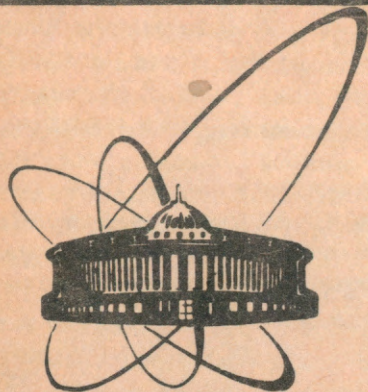


91-202



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P3-91-202

Ю.Н.Покотилловский, И.Г.Шелкова, Г.Элер

РАСЧЕТ ВАРИАНТА "НЕУПРУГОГО"
АДИАБАТИЧЕСКОГО СПИН-ФЛИППЕРА
ДЛЯ ХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

1991

Покотиловский Ю.Н., Шелкова И.Г., Элер Г.

P3-91-202

Расчет варианта "неупругого" адиабатического спин-флиппера для холодных нейтронов

Приведены результаты численных расчетов вероятности переворота спина медленных нейтронов для модели адиабатического спин-флиппера, предназначенного для магниторезонансного замедления нейтронов, распространяющихся по зеркальному нейтронному проводу. Замедляющий элемент основан на использовании постоянных магнитов для создания ведущего магнитного поля. Результаты расчета указывают на принципиальную возможность создания многоэлементной замедляющей системы и численного расчета поведения спина нейтрона в таких устройствах.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991.

Перевод авторов

Pokotilovskij Yu.N., Shelkova I.G., Oehler G.

P3-91-202

Calculation of a Variant of the "Inelastic" Adiabatic Spin-Flipper for Cold Neutrons

The results of numerical calculations of the probability of reverse of a slow neutron spin for the model of the adiabatic spin-flipper are presented. The spin-flipper serves for the magneto-resonance slowing down of neutrons, spreading along a mirror neutron guide. The slowing element uses constant magnets for the creation of the leading magnetic field. The results of the calculation show the principal possibility for the creation of a many-element slowing system and numerical calculation of the behaviour of the neutron spin in such devices.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1991.

1. Г.М.Драбкин и Р.А.Житников^{/1/} предложили в 1960 г. "электромагнитный" метод получения "сверххолодных" нейтронов, основанный на сбросе энергии за счет излучения кванта при прохождении нейтрона через резонансный спин-флиппер с переворотом спина. Переворот спина происходит при выполнении условия резонанса (метод Раби^{/2/}):

$$\omega_1 = \omega_L = \frac{2\mu B_0}{\hbar} = \gamma B_0, \quad (1)$$

$$\mu B_1 t / \hbar = (2n + 1) \pi, \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \quad (2)$$

где B_0 — величина постоянного магнитного поля, μ — магнитный момент нейтрона, ω_1 и B_1 — частота и амплитуда переменного магнитного поля, направленного перпендикулярно B_0 , t — время приложения поля. В данном случае $t = \ell / v$, где ℓ — длина приложенного поля вдоль траектории нейтрона, v — скорость нейтрона. В результате переворота спина нейтрона из состояния, параллельного B_0 , в антипараллельное происходит сброс энергии:

$$\Delta E = 2\mu B_0. \quad (3)$$

Для нейтронов, совершающих обратный переворот, происходит такое же увеличение энергии. В^{/1/} для замедления нейтронов предлагалось использовать последовательность спин-флипперов на пути нейтрона. Работа такого устройства была продемонстрирована в эксперименте^{/3/}.

Как следует из^{/1/} и^{/2/}, метод остро чувствителен к скорости нейтрона и неприменим к широкому спектру. В отличие от него адиабатический высокочастотный спин-флиппер работает в широком диапазоне энергий нейтронов. Он аналогичен предложенному Д.Блохом для ЯМР^{/4/} и для протонов^{/5/} (см. также монографию^{/8/}).

Впервые адиабатический спин-флиппер для нейтронов (ультрахолодных) был применен в^{/7/}, а позже для тепловых в^{/8,9/}.

В работе^{/10/} рассмотрена возможность применения адиабатического спин-флиппера для замедления нейтронов до ультрахолодных, причем предполагалось в промежутках между участками замедления установить зеркала для отражения УХН и направлять их в специальные нейтронные каналы, сводящие затем замедленные нейтроны в один объем. В^{/11/} был

описан иной подход к трансформации спектра нейтронов от импульсных источников. Благодаря тому, что импульсный пучок "расползается" после прохождения определенной длины пролета и в каждый данный момент в данный замедляющий элемент входят нейтроны с определенной скоростью, можно, соответствующим образом расположив замедляющие элементы вдоль нейтронного канала, включать и выключать высокочастотное поле в каждом из них. Надо отметить, что еще в работе^{/1/} была крайне лаконично отмечена эта возможность: "В случае импульсных источников нейтронов торможение можно проводить бегущим магнитным полем".

2. Реактор ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ обладает в настоящее время максимальным интервалом времени между импульсами среди периодических нейтронных источников — 0,2 с и потенциально рекордной интенсивностью холодных нейтронов во время импульса. Это могло бы создать уникальные условия для увеличения интенсивности нейтронов в диапазоне энергий $10^{-7} - 10^{-5}$ эВ за счет магниторезонансного замедления их из диапазона более высоких энергий. Для осуществления процесса замедления необходимо создать систему расположенных определенным образом вдоль зеркального нейтронного канала замедляющих элементов, разделенных устройствами переворота спина относительно ведущего магнитного поля. Как самый первый шаг в этом направлении в настоящей работе приведены результаты расчета замедляющего элемента с использованием постоянных магнитов.

3. Напомним основные черты адиабатического спин-флиппера^{/4,5,7/}. Как известно, высокочастотное магнитное поле

$$\vec{B}_1 = B_1 [\cos(\omega_1 t) \vec{e}_x + \sin(\omega_1 t) \vec{e}_y] \quad (4)$$

уменьшает z-компоненту эффективного магнитного поля во вращающейся системе координат

$$\vec{B}_{\text{eff}} = \vec{B}_0 - \frac{\vec{e}_z}{\gamma} + \vec{B}_1. \quad (5)$$

Изменение частоты ω_L (за счет изменения B_0) относительно ω_1 приводит к повороту \vec{B}_{eff} на 180° . Спин следует за эффективным полем, если выполняется условие адиабатичности

$$\dot{\omega} = \gamma \dot{B}_{\text{eff}} \ll \omega_1^2. \quad (6)$$

Поскольку изменение B_0 в нейтронном флиппере происходит за счет движения нейтрона в магнитном поле, условие адиабатичности имеет вид

$$\gamma \frac{B_1^2}{v_N} / \frac{\partial B_0}{\partial z} = \alpha \gg 1. \quad (7)$$

Вычисления^{10/} показывают, что вероятность поворота спина 99% достигается, если параметр адиабатичности $\alpha \geq 3$. В известных случаях применения адиабатического спин-флиппера для создания магнитного поля \vec{B}_0 используется электромагнит с переменным шагом намотки с полем, параллельным вектору скорости. Переменное магнитное поле при этом направлено перпендикулярно скорости нейтрона. В нашем модельном варианте предлагается для создания \vec{B}_0 использовать постоянные магниты специальной конфигурации, при этом основная компонента \vec{B}_0 направлена перпендикулярно, а осциллирующее поле параллельно скорости нейтронов.

4. Конструкция устройства показана на рис.1. Постоянный магнит состоит из больших пластин 1 размером 1x6x14 см и дополнительных брусков 2 размером 0,5x1x14 см. Нейтроновод 3 с внутренним сечением 2x8 см охватывается высокочастотной катушкой 4 с внутренним сечением 3x9 см, состоящей из двух участков с противоположным направ-

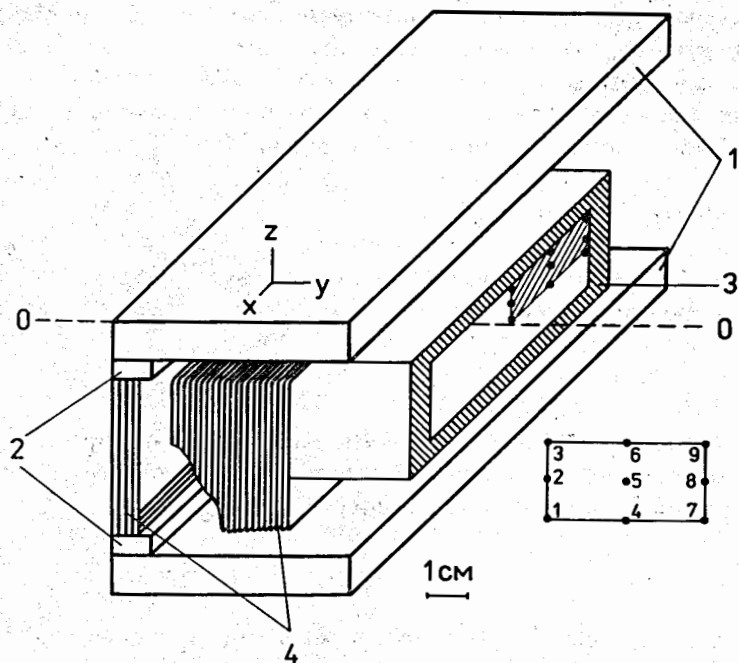


Рис.1. Конструкция спин-флиппера (обозначения в тексте).

лением тока (количество витков 15 и 32, ток 0,30 А). Это сделано для уменьшения величины высокочастотного поля на входном участке траектории нейтрона с целью уменьшения вероятности переворота спина нейтрона на этом участке. Все приведенные численные параметры получены путем подгонки по критерию максимальной вероятности переворота спина нейтрона по площади нейтроновода. Расчеты проводились для энергии нейтрона $2 \cdot 10^{-4}$ эВ ($v_N = 200 \text{ мс}^{-1}$).

5. Для расчета поведения спина нейтрона при прохождении его через спин-флиппер использовалась программа SPIRO^{12'}. Компоненты магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом, вычислялись согласно формулам, полученным в работе^{13'}. Ввиду громоздкости выражений, приведенных в этой работе, они здесь не приводятся. Магниты предполагались намагниченными до насыщения ($B = 4 \pi M = 2 \cdot 10^4$ Гс). Компоненты осциллирующего поля вычислялись путем суммирования полей от элементов проводников с током. Ввиду центральной симметрии было рассчитано поведение спина для 9 траекторий в одном из 4 прямоугольников, на которые можно разделить сечение нейтроновода (рис.1). На рис.2 показаны величины постоянного магнитного поля вдоль некоторых траекторий и двух наибольших компонент амплитуд осциллирующего поля для траектории 5. Частота осциллирующего поля подбиралась

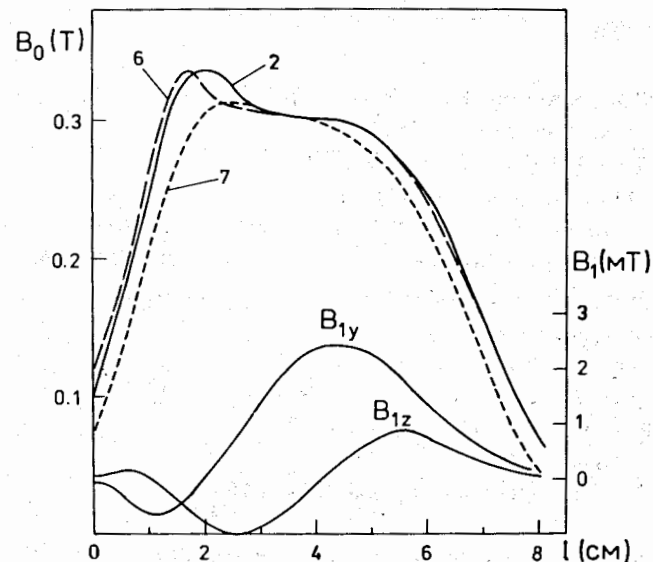


Рис.2. Величина постоянного магнитного поля B_0 для некоторых траекторий нейтрона и переменного поля B_1 для траектории 5.

из условия резонанса для участков траектории нейтрона с наименьшим градиентом магнитного поля, чтобы наилучшим образом выполнялось условие адиабатичности (7) (координаты траектории вблизи 4 см, рис.2).

Рассчитанные вероятности переворота спина приведены в таблице.

Таблица

Номер траектории	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вероятность переворота спина	0,99	0,98	0,96	0,99	0,985	0,97	0,975	0,97	0,96

Из указанных результатов следует, что, в принципе, возможно построение многоэлементной системы замедляющих устройств на основе постоянных магнитов и проведение численного расчета поведения спина в таких устройствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драбкин Г.М., Житников Р.А. — ЖЭТФ, 1960, 38, с.1013.
2. Rabi I.I. — Phys. Rev., 1937, 51, p.652.
3. Alefeld B. et al. — Z.Phys., 1981, B41, p.231.
4. Bloch F. — Phys. Rev., 1946, 70, (7), p.460.
5. Abraham A., Winter J.M. — Phys. Rev. Lett., 1954, 1, (10), p.374.
6. Абрагам А. — Ядерный магнетизм. Перевод с англ., М.: ИЛЛ, 1963.
7. Лобашев В.М. и др. — Препринт ЛИЯФ, № 37, Л., 1973.
Егоров А.И. и др. — ЯФ, 1974, 19, с.300.
8. Коломенский Э.А. и др. — ЯФ, 1977, 25, с.233.
9. Weinfürhter H., Badurek G. — Nucl. Instr. Meth., 1989, A275, p.233.
10. Таран Ю.В. — ОИЯИ, P3-8577, Дубна, 1977.
11. Rauch H. — Physica, 1983, 120B, p.71.
12. Элер Г., Элер И. — ОИЯИ, P3-87-289, Дубна, 1987.
13. Дацилов В.И., Савченко О.В. — ПТЭ, 1959, № 3, с.17.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 апреля 1991 года.