

К ВОПРОСУ О ВРАЩЕНИИ
ПЛОСКОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ γ -КВАНТОВ
В НАМАГНИЧЕННОМ ФЕРРОМАГНЕТИКЕ

В. Г. Барышевский¹⁾, О. В. Думбрайс, В. Л. Любошиц

Недавно в "Письмах в ЖЭТФ" была опубликована статья Лобашова и др. [1], в которой сообщаются результаты экспериментального исследования явления вращения плоскости линейной поляризации γ -квантов с энергиями 230 и 290 кэв в намагниченном железе. Аналогичные эксперименты при энергиях 230 и 330 кэв описаны в работе Бока и Лукша [2]²⁾. Эффект вращения плоскости поляризации γ -квантов в поляризованной электронной мишени, обнаруженный авторами [1] и [2], был теоретически рассмотрен несколько лет тому назад в работах Барышевского и Любошица [3, 4]. В этих работах было

¹⁾ Белорусский государственный университет

²⁾ Мы благодарны Г. В. Фролову, любезно ознакомившему нас с препринтом работы [2].

показано, что вращение плоскости поляризации γ -квантов с энергиями несколько сотен килоэлектронвольт — несколько Мегаэлектронвольт полностью определяется вкладом радиационных поправок порядка α^2 — в реальную спиново-зависящую часть амплитуды комптоновского рассеяния "вперед". При вычислении радиационных поправок использовался метод дисперсионных соотношений. В работах [3, 4] был указан порядок величины углов вращения, согласующийся с данными [1, 2].

В связи с последними экспериментами представляет интерес более тщательное сопоставление численных значений углов вращения, следующих из теории [3, 4], с экспериментальными данными и исследование энергетической зависимости обсуждаемого эффекта.

Согласно формулам (8) и (14) работы [3], угол поворота плоскости линейной поляризации фотона на длине x описывается выражением

$$\phi = - N r_0^2 \psi(\kappa) (\mathbf{p} \hat{\mathbf{l}}) x, \quad (1)$$

где \mathbf{p} — вектор поляризации электронов, $\hat{\mathbf{l}}$ — единичный вектор в направлении импульса фотона.

$$\psi(\kappa) = 1 + 4\kappa^2 \left[\frac{\ln 4\kappa^2}{(1 - 4\kappa^2)^2} + \frac{1}{1 - 4\kappa^2} \right] + \rho \int_0^\infty \frac{2y - (1 + y)\ln(1 + 2y)}{y(y^2 - \kappa^2)} dy, \quad (2)$$

N — число электронов в 1 см^3 , $r_0 = \ell^2 / m_0 c^2$ — электромагнитный радиус электрона, $\kappa = E_\gamma / m_e c^2$, E_γ — энергия γ -кванта в лабораторной системе координат¹⁾. Положительный знак угла ϕ отвечает правовинтовому вращению плоскости линейной поляризации γ -кванта (по часовой стрелке, если смотреть вдоль импульса фотона).

С учетом равенства $\rho \int_0^\infty [dy / (y^2 - \kappa^2)] = 0$ выражение (2) можно переписать в виде

$$\psi(\kappa) = \frac{1}{1 - 4\kappa^2} + 4\kappa^2 \frac{\ln 4\kappa^2}{(1 - 4\kappa^2)^2} + \int_0^\infty \left[\frac{(1 + \kappa) \ln(1 + 2\kappa)}{\kappa} - \frac{(1 + y) \ln(1 + 2y)}{y} \right] \frac{dy}{y^2 - \kappa^2}. \quad (3)$$

¹⁾ В статье [4] в формуле (14) для $\psi(\kappa)$ содержатся опечатки, отсутствующие в более ранней публикации [3].

