстоянию между горизонтальными зеркалами - 50 мм. Входная решетка состоит из двадцати щелей $0,7 \times 50$ мм, а размер выходных щелей - $0,7 \times 25$ мм, выходная решетка разделена по вертикали на две части. Нейтрон, прошедший через входную решетку в точке А, отражается от горизонтальных зеркал, от цилиндрического зеркала, и попадает на выходную решетку в точку А'. Таким образом, все нейтроны, вылетающие из точки А, цилиндрическое зеркало фокусирует в точке А'. Нейтроны, прошедшие через обе части выходной решетки, регистрируются отдельно - по двум каналам N_1 и N_2 . Щели двух частей выходной решетки сдвинуты одна относительно другой так, что при перемещении решетки по оси X получается изменение счета в каналах N_1 и N_2 , показанное на рис. 2. Плотность потока УХН на входную решетку - $6 \cdot 10^3$ нейтр./см².с. Таким образом, если решетка находится в рабочей точке А, то при сдвиге нейтронно-оптического изображения под действием электрического поля произойдет изменение счета в каналах N_1 и N_2 - ΔN_1 и ΔN_2 и, так как производные dN/dx имеют разный знак, реализуется дифференциальная система измерений. Сумма ΔN_1 и ΔN_2 дает информацию о величине электрического заряда нейтрона, а разность дает возможность выделить изменения скорости счета нейтронов, скоррелированные с переключением полярности электрического поля. Вычисление величины этого ложного эффекта позволяет контролировать возможные систематические эффекты. Электрическое поле подключается при помощи электродов из нержавеющей стали. В них вставлены вкладыши из Ti, так что УХН, попадающие на вкладыши, поглощаются и не создают фона.

Нужно отметить значительное изменение чувствительности установки при изменении горизонтальности. При накло-

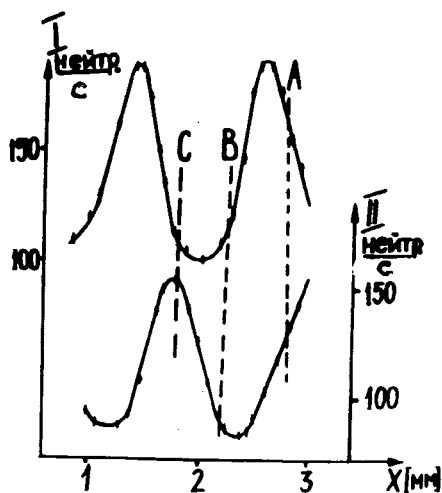


Рис. 2. Изменение счета по каналам N_1 и N_2 при перемещении дифференциальной решетки по оси X.

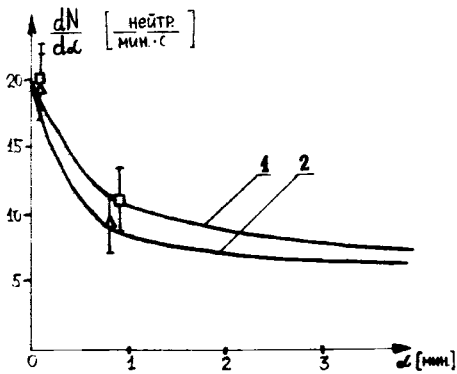


Рис. 3. Изменение чувствительности установки dN/da при изменении наклона: 1, 2 – расчетные кривые для левого и правого склонов пика; \square , Δ – экспериментальные точки.

не всей установки на угол α , под действием ускорения $g \sin \alpha$, где g – ускорение силы тяжести, происходит смещение нейтронов по оси X . В соответствии

с этим меняется счет в обоих каналах в рабочей точке А. Этот эффект был использован для калибровки чувствительности установки в гравитационном поле Земли. Так как через установку проходят немонахроматические нейтроны, то существует дисперсия смещений, поэтому чувствительность установки зависит от величины α . Расчетные кривые в предположении максвелловского спектра нейтронов и экспериментальные точки для двух углов наклона показаны на рис. 3.

