

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

3641/83

P3-83-182

18/783

Д.А.Корнеев, А.В.Петренко

**ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЗНАКА  
ГИРОМАГНИТНОГО ОТНОШЕНИЯ НЕЙТРОНА**

Направлено в "Журнал технической физики"

**1983**

## ВВЕДЕНИЕ

Способ резонансного вращения вектора спина нейтрона при прохождении последнего через пространственно-периодическое знакопеременное магнитное поле был предложен Корниловым в 1955 г.<sup>1/</sup>. Суть метода состоит в том, что на пути пучка поляризованных нейтронов, движущихся в однородном магнитном поле  $\vec{H}_0$ , создают дополнительное пространственно-периодическое знакопеременное поле  $\vec{H}_1(x)$  так, что  $\vec{H}_1 \perp \vec{H}_0$ . При движении в стационарном пространственно-периодическом поле  $\vec{H}_1(x)$  на нейтрон в его собственной системе координат действует знакопеременное /осциллирующее/ во времени поле  $H_1(t)$ . Результат воздействия на спин нейтрона такой системы магнитных полей /постоянного поля  $H_0$  и переменного поля  $H_1(t)$ / хорошо известен /см., например, <sup>2/</sup>/: возникает резонансное изменение ориентации вектора поляризации  $P$  относительно вектора ведущего магнитного поля  $H_0$ . Резонансным этот процесс называют потому, что вращение вектора  $P$  возникает только для значений частоты осцилляций  $\omega$  поля  $H_1(t)$ , близких к ларморовской частоте прецессии спина нейтрона в поле  $H_0$ :  $\omega_L = |\gamma| \cdot H_0$ , где  $|\gamma| = 1,8324 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{Гс} \cdot \text{с}}$  - модуль гиромагнитного отношения нейтрона. Так как в данном случае  $\omega = \omega(v)$  /где  $v$  - скорость нейтрона/, то условие  $\omega(v) = \omega_L$  строго связывает значение периода  $2a$  пространственных осцилляций поля  $H_1(x)$  со скоростью нейтронов  $v$ , при которой вероятность переворота вектора  $P$  максимальна  $/v_R = \frac{|\gamma| \cdot H_0}{\pi} \cdot a^{3/}$ . Устройство, позволяющее реализовать описанный способ вращения спина нейтронов, известно в литературе как "гребенка Драбкина"<sup>3/</sup>. В настоящей работе описано новое устройство /резонатор/, принципиальное отличие которого от рассмотренных в работах <sup>4,5/</sup> заключается в том, что оно создает не осциллирующее, а вращающееся в системе координат нейтрона магнитное поле. Эта характерная для нашего устройства особенность поля  $H_1(x)$  позволила провести простой и наглядный эксперимент по определению знака гиромагнитного отношения нейтрона  $\gamma_n$ .

## ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА РЕЗОНАТОРА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Резонатор, создающий стационарное пространственно-вращающееся поле, состоял в нашем случае из последовательности электромагнитных катушек прямоугольного сечения, размещенных друг относи-

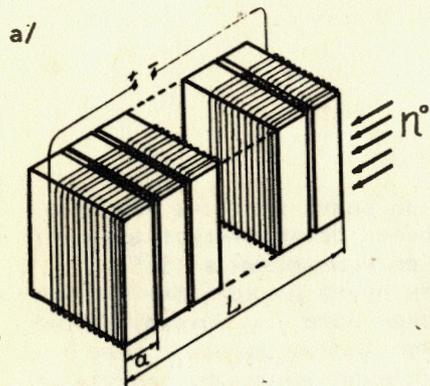


Рис.1. а/Общий вид резонатора. Параметры резонатора: длина  $L = 21$  см; ширина одной катушки  $a \approx 1,1$  см; высота  $h \approx 7,0$  см; число катушек  $n = 19$ ; диаметр провода  $d = 0,7$  мм. б/Картина поля, создаваемого резонатором в горизонтальной плоскости.

