

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ ПАРОВ СВИНЦА

А. А. Гребенюк

Приводится описание установки, позволяющей интерференционной методикой измерить поляризуемость свинца, величина которой при $\lambda = 632.8$ нм оказалась равной $\alpha = (49.4 \pm 0.8) a^3$, где a — борковский радиус. Измерения проводились при температуре до 1200°C и давлении паров до 15 тор.

В настоящее время различными группами ведутся интенсивные поиски явлений несохранения четности, обусловленных слабыми нейтральными токами, в атомных переходах [1-5]. Как известно, впервые эти явления были обнаружены в парах висмута новосибирской группой [5]. Численные расчеты влияния несохранения четности в тяжелых атомах висмута, таллия и свинца были выполнены в работах [6-8]. Эти расчеты оказались достаточно сложными и все еще существует некоторое расхождение между результатами вычислений разных теоретических групп. Применяя методику,

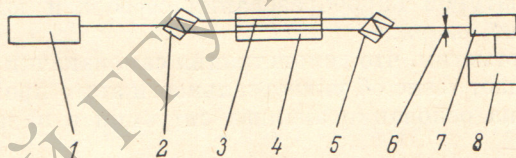


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

1 — лазер ЛГ-78; 2, 5 — пластины интерферометра; 3 — часть кюветы, заполненная гелием; 4 — часть кюветы с парами свинца; 6 — коллиматор; 7 — фотоумножитель; 8 — самописец.

используемую в расчетах влияния несохранения четности, новосибирская группа теоретиков провела вычисления целого ряда атомных характеристик, в том числе и ранее экспериментально неизвестной поляризуемости таллия, свинца и висмута [9]. Большой интерес представляют результаты ее измерения, так как сравнение экспериментальных и теоретических значений поляризуемости позволит судить о надежности расчетов влияния несохранения четности выполненных новосибирской группой. Кроме того, эти результаты интересны еще и потому, что они восполняют недостающую экспериментальную информацию о свойствах тяжелых атомов.

Измерение поляризуемости атомарного висмута затруднено тем, что парциальное давление атомарной и молекулярной компонент паров висмута примерно одинаково [10]. Пары свинца удобны для измерения поляризуемости, так как они имеют в отличие от висмута незначительную примесь молекул [10] и достаточно большое давление ~ 15 тор при легко достижимой температуре ($\sim 1200^\circ\text{C}$) [11]. В настоящей работе были проведены измерения коэффициента преломления n свинца при заданной плотности паров N , через которые, как известно, выражается поляризуемость $\alpha = (n - 1)/2\pi N$.

На рис. 1 показана принципиальная схема установки для измерения коэффициента преломления паров металлов интерференционной методикой. Источником света служил гелий-неоновый лазер ЛГ-78 с длиной волны $\lambda = 632.8$ нм. В качестве интерферометра использовалась некоторая моди-

фикация интерферометра Жамена. В одном его плече находилась часть кюветы 3 с парами свинца, в другом плече — часть кюветы 4, заполненная гелием. Величина разности оптических путей света в зависимости от давления паров свинца регистрировалась по перемещению интерференционной картины фотоумножителем 7, сигнал с которого поступал на самописец 8.

На рис. 2 показана конструкция печки с кюветой. Кювета 3 была изготовлена из керамической трубы диаметром 30 мм. Штриховой линией на этом рисунке отмечены пути лучей света 1, а, б внутри кюветы. Часть траектории луча 1, а находящаяся между кварцевыми стеклами 9, а, проходит через пары свинца. Эти стекла, вваренные в торцы кварцевых труб 4, а, позволяли однозначно определять длину оптического пути света в области с парами свинца, находящейся в центральной части кюветы. Во время измерений трубы 4, а, б были заполнены гелием. Температура на открытых торцах этих труб близка к комнатной, что исключает возмож-