Измерение электрического заряда нейтрона проводилось при напряженности электрического поля $E = +9$ кВ/см, переключение полярности поля осуществлялось через каждые 50 с. За время τ статистическая ошибка при измерении заряда определялась как

$$\Delta q_n = \frac{mgf(\alpha)}{2E} \left[\frac{\sqrt{2N_1/\tau}}{dN_1/d\alpha} + \frac{\sqrt{2N_2/\tau}}{dN_2/d\alpha} \right],$$

где m – масса нейтрона, $f(\alpha)$ – сложная функция угла наклона α , $f(\alpha) = 1$ при α близко к нулю. На начальном этапе измерений был выявлен значительный систематический эффект, связанный с поведением оптических элементов в высоковольтном поле. Эффект был подавлен путем более жесткого крепления цилиндрического зеркала и дифференциальной решетки. С учетом того, что горизонтальность установки поддерживалась с точностью ± 1 мин, за время $\tau = 2,2 \cdot 10^5$ с был получен результат

$$q_n = (4,3 \pm 7,1) \cdot 10^{-20} q_e.$$

На рис. 4 показаны величины измеренного заряда нейтрона в 30 сериях измерений. Каждая серия включала в себя около 100 циклов измерений.

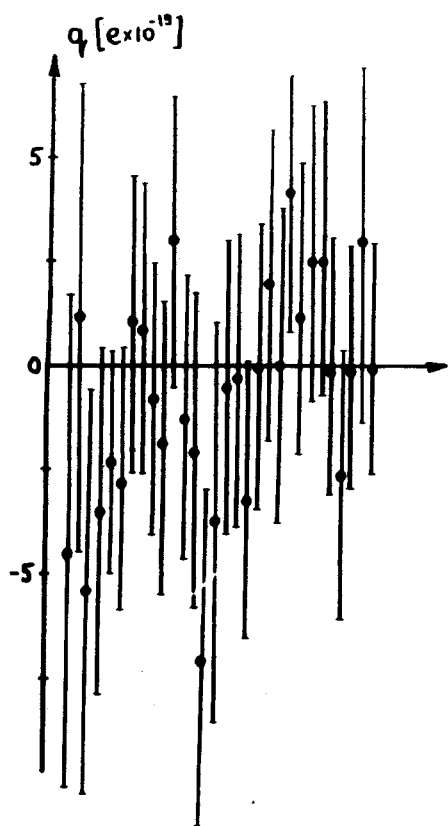


Рис. 4. Величина электрического заряда нейтрона в каждой серии.

Дальнейшее развитие экспериментальной методики потребует увеличения напряженности электрического поля, устранения оптических aberrаций путем повышения точности изготовления оптических элементов и введения тщательного контроля за горизонтальностью установки.

Авторы благодарны академику И.М.Франку, члену-корреспонденту АН СССР В.М.Лобашеву, доктору физико-математических наук В.И.Луцикову за поддержку и постоянное внимание к работе, А.В.Стрелкову - за предоставление детекторов УХН, О.Л.Ореловичу за изготовление электронно-микроскопических фотографий зеркальных поверхностей.

Литература

1. Feiberg G., Goldhaber M. Proc.Nat.Acad.Sci., USA, 1959, 45, 1301.
2. Glashow S.L. In.: "Neutrino - 79", Proceedings of the International Conference on Neutrinos, Weak Interactions and Cosmology, Bergen, Norway, 1979, edited by A.Naafuft, G.Jarskog (University of Bergen, Bergen, 1980), 1980, Vol.1, p.518.
3. Chambers L.G. Nature, 1961, 191, 1082.
4. Beiley V.A. J.Proc.R.Soc.N.S.W., 1960, 94, 77.
5. Шапиро И.С., Эстулин И.В. ЖЭТФ, 1956, 30, 579.
6. Shull C.G., Billman K.W., Wedgwood F.A. Phys.Rev., 1967, 153, 5, p.1415.
7. Gahler R., Kalus J., Mampe W. Phys.Rev.D, 1982, 25, 11, p.2887.
8. Калчев С.Д., Кашукеев Н.Т., Серебров А.П., Яйджиев П.С. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №3-84, Дубна, ОИЯИ, 1984, с.33.

9. Алтарев И.С. и др. Письма в ЖЭТФ, т.44, вып.6, с.269-272.
10. Борисов Ю.В., Иванов С.Н. Авторское свидетельство № 944021, /СССР/. Оpubл. в ОИПОТЗ, 1982, № 26, с.273.
11. Борисов Ю.В. и др. Препринт ЛИЯФ № 1249, Л., 1987.

Рукопись поступила 31 декабря 1986 года.