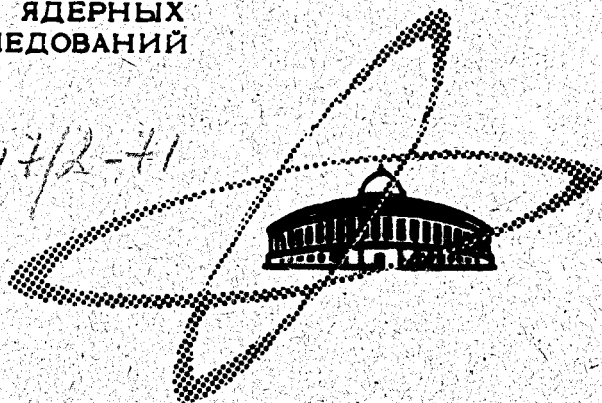


M-345

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

747/2-71



P3 - 5537

И. М. Матора

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

НЕЙТРОНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
МАГНИТНОГО ШЕСТИПОЛЮСНИКА
С УЧЕТОМ ГРАВИТАЦИИ

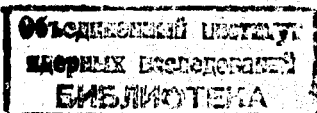
1970

РЗ - 5537

И.М. Матора

НЕЙТРОНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
МАГНИТНОГО ШЕСТИПОЛЮСНИКА
С УЧЕТОМ ГРАВИТАЦИИ

Направлено в АЭ



Известно ^{/1/}, что если магнитное поле \bar{H} имеет величину градиента $G = G_{\text{экв}} = 170 \text{ э/см}$ и \bar{G} вертикален, то в этих условиях притяжение к Земле вблизи ее поверхности для половины введенных в такое поле неполяризованных нейтронов будет уравновешено за счёт неоднородности магнитного поля. Другая половина введенных нейтронов будет притягиваться к Земле как бы удвоенной силой тяжести.

Величина $G_{\text{экв}}$ составляет заметную величину даже по сравнению с максимально достижимыми теперь значениями G . Ввиду этого эффект гравитации следует учитывать при отклонении, фокусировке, поляризации и монохроматизации нейтронов с помощью сектора магнитного шестиполюсника ^{/1/}.

Выражение потенциальной энергии U нейтрона в поле магнитного шестиполюсника $U = +\Lambda \mu (x^2 + y^2)$ (обозначения ^{/1/}, $\Lambda > 0$) остается инвариантным при повороте осей $0'x$ и $0'y$ относительно оси симметрии шестиполюсника $0'z$. Поэтому, не нарушив общности рассмотрения, на рис. 1 мы направили ось $0'x$ горизонтально, а ось $0'y$ - вертикально.

Тогда с учётом гравитации уравнения параксиального поперечного движения фокусируемых нейтронов будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_x}{dt} &= -2A\mu x, \\ \frac{dP_y}{dt} &= -2A\mu y - mg \end{aligned} \right\} \text{или} \left. \begin{aligned} x'' + k^2 x &= 0 \\ y'' + k^2 y + \frac{mg}{2W} &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

где $k^2 = \frac{A\mu}{W}$, m - масса нейтрона, W - его энергия, штрих обозначает дифференцирование по Z .

Замена переменных в (1)

$$\left. \begin{aligned} X &= x \\ Y &= y + \frac{mg}{2A\mu} \end{aligned} \right\} (2)$$

приводит (1) к виду

$$\left. \begin{aligned} X'' + k^2 X &= 0 \\ Y'' + k^2 Y &= 0 \end{aligned} \right\} (1')$$

Из (1), (1') и (2) следует, что прямой горизонтальный магнит сохраняет в однородном поле тяготения Земли прямую оптическую ось, лежащую для фокусируемых нейтронов ниже оси симметрии шестиполюсника на $\frac{mg}{2A\mu}$ см. Легко проверить, что на этой новой (действительной) оптической оси шестиполюсника, а также и на всей горизонтальной плоскости $Y = 0$ проекция вектора градиента \vec{G} на ось Y от величины

вектора \vec{H} напряженности магнитного поля ($H = A(x^2 + y^2)$) равна $G_{\text{экв}}$. Очевидно также, что для дефокусируемых нейтронов аналогичная для этого случая "кажущаяся" оптическая ось (и плоскость) расположена на $\frac{mg}{2A\mu}$ см выше оси симметрии шестиполюсника. По-видимому, единственным неудобством, связанным с вертикальным смещением оптической оси за счёт гравитации, является зависимость смещения от величины A (но не от энергии W нейтронов). Дело в том, что очень часто регулирование A будет необходимо (оно выполняется регулированием тока возбуждения в магните), а эта операция потребует добавочных механических регулировок оборудования.

Что касается действия гравитации на траектории частиц вне магнитного поля, то оно не приводит к ухудшению оптических свойств (в частности, разрешения) установок на базе упомянутого магнита, а лишь искривляет геометрические места фокусов и изображений в зависимости от W нейтронов, что следует учитывать в работе.

Пусть расстояние от источника ($Z_0 = 0$) до входа в магнит ($Z_{\text{вх}} = n$) равно n , а от выхода магнита ($Z_{\text{вых}} = n + l$) до фокуса ($Z_f = n + l + f$) равно f . Тогда элементарные выкладки дают:

$$\left. \begin{aligned} Y_{\text{вх}} &= Y_0 + Y_0' n - \frac{mg}{4} \frac{n^2}{W} \\ Y_{\text{вх}}' &= Y_0' - \frac{mg}{2} \frac{n}{W} \end{aligned} \right\} (3)$$

Отсюда видно, что "оптичность" пучка в гравитационном поле не нару-

шается. В самом деле, если источник был точечным ($\Delta Y_0 = 0$, $\Delta Y_0' \neq 0$) то весь набор касательных ко всем траекториям на входе в магнит

$$Y - Y_{\text{вх}} = Y'_{\text{вх}} (Z - n), \quad (4)$$

где Y , Z - текущие координаты касательных, также имеет единственную точку пересечения, а именно $Z = 0$, причём здесь

$$Y|_{Z=0} = Y_0 + \frac{mg}{4} \frac{n^2}{W}, \quad (5)$$

т.е. для расположения этого кажущегося точечного источника на действительной оптической оси магнита следует взять

$$Y_0 = - \frac{mg}{4} \frac{n^2}{W}. \quad (6)$$

Аналогично этому можно показать, что действительное соответствующее положение фокуса определяется

$$Y_f = - \frac{mg}{4} \frac{f^2}{W}. \quad (7)$$

Случай, когда кажущийся источник находится выше или ниже действительной оптической оси, не вызывает затруднения в рассмотрении, и оно может быть сделано с помощью формул, приведенных выше и в /1/.

Приведенные формулы дают возможность эффективно использовать свойства магнитного шестиполосника и для очень медленных ($W \approx 10^{-4} - 10^{-7}$ эв) нейтронов.

Наличие гравитации дает также и некоторые преимущества, к которым следует отнести, во-первых, возможность дополнительного усиления

отклоняющего действия магнита сектора шестиполосника. Полезным является также то, что действительная оптическая ось горизонтального магнита в поле притяжения Земли смещается от оси симметрии шестиполосника, т.е. выходит из неподходящей для использования области, где $H \approx 0$. При этом имеется в виду не изображенный на рис. 1 случай, когда действительная ось смещена не в рабочую область поля магнита, а случай, когда ось симметрии шестиполосника находится сверху, а гиперболический полюс сектора - внизу. Здесь действительная прямая оптическая ось будет находиться уже на любой желаемой высоте над полюсом внутри рабочей области поля магнита. Тем самым возможность переворота спина нейтронов, двигающихся в магните, будет исключена, т.к. из прилежащей к действительной оптической оси рабочей области поля окрестность оси шестиполосника, в которой H близко к нулю, можно исключить.

Автор искренне благодарен Ф.Л. Шапиро за постоянный интерес к работе и поддержку.

Литература

1. И.М. Матора. АЭ, 27, в. 1, 71 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
23 декабря 1970 года.

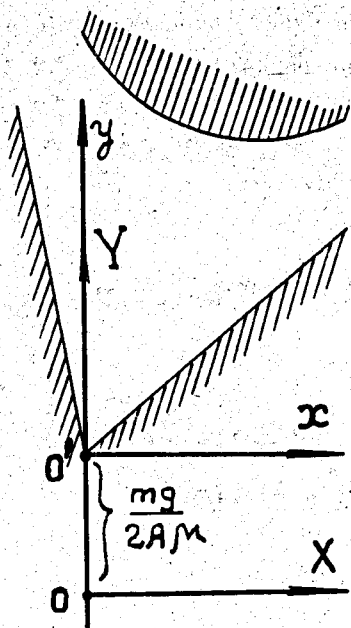


Рис. 1.