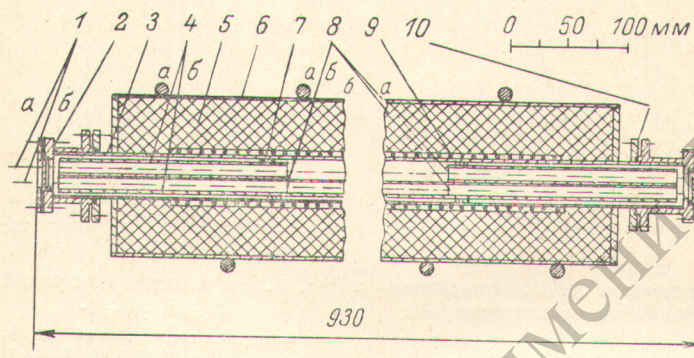


Рис. 2. Печка с кюветой.

1, а, б — пучки света; 2 — входное стекло; 3 — кювета; 4, а, б — кварцевые трубы; 5 — теплоизолятор; 6 — кожух с водяным охлаждением; 7 — опора кварцевых труб; 8, а, б — кварцевые окна (235 мкм); 9 — нагревательная спираль; 10 — фланцы.

ность попадания в них паров свинца. Так как коэффициент преломления кварца изменяется с температурой, то чтобы исключить при измерениях эту температурную зависимость, на пути опорного луча 1, б помещены кварцевые стекла 8, б аналогичные стеклам 8, а. Негерметичное крепление стекол 8, б позволяло объему центральной части трубы 4, б сообщаться с ее остальным объемом. В качестве нагревательного элемента была использована спираль 8 из нихромовой проволоки диаметром 3 мм, которая позволяла работать до температуры 1200° С, что, как видно из рис. 3, соответствует давлению паров ~15 тор [11]. Постоянная плотность паров свинца по длине оптического пути света в рабочей области с парами свинца была получена следующим образом.

Кювета и подсоединенный к ней балластный объем после откачки заполнялись гелием, давление которого контролировалось манометром. Нагрев кюветы приводит к испарению свинца, который вытесняет гелий из центральной части кюветы к ее торцам. Если мощность подогрева превышает мощность, необходимую для поддержания в рабочей области давления паров свинца, равного внешнему давлению гелия, то в направлении охлаждаемых торцов кюветы возникают потоки свинца, уносящие избыточно подводимое тепло. Температура в рабочей области кюветы при этом фиксирована и соответствует давлению насыщенных паров свинца (рис. 3), которое равно внешнему давлению гелия. Дальнейшее увеличение мощности подогрева практически не меняет ни давление, ни температуру паров свинца в рабочей области, а приводит только к изменению потоков свинца, уносящих избыточно подводимое тепло и смещению границ области с постоянной плотностью паров свинца. Попадая в область с более низкой температурой, находящуюся между кварцевых окон и торцов кюветы, свинец отдает тепло гелию и стенкам кюветы, конденсируется и стекает на дно. Слой жидкого свинца на дне кюветы обеспечивает возвращение в рабочую область его

сконденсировавшихся паров. Аналогичный принцип работы кюветы был использован в работах [5].

Для устранения возможности напыления окон нагревательная спираль была намотана так, чтобы количество тепла на единицу длины, подводимого к кювете в местах расположения окон, было примерно на 1% больше, чем в центральной области кюветы. При измерениях избыток мощности, уносимый потоками, составлял величину примерно равную $10 \div 15$ Вт при полной подводимой мощности ~ 1.5 кВт. Оценки показывают, что перепад давлений Δp , связанных с потоками свинца, не превышает величины $\Delta p/p \leq 10^{-4}$ по длине кюветы. Для устранения возможности попадания в рабочую область сконденсировавшихся паров более легкой, чем свинец, окиси свинца отверстия в опорах 7 (рис. 2), через которые происходило возвращение свинца, находились ниже уровня его поверхности. При помощи термомпары, спай которой находился вблизи кварцевых окон, осуществлялся

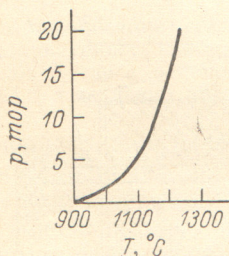


Рис. 3. Зависимость давления насыщенных паров свинца от температуры.