Результаты вычислений функции $\psi(\kappa)$ по формуле (3) для значений κ , равных 0,1 - 4 ($E_\gamma \sim 50 - 2000$ кэв) приведены в таблице

κ	$-\psi(\kappa)$	κ	$-\psi(\kappa)$	κ	$-\psi(\kappa)$	κ	$-\psi(\kappa)$
0,1	0,075	1,1	0,395	2,1	0,365	3,1	0,319
0,2	0,164	1,2	0,395	2,2	0,360	3,2	0,315
0,3	0,234	1,3	0,394	2,3	0,356	3,3	0,311
0,4	0,285	1,4	0,392	2,4	0,351	3,4	0,307
0,5	0,322	1,5	0,390	2,5	0,346	3,5	0,303
0,6	0,349	1,6	0,386	2,6	0,341	3,6	0,299
0,7	0,367	1,7	0,383	2,7	0,337	3,7	0,295
0,8	0,380	1,8	0,378	2,8	0,332	3,8	0,291
0,9	0,388	1,9	0,374	2,9	0,328	3,9	0,287
1,0	0,392	2,0	0,370	3,0	0,323	4,0	0,284

Следует отметить, что эффект вращения плоскости линейной поляризации фотонов характеризуется широким максимумом в районе энергий 500 - 700 кэв ($\max |\psi| = |\psi(1,18)| = 0,3953$). Интересно, что в области максимальных значений углов вращения ϕ спиновозависящая часть полного сечения комптоновского рассеяния близка к нулю.

При дальнейшем увеличении энергии γ -квантов абсолютная величина угла вращения начинает постепенно уменьшаться. В частности $\psi(5) = -0,252$, $\psi(10) = -0,161$, $\psi(100) = -0,023$. Легко показать, что при $\kappa \rightarrow \infty$ справедлива простая асимптотическая формула

$$\psi(\kappa) \approx -p \int_0^{\infty} \frac{\ln y dy}{y^2 - \kappa^2} = -\frac{\pi^2}{4\kappa} \quad (4)$$

Подчеркнем, что расчеты приводят к отрицательным значениям функции $\psi(\kappa)$. Это означает, что в случае, когда направления спинов электронов в ферромагнетике параллельны импульсу фотона (магнитная индукция противоположна по направлению импульсу фотона), должно иметь место правовинтовое вращение плоскости линейной поляризации. Данный вывод согласуется с экспериментальными результатами [2] при энергиях 230 и 330 кэв. Заметим, что в работах [3, 4] по недоразумению, знак функции $\psi(\kappa)$ и, как следствие - направление плоскости поляризации - указаны неверно.

Для намагниченного до насыщения железа степень поляризации электронов $|p| = 2/26 \approx 7,85 \cdot 10^{-2}$. Если принять удельный вес железа равным $7,87$ г/см³, а атомный вес 55,85, расчетная формула для угла поворота плоскости линейной поляризации на 1 см длины в случае, когда спины электронов параллельны импульсу фотона, будет

¹⁾ При энергиях $E_\gamma \gg 1$ Гэв основной вклад в величину ϕ вносят члены порядка $\frac{1}{\alpha^3}$, которые здесь не учитываются.

иметь вид:

$$\phi_0 = - 13,48 \cdot 10^{-3} \psi (\kappa) \text{ рад/см.} \quad (5)$$

При энергиях 230, 290, 330 кэв теоретические значения ϕ_0 равны соответственно $4,12 \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$, $4,61 \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$, $4,83 \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$. Согласно работе [1], при энергиях 230 и 290 кэв значения $|\phi_0|$

равны $(4,25 \pm 0,16) \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$ и $(4,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$. В работе [2] для энергий 230 и 330 кэв получены значения ϕ_0 , равные соответственно $(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$ и $(4,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$.

Следует отметить согласие теории в пределах ошибок с данными Лобашова и др. [1] и с результатом Бока и Лукша [2] при энергии 330 кэв. Максимальное значение угла ϕ_0 для намагниченного до насыщения железа, вычисленное по формуле (5), составляет $5,32 \cdot 10^{-3} \text{ рад/см}$.

Объединенный
институт ядерных исследований

Поступила в редакцию
8 декабря 1971 г.

Литература

- [1] В.М. Лобашов, Л.А. Полеко, Л.М. Смотрицкий, А.П. Серебров, Э.А. Коломенский. Письма в ЖЭТФ, 14, 373, 1971.
- [2] P. Bock, P. Luksch. Lett. Nuovo, Cim., 2, 1081, 1972.
- [3] В.Г. Барышевский, В.Л. Любошиц. Препринт ОИЯИ, Р-1999, Дубна, 1965.
- [4] В.Г. Барышевский, В.Л. Любошиц. ЯФ, 2, 666, 1965.