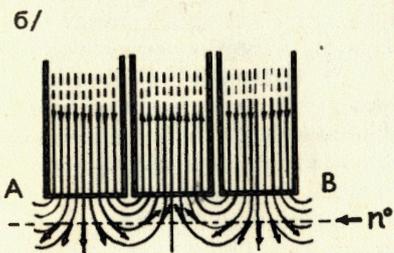
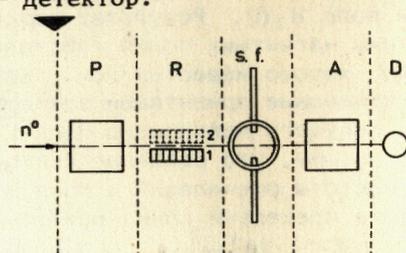


Рис.2. Общая схема установки. Обозначено: P - поляризатор, R - резонатор, s.f. - спин-флиппер, A - анализатор поляризации, D - детектор.



тельно друга так, как показано на рис.1а. Резонатор помещался на канале тепловых поляризованных нейтронов реактора ИБР-30<sup>18/8/</sup> так, что плоскость торцов катушек была параллельна плоскости пучка и находилась на расстоянии 3,5 мм от нее. Поперечное сечение пучка -  $2,5 \times 30$  мм<sup>2</sup>. Ведущее поле в области резонатора  $H_0 \approx 43$  Э, среднее по ширине пучка значение напряженности поля катушек  $H_1 \approx 2,8$  Э. Схема установки показана на рис.2 /более подробно см. <sup>18/1/</sup>. В качестве поляризатора (P) и анализатора /A/ /см. рис.2/ использовались поляризующие зеркальные нейтронводы. Резонатор R располагался на расстоянии 0,3 м от поляризатора. За резонатором на расстоянии 0,3 м от него устанавливался спин-флиппер (s.f.) /см. <sup>18/1/</sup>, позволяющий менять знак поляризации пучка на входе в анализатор. На выходе из анализатора ставился детектор /Д/. Измерения велись по методу времени пролета. Пролетная база до детектора составляла 65 м.

Механизм возникновения вращающегося в системе координат движущегося нейтрона магнитного поля  $\vec{H}_1(t)$  достаточно прост. Он поясняется рисунком 1б. Катушки резонатора включены последовательно таким образом, что поля внутри соседних катушек направлены противоположно друг другу. В результате пространственная

картина силовых линий магнитного поля на торцах такова, что в системе координат нейтрона, движущегося поперек осей катушек на некотором расстоянии от их торцов, вектор магнитного поля  $\vec{H}_1$  вращается с угловой скоростью

$$\omega = \frac{\pi}{a} \cdot v \quad /1/$$

/где  $v$  - скорость нейтрона,  $2a$  - пространственный период поля  $H_1(x)$ /.

Формула /1/ записывается в виде

$$\omega = 1,243 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{a \cdot \lambda} \quad /2/$$

/где частота  $\omega$  измеряется в рад/с, полупериод  $a$  - в см, длина волны нейтрона  $\lambda$  - в Å/.

Отсюда следует, что частоты вращения вектора  $\vec{H}_1$  при значениях  $a \approx 1$  см для тепловых нейтронов лежат в области  $1 \div 0,2$  МГц. Это определило в нашем случае значение параметра  $a$  резонатора, т.к. спин нейтронов прецессирует с такими частотами в магнитных полях  $\sim 10 \div 50$  Э, создание которых не представляет трудностей.

Отметим важную особенность описанного резонатора: направление вращения вектора  $\vec{H}_1$  в системе координат нейтрона зависит от направления его движения относительно резонатора. Легко убедиться /см. рис.1б/, что при относительном движении нейтрона от точки А к точке В на него действует правовращающееся поле  $\vec{H}_1$  и наоборот. Отметим, что направление вращения вектора  $\vec{H}_1$  не зависит от изменения направления протекающего в резонаторе тока.

В эксперименте определялась спектральная зависимость вероятности переворота спина нейтронов резонатором при двух положениях резонатора относительно пучка нейтронов. Положение 1 /рис.2/ обеспечивало в лабораторной системе координат левовращающееся, а положение 2 /рис.2/ - правовращающееся поле  $\vec{H}_1$ . Измерялись спектры нейтронов для двух положений резонатора при включенном спин-флиппере.