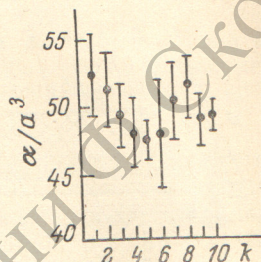


Рис. 4. Результаты измерений поляризуемости.

1—5 — первая серия измерений; 6—10 — вторая серия измерений.

контроль за температурным режимом работы кюветы. Контрольные измерения показали, что изменение разности оптических путей света при прогреве кюветы без свинца составляют величину, меньшую чем $2 \cdot 10^{-5} \lambda \cdot K^{-1}$, тогда как ожидаемое изменение за счет паров свинца при давлении 15 тор примерно равно 3.5λ .

Ошибка в определении плотности паров свинца в рабочей области в основном была связана с погрешностью определения давления гелия манометром и не превышала величины 0.1 тора.

Временная нестабильность величины разности оптических путей света, связанная главным образом с температурными изгибами оптической скамьи, на которой были закреплены пластины интерферометра и печь с кюветой, приводит к ограничениям на точность измерения коэффициента преломления. Контрольные измерения показали, что за время измерения поляризуемости $T \sim 2$ ч наиболее вероятная ошибка в определении изменения разности оптических путей равна $\Delta l \approx 0.1\lambda$.

Было приведено две серии измерений. При высокой температуре в первой серии измерений наблюдалось провисание кварцевой трубы 4, 6 в промежутках между опорами 7 (рис. 2). Чтобы уменьшить провисание, во второй серии измерений число опор было увеличено. Результаты измерений поляризуемости при различных давлениях паров свинца показаны на рис. 4. Ошибка приписываемая k -измерению, равна $\Delta\alpha_k = \alpha_k \sqrt{(\Delta p/p_k)^2 + (\Delta l/l_k)^2}$, где Δp — погрешность в определении давления, Δl — наиболее вероятная ошибка в определении изменения разности оптических путей, p_k — давление паров свинца и l_k — изменение оптических путей. Значения поляризуемости α в первой и второй сериях измерений хорошо согласуются друг с другом и равны $\alpha_1 = (49.0 \pm 1.0)a^3$, $\alpha_2 = (49.5 \pm 0.9)a^3$, где a — боровский радиус, а среднее по этим измерениям равно $\alpha = (49.3 \pm 0.7)a^3$. Усреднение по фактическому разбросу точек без учета индивидуальных ошибок дает значение $\alpha = (49.6 \pm 0.6)a^3$, что согласуется с результатом, полученным с учетом ошибок, и свидетельствует об отсутствии заметных систематических ошибок. Оценки показывают, что систематическая ошибка, связан-

ная с провисанием кварцевой трубы, не превышает, — $(0.1 \pm 0.1) a^3$. Значение поляризуемости с учетом этих поправок равно $\alpha = (49.4 \pm 0.8) a^3$.

Согласно расчетам, выполненным в работе [9], поляризуемость свинца при $\lambda = 632.8$ нм равна $51.6a^3$, при этом оцениваемая авторами погрешность расчетов примерно равна 10%. Таким образом, существует хорошее согласие экспериментального и расчетного значений поляризуемости.

В заключение приношу глубокую благодарность Л. М. Баркову, М. С. Золотареву, И. Б. Хриповичу за постановку задачи и непосредственную помощь в работе, О. П. Сушкову, В. В. Фламбауму за постоянный интерес к работе, а также В. С. Мельникову за помощь в изготовлении установки.

Литература

- [1] M. A. Bouchiat, L. Pottier. J. Phys. (Paris), 37, L79, 1976.
- [2] S. Chu, E. D. Commins, R. Conti. Phys. Lett., 60A, 96, 1977.
- [3] P. E. G. Baird et al. Phys. Rev. