

СОЛЕНОИДАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬНЫЙ МОМЕНТ

Л. А. Михаэлян

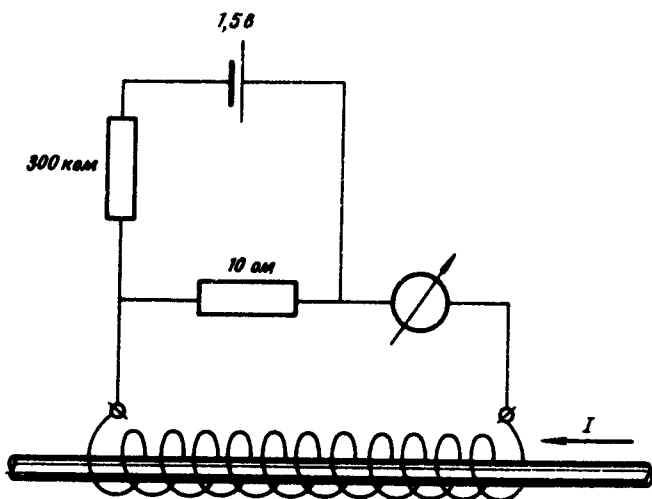
Предложен и осуществлен макроскопический эксперимент по поиску соленоидального электрического момента p_s . Получены следующие ограничения на величину момента: для электрона $p_s < 5 \cdot 10^{-27}$ е.с.м., для ядра $Fe^{57} p_s < 2 \cdot 10^{-22}$ е.с.м.

Под соленоидальным ЭДМ p_s мы понимаем момент, создающий постоянное во времени вихревое электрическое поле e , силовые линии которого замкнуты, наподобие того, как замкнуты линии поля b , создаваемого магнитным дипольным моментом \vec{p} . Точнее: частица обладает моментом p_s , если поле e с точностью до множителя совпадает с полем b магнитного момента \vec{p} . Вихревое поле e могло бы создаваться, например, круговыми токами магнитных полюсов (монополей).

Если в макроскопическом образце имеются ориентированные моменты p_s , так что соленоидальный момент единицы объема \mathcal{P}_s отличен от нуля, то должно возникнуть макроскопическое электрическое поле E_s , циркуляция которого по замкнутому контуру (ЭДС) отлична от нуля. Действительно, из сказанного выше непосредственно следует, что макроскопические уравнения для рассматриваемого случая с точностью до обозначений совпадают с уравнениями магнитостатики (в отсутствии токов проводимости):

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} E_s &= 4\pi \operatorname{rot} \mathcal{P}_s, & \oint E_s \, dr &= \oint 4\pi \mathcal{P}_s \, dr, \\ \operatorname{rot} B &= 4\pi \operatorname{rot} M, & \oint B \, dr &= \oint 4\pi M \, dr. \end{aligned} \quad (1)$$

Ниже описана попытка наблюсти соленоидальный ЭДМ электрона в макроскопическом эксперименте. В основе постановки эксперимента лежит предположение о том, что моменты p_s и μ электрона жестко связаны между собой и с направлением его спина. Путем намагничивания образца железа создавалась макроскопическая ориентация моментов μ магнитных электронов атомов железа и тем самым ориентация моментов p_s этих электронов.



Электрический контур для измерения ЭДС (см. рисунок) состоял из тонкого железного провода длиной $l = 7 \cdot 10^4$ см и сопротивлением 635 ом, навитого в катушку, и прибора постоянного тока. Проволока намагничивалась полем прямого тока, проходившего по оси катушки. Для удобства, контур включал в себя также участок $r = 10$ ом, на котором задавалось падение напряжения $\pm 50 \cdot 10^{-6}$ в. Подчеркнем, что соображение о возникновении ЭДС при намагничивании железа основаны только на сделанном выше предположении о жесткой корреляции направлений p_s и \vec{r} и принципе суперпозиции. Действительно, если каждый электрон наряду с соленоидальным полем \mathbf{b} магнитного момента создает

соленоидальное электрическое поле \mathbf{e} , то $\mathbf{e} = -\frac{p_s}{\mu_B} \mathbf{b}$, где μ_B — электрон-

ный магнетон Бора. Макроскопическое поле E_s , равное усредненной сумме индивидуальных полей \mathbf{e} , удовлетворяет следующим условиям:

$$\oint \mathbf{E}_s \cdot d\mathbf{r} = \oint \Sigma \mathbf{e} \cdot d\mathbf{r} = \frac{p_s}{\mu_B} \oint \mathbf{b} \cdot d\mathbf{r} = \frac{p_s}{\mu_B} 4\pi \oint \mathbf{M} \cdot d\mathbf{r} = \frac{p_s}{\mu_B} Bl, \quad (2)$$

т. е. электродвижущая сила с коэффициентом $4\pi(p_s/\mu_B)$ равна циркуляции намагниченности образца (предполагается что вся намагниченность железа спинового происхождения).

В проделанном опыте при намагничении железа до $4\pi M = \pm 10^4$ установлен верхний предел для электродвижущей силы: $\oint \mathbf{E}_s \cdot d\mathbf{r} < 10^{-6}$ в = $3,3 \cdot 10^{-9}$ CGSE. Отсутствие ЭДС на этом уровне позволяет с учетом

(2) сделать оценку соленоидального момента электрона; с помощью очевидных соотношений получается также оценка для ядра Fe^{57} .

$$\text{электрон } p_s < 5 \cdot 10^{-29} \text{ е.см.},$$

$$\text{Fe}^{57} \quad p_s < 2 \cdot 10^{-21} \text{ е.см.}$$

Низкая чувствительность к моменту Fe^{57} определяется тем, что ядерная поляризация в условиях эксперимента (комнатная температура, естественная смесь изотопов) была весьма мала.

В выражение (2) и в оценку p_s должна быть внесена поправка, связанная со следующим. Реально соленоидальный характер поля e , проявляется только в области непосредственного контакта электрона проводимости и момента p_s . Грубый учет кулоновского отталкивания электрона проводимости и магнитного электрона железа ухудшает оценку момента электрона приблизительно на два порядка величины, а притяжение электрона проводимости к ядру улучшает оценку момента ядра приблизительно на порядок величины. В результате возникают следующие оценки:

$$\text{электрон } p_s < 5 \cdot 10^{-27} \text{ е.см.}$$

$$\text{Fe}^{57} \quad p_s < 2 \cdot 10^{-22} \text{ е.см}$$

Отметим, что корреляция электрического дипольного момента со спином частицы возможна только при несохранении P - и T -четности. Полученное в настоящей работе экспериментальное ограничение на момент электрона приблизительно на три порядка величины лучше, чем в [1]. Теоретические оценки максимально допустимой величины момента могут быть выполнены методами, аналогичными [2].

Автор благодарен Ю.Моргунову и Л.Воронину за помощь, Д.Е.Гречухину, И.И.Гуревичу, Л.А.Максимову, В.П.Мартемьянову, М.Ж.Шматикову и С.А.Фаянсу за интерес к работе. Автор в особенности благодарит В.М.Галицкого и М.А.Леонтовича за подробные обсуждения принципиальных вопросов и постановки опыта.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
22 января 1975 г.

Литература

- [1] I.K.P.Angel, G.H.Sandars, M.H.Tinker. Phys. Lett., A25, 160, 1967.
[2] L.Wolfeinstein. Nucl. Phys. B77, 375, 1974.