На рис.3 приведены спектры для левовращающегося поля  $\vec{H}_1$  /резонатор находится в положении 1/, а на рис.4 - те же спектры, снятые при правовращающемся поле  $\vec{H}_1$  /резонатор находится в положении 2/. Из рис.3 следует, что включение резонатора, создающего левовращающееся поле  $\vec{H}_1$ , приводит к резонансному возрастанию счета детектора для длин волн нейтронов, близких к 1,4 Å. В то же время включение правовращающегося поля  $\vec{H}_1$  не приводит к заметным изменениям вида спектра /нижние кривые на рис.4 в пределах ошибки совпадают/. Для определения вероятностей реверса спина нейтронов  $f_1(\lambda)$  и  $f_2(\lambda)$  /для положений резонатора 1 и 2 соответственно/ дополнительно снимались спектры при выключенном резонаторе и спин-флиппере /верхние кривые на рис.3 и 4/. Полученные на основании экспериментальных спектров значения функций  $f_1(\lambda)$  и  $f_2(\lambda)$

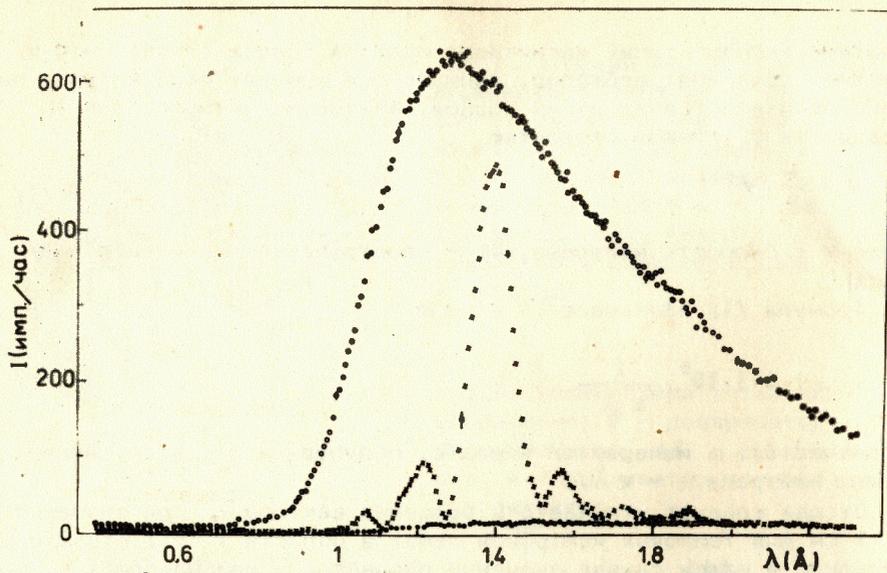


Рис.3. Экспериментальные спектры, снятые для левовращающегося поля  $H_1$  /резонатор находится в положении 1 /рис.2//.  $\circ$  - резонатор и спин-флиппер выключены;  $\times$  - резонатор и спин-флиппер включены;  $\bullet$  - резонатор выключен, спин-флиппер включен.

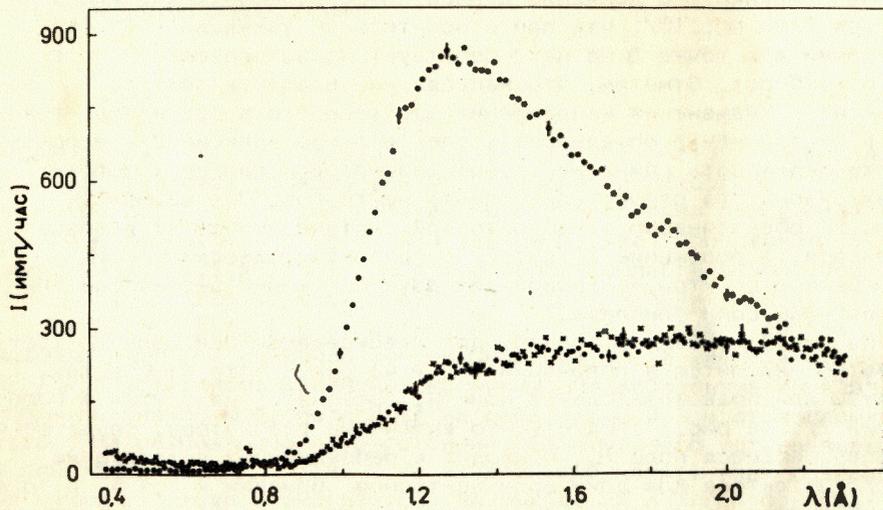


Рис.4. Экспериментальные спектры, снятые для правовращающегося поля /резонатор находится в положении 2 /рис.2//.  $\circ$  - резонатор и спин-флиппер выключены, масштаб 1:1;  $\times$  - резонатор и спин-флиппер включены, масштаб 10:1;  $\bullet$  - резонатор выключен, спин-флиппер включен, масштаб 10:1.

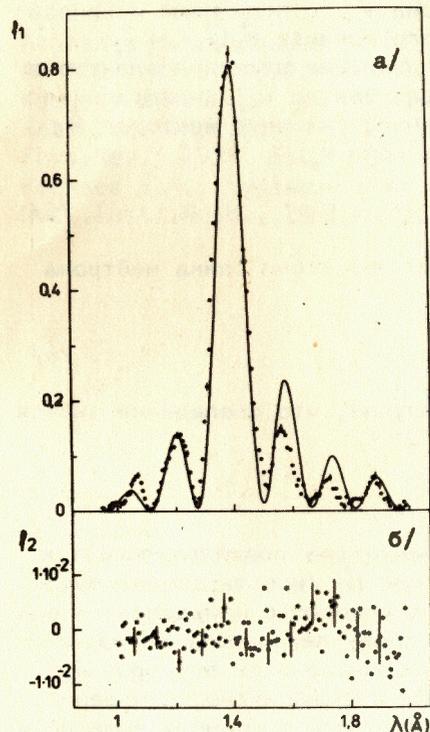


Рис.5. а/Зависимость вероятности реверса спина от длины волны нейтрона для левовращающегося поля  $H_1$ . Точки - экспериментальные значения, сплошная кривая - теоретическая зависимость. б/Экспериментальные значения вероятности реверса спина нейтрона для правовращающегося поля  $H_1$  в зависимости от длины волны нейтрона.

обозначены точками на рис.5а и 5б соответственно. Из рис.5 следует, что при прохождении нейтрона через левовращающееся поле  $H_1$  вероятность  $f$  переворота спина нейтрона велика, в то время как при прохождении нейтрона через правовращающееся поле она равна нулю с точностью до  $5 \cdot 10^{-3}$ .

Экспериментальная зависимость вероятности реверса спина  $f_1(\lambda)$  хорошо описывается формулой, которую легко получить подстановкой значений для  $\omega$  из /2/ в формулу Раби /7/ для вероятности реверса спина под действием вращающегося магнитного поля:

$$f_1(\lambda) = \frac{H_1^2}{\left(H_0 - \frac{0,674}{a \cdot \lambda}\right)^2 + H_1^2} \cdot \sin^2\left(0,0233 \cdot \lambda \cdot L \cdot \sqrt{\left(H_0 - \frac{0,674}{a \cdot \lambda}\right)^2 + H_1^2}\right), /4/$$

где:  $H_0$  - напряженность ведущего поля в Э;  $H_1$  - амплитуда вращающегося магнитного поля в Э;  $\lambda$  - длина волны нейтрона в Å;  $L$  - длина резонатора в см;  $a$  - полупериод резонатора в см. Сплошная кривая на рис.5а получена усреднением функции /4/ по значениям ведущего поля  $H_0$  от 43 до 44 Э и по значениям поля  $H_1$  от 2,1 до 3,4 Э.

Наблюдаемое расхождение между экспериментальным и теоретическим значением  $f_1(\lambda)$  связано, видимо, с тем, что предположение о равномерности вращения и постоянстве модуля вектора  $H_1$  в нашем случае не совсем верно.

На основании полученных результатов несложно найти знак гиромагнитного отношения нейтронов  $\gamma_n$ , связывающего величину и на-

правление магнитного момента нейтрона  $\vec{\mu}_n$  с величиной и направлением его собственного механического момента  $\vec{s}_n$  ( $\vec{\mu}_n = \gamma \vec{s}_n$ ). Для этого достаточно определить направление вращения электрона в поле  $\vec{H}_0$  под действием силы Лоренца. Вектор  $\vec{\omega}_e$  /циклотронная частота/, характеризующий это вращение, связан с вектором  $\vec{H}_0$  через гиромагнитное отношение электрона  $\gamma_e$ :

$$\vec{\omega}_e = -\gamma_e \vec{H}_0. \quad /5/$$

В том же поле  $\vec{H}_0$  вектор ларморовской прецессии спина нейтрона удовлетворяет равенству

$$\vec{\omega}_n = -\gamma_n \vec{H}_0. \quad /6/$$

Сопоставляя равенства /5/ и /6/, получим, что совпадение знаков  $\gamma_e$  и  $\gamma_n$  должно приводить к условию

$$\vec{\omega}_n \uparrow \vec{\omega}_e. \quad /7/$$

В нашем случае условие /7/ экспериментально подтвердилось, т.к. направление вращения электронов в поле  $\vec{H}_0$  /использовался пучок электронов электронно-лучевой трубки/ совпало с направлением вращения поля  $\vec{H}_1$ , приводящего к резонансному перевороту спина нейтронов. Следовательно, подтвердилась коллинеарность векторов  $\vec{\omega}_n$  и  $\vec{\omega}_e$ , а тем самым и совпадение знаков гиромагнитных отношений нейтрона и электрона. Следует отметить, что описанный выше вариант резонатора в случае его использования в составе монохроматора поляризованных нейтронов имеет некоторое преимущество перед вариантом, предложенным в работе /5/. Преимущество заключается в том, что в нашем случае нейтроны не пересекают токопроводящих плоскостей самого резонатора, т.е. исключаются потери нейтронов за счет поглощения в самом резонаторе. Это, в свою очередь, снимает принципиальные ограничения на степень монохроматизации пучка  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ , т.к. величина  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \sim \frac{1}{n}$ , где  $n$  - число плоскостей резонатора /5/.

В заключение авторы благодарят Х.Ржаны за помощь в измерениях, В.В.Пасюк за полезные советы, а также М.И.Подгорецкого, обратившего наше внимание на работу /1/.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Корнилов С.Г. ЖЭТФ, 1956, 31, вып.3.
2. Абрагам А. Ядерный магнетизм, ИЛ, М., 1963.
3. Драбкин Г.М. ЖЭТФ, 1962, 43, с. 1107.
4. Драбкин Г.М., Трунов В.А., Рунов В.В. ЖЭТФ, 1968, 54, с. 363.

5. Агамалян М.М., Драбкин Г.М., Лебедев В.Т. Препринт ЛИЯФ АН СССР, №318, 1977.
6. Корнеев Д.А. и др. ОИЯИ, РЗ-81-547, Дубна, 1981.
7. Rabi I.I. Phys.Rev., 1937, 51, 8, p. 652, 654; Phys.Rev., 1939, 55, 7, p. 526.
8. Корнеев Д.А., Кудряшов В.А. ОИЯИ, РЗ-80-350, Дубна, 1980; Nucl.Instr.Meth., 1981, 179, p. 509, 513.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 апреля 1983 года.

### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Корнеев Д.А., Петренко А.В. РЗ-83-182  
Об одном способе измерения знака гиромагнитного отношения нейтрона

Описывается эксперимент по определению знака гиромагнитного отношения нейтрона. Использовался эффект резонансного изменения поляризации нейтронов, движущихся через пространственно-периодическое магнитное поле. С помощью простого устройства, состоящего из последовательности электромагнитных катушек, создавалось лево- или правовращающееся в системе координат движущегося нейтрона магнитное поле. Эксперимент осуществлен по методу времени пролета на пучке поляризованных тепловых нейтронов на импульсном реакторе ИБР-30 ОИЯИ.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Korneev D.A., Petrenko A.V. PЗ-83-182  
On One Way of Measuring the Sign of Gyromagnetic Neutron Ratio

The new experimental method of determining the sign of gyromagnetic neutron ratio is described. The effect of the resonant polarization change of the neutron moving through the periodically changing magnetic fields were created in the moving neutron coordinate system with the aid of a simple device consisting of a series of electromagnetic coils. The experiment was performed by the TOF method on a beam of polarized neutrons from the IBR-30 pulsed reactor, JINR.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.