

ОБ ЭФФЕКТЕ НЕСОХРАНЕНИЯ ЧЕТНОСТИ В АТОМНОМ ВИСМУТЕ

Ю.В.Богданов, И.И.Собельман, В.Н.Сорокин,
И.И.Струк

Сообщаются результаты новых экспериментов по поиску эффекта несохранения четности в атоме Вi. Так же как и в [1], предсказываемый теорией эффект в эксперименте не наблюдается.

В нашей работе [1] сообщалось о результатах эксперимента по поиску оптической активности паров Вi, обусловленной несохраняющим четность слабым взаимодействием атомных электронов с ядром (эффект, предсказываемый моделью слабых взаимодействий Вейнберга - Салама, в дальнейшем эффект PNC). Измерения проводились на компоненте сверхтонкой структуры $F = 6 \rightarrow F = 7$ магнитного дипольного перехода $6P^3, {}^4S_{3/2} - {}^2D_{5/2}$, $\lambda = 648$ нм. В соответствии с [2 - 5]

параметр $R = \text{Im} \frac{E_1}{M_1}$, где E_1 - матричный элемент электрического диполя, возникающего из-за эффекта PNC, M_1 - матричный элемент магнитного диполя, был принят в [1] равным $R_{\text{теор.}} = -18 \cdot 10^{-8}$. Экспериментальное значение, полученное в [1], оказалось равным

$$R_{\text{эксп.}} = (-0,02 \pm 0,1) R_{\text{теор.}} \quad (1)$$

Другие, выполненные ранее, эксперименты по поиску эффекта в атомном висмуте см. [6 - 11].

В настоящей работе излагаются результаты новых экспериментов на том же переходе атома Вi. Измерения проводились по той же методике, что и в [1]. В одном цикле измерялись углы вращения ϕ в трех спектральных точках - максимуме контура поглощения ω_0 и нулях фарадеевского вращения ω_- и ω_+ , которые практически совпадают с максимумом и минимумом кривой $\phi_{\text{PNC}}(\omega)$. Тем самым определяется полный размах эффекта PNC.

Эта величина связана с теоретической характеристикой перехода $R =$

$$= \text{Im} \frac{E_1}{M_1} \text{ соотношением}$$

$$\Delta \phi_{\text{PNC}}^{\text{теор.}} \approx -\kappa LR, \quad (2)$$

где κ - коэффициент поглощения в максимуме, L - длина оптического пути в парах висмута (κL - оптическая толщина). Одна серия измерений так же как и в [1] содержала 50 циклов.

В процессе измерений были приняты меры для высреднения возможных интерференционных эффектов в поляриметре. Все измерения проводились при включенных пьезокерамиках, на которых установлены поляризатор и анализатор, причем их положения модулировались по двум взаимноперпендикулярным направлениям - вдоль светового пучка и перпендикулярно ему. Фарадеевский модулятор был термостатирован. Од-

номодовый световод, обеспечивающий стабильное распределение интенсивности на входе поляриметра, независимое от перераспределения интенсивности в лазерном пучке, был заменен на более длинный (13 м вместо 0,7 м в [1]). Во втором эксперименте (под первым будет подразумеваться эксперимент в [1]) было выполнено четыре серии измерений при $\kappa L = 0,8$; $\Delta\phi_{\text{PNC}}^{\text{теор.}} = 15 \cdot 10^{-8}$ и три серии при $\kappa L = 1,0$; $\Delta\phi_{\text{PNC}}^{\text{теор.}} = 18 \cdot 10^{-8}$.

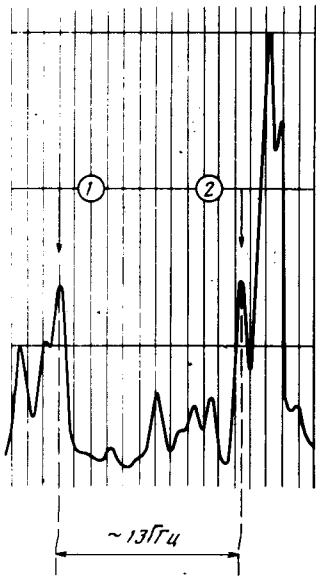


Рис.1. Спектр поглощения паров висмута: 1 – линия $\text{Bi } F = 6 \rightarrow F = 7$; 2 – контрольная молекулярная линия

До начала измерений была выполнена одна контрольная серия при пониженной температуре, когда поглощение в максимуме снижено в десять раз. После окончания семи серий висмутовых измерений были проведены контрольные измерения фарадеевского вращения ϕ_F на молекулярной линии, показанной на рис.1. Константа фарадеевского вращения для этой линии значительно меньше чем для атомной. Измерения проводились в трех спектральных точках ω_0 , ω'_0 и ω''_0 , где ω_0 – максимум контура поглощения, а разности $\omega_0 - \omega'_0$, $\omega_0 - \omega''_0$ такие же как и разности $\omega_0 - \omega_-$, $\omega_0 - \omega_+$ в случае атомной линии. Калибровка величины эффекта проводилась в поле $H = 100 \text{ мГс}$ и $H = -36 \text{ мГс}$. Поскольку ϕ_F линейно по H были найдены значения поля H , для которых $(\phi_{F''} - \phi_{F'}) = 7 \cdot 10^{-8} \text{ рад}$ и $(\phi_{F''} - \phi_{F'}) = 25 \cdot 10^{-8} \text{ рад}$, соответственно. Были проведены четыре серии измерений при первом значении H и одна серия при втором. Результаты всех этих измерений показаны на рис.2 Для семи серий измерений на линии атомарного висмута величина R , определенная по измеренному значению $\Delta\phi_{\text{PNC}}$, оказалась равной

$$R_{\text{эксп}} = (+0,22 \pm 0,1) R_{\text{теор.}} \quad (2)$$

Для четырех контрольных серий измерений

$$(\phi_{F''} - \phi_{F'})_{\text{расч}} = (7 \pm 5) \cdot 10^{-8}; (\phi_{F''} - \phi_{F'})_{\text{эксп}} = (8,3 \pm 1,8) \cdot 10^{-8}. \quad (3)$$

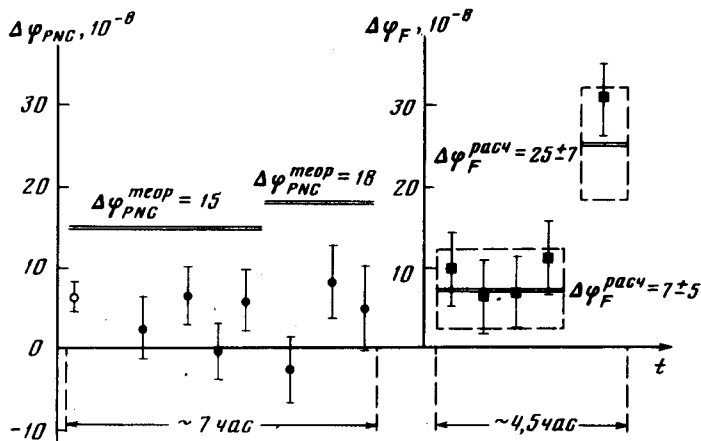


Рис.2. Результаты измерений во втором эксперименте: ● — измерения на линии $F = 6 \rightarrow F = 7$ атомарного висмута; ○ — контрольная серия при пониженном давлении висмута; ■ — контрольные измерения $\Delta\phi_F = (\phi_F'' - \phi_F')$ на молекулярной линии

Для последней контрольной серии

$$(\phi_F'' - \phi_F')_{\text{расч.}} = (25 \pm 7) \cdot 10^{-8}; (\phi_F'' - \phi_F')_{\text{эксп}} = (30,5 \pm 4,8) \cdot 10^{-8} \quad (4)$$

Сравнительно большая неопределенность в ожидаемых значениях $(\phi_F'' - \phi_F')$ в (3), (4) связана с тем, что калибровка величины эффекта Фарадея при значениях поля $H = 100 \text{ МГц}$ и $H = -36 \text{ МГц}$ проводилась по укороченным сериям, содержащим только 20 циклов. Как видно, ожидаемые (специально заданные) значения вращения и измеренные находятся в хорошем согласии.

В третьем эксперименте были выполнены четыре серии измерения эффекта PNC при $\kappa L = 0,9$, $\Delta\phi_{\text{PNC}}^{\text{теор.}} = 16 \cdot 10^{-8}$ и три контрольные серии при пониженной плотности паров висмута, $\kappa L = 0,2$. В результате получено

$$R_{\text{эксп}} = (+0,23 \pm 0,08) R_{\text{теор.}} \quad (5)$$

Последовательность чередования основных и контрольных серий показана на рис.3, на котором собраны вместе все 17 серий измерений эффекта PNC и девять контрольных серий, выполненных во всех трех экспериментах.

На рис.3 в качестве ошибки указывается \pm одно стандартное отклонение $S_{\Delta\phi}$ для среднего по данной серии значения $\Delta\phi_{\text{PNC}}$. Типичная величина $S_{\Delta\phi} \approx (2,5 - 3,5) \cdot 10^{-8}$ близка к минимально возможному предельному значению, определяемому дробовыми шумами (интенсивность пучка перед анализатором $I \sim 0,3 \cdot 10^{15}$ фотонов/сек, квантовая эффективность приемника $\eta \sim 0,05$, время накопления за один цикл $T = 5$ сек, число циклов $n = 50$). Вместе с тем разброс средних значений $\Delta\phi_{\text{PNC}}$ по отдельным сериям в некоторых случаях заметно превышает $S_{\Delta\phi}$ и характеризует, по-видимому, дополнительные аппаратурные пог-

решности, сравнительно медленно меняющиеся со временем. Их вклад в общую ошибку измерений можно оценить, приняв среднее значение $\Delta\phi_{\text{PNC}}$ в каждой серии за независимое измерение и вычислив соответствующее значение стандартного отклонения s' по разбросу этих значений. Подобная процедура была выполнена при вычислении среднего значения $\langle R_{\text{эксп}} \rangle$ по всем 17 сериям. Соответствующее стандартное отклонение для $\langle R_{\text{эксп}} \rangle$ равно $S' = 1,2 \cdot 10^{-8}$. Оценка той же величины в результате усреднения по всем 850 циклам дает $S'' = 0,5 \cdot 10^{-8}$.

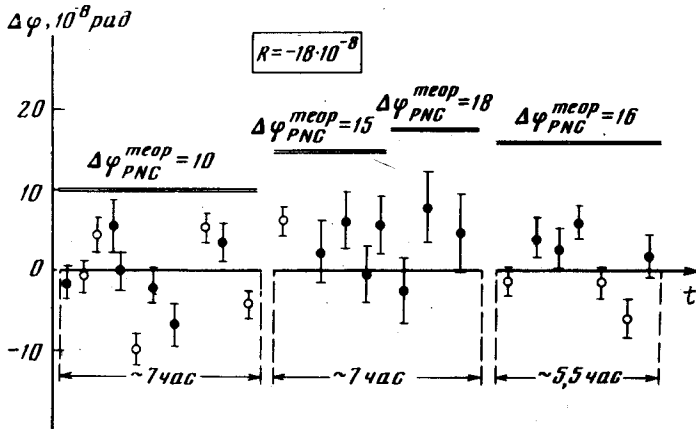


Рис.3. Суммарные результаты измерений $\Delta\phi_{\text{PNC}}$: ● — измерения на линии $F = 6 \rightarrow F = 7$ атомарного висмута; ○ — контрольные серии при пониженном давлении висмута

Различие s' и s'' также указывает, что помимо ошибок типа дробового шума в измерениях проявляются дополнительные аппаратные погрешности. Поскольку $s' > s''$ именно они играют основную роль. По этой причине мы принимаем в качестве оценки стандартного отклонения для $\langle R_{\text{эксп}} \rangle$ значение $s = \sqrt{(s')^2 + (s'')^2} \approx 1,3 \cdot 10^{-8}$. Для всех 17 серий измерений эффекта PNC это дает

$$\langle R_{\text{эксп}} \rangle = (+0,13 \pm 0,07) R_{\text{теор}}. \quad (6)$$

Аналогичным образом для всех девяти контрольных серий получаем

$$\Delta\phi'_{\text{PNC}} = (-0,87 \pm 1,8) \cdot 10^{-8}. \quad (7)$$

Отметим, что в (1), (2) и (5) в качестве ошибки указывается \pm одно стандартное отклонение для среднего значения $R_{\text{эксп}}/R_{\text{теор}}$ по всему суммарному числу циклов данного эксперимента, т.е. величина типа s'' .

Из (6) следует, что наши экспериментальные результаты находятся в явном противоречии с предсказаниями теории. Они несовместимы с ожидаемым значением $R_{\text{теор}} \approx -18 \cdot 10^{-8}$ хотя и не исключают возможности существования эффекта с $R < 0,25 R_{\text{теор}}$. Сделать более

определенное утверждение на данной стадии эксперимента не представляется возможным. В настоящее время нами ведется работа по уменьшению аппаратурных погрешностей установки.

Мы выражаем глубокую благодарность Н.Г.Басову и М.А.Маркову за поддержку работы.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
2 апреля 1980 г.

Литература

- [1] Ю.В.Богданов, И.И.Собельман, В.Н.Сорокин, И.И.Струк. Письма в ЖЭТФ, 31, 234, 1980.
 - [2] M.Brimicombe, C.Loving, P.Sandars. J. Phys., 9BL, 237, 1976.
 - [3] В.Н.Новиков, О.П.Сушков, И.Б.Хриплович. ЖЭТФ, 71, 1665, 1976.
 - [4] M.Harris, C.Loving, P.Sandars. J. Phys., 11BL, 749, 1978.
 - [5] Д.В.Саакян, И.И.Собельман, Е.А.Юков. Письма в ЖЭТФ, 29, 258, 1978.
 - [6] Л.М.Марков, М.С.Золотарев. Письма в ЖЭТФ, 27, 379, 1978.
 - [7] L.Barkov, J.Kriplovich, M.Zolotarev. Comments on Atomic and Molecular Physics, VIII, 79, 1979.
 - [8] P.Baird, M.Brimicombe, R.Hunt, G.Roberts, P.Sandars, D.Stacey. Phys. Rev. Lett., 39, 798, 1977.
 - [9] L.Lavis, J.Hollister, D.Soreide, E.Lindahl, E.Forston. Phys. Rev. Lett., 39, 795, 1977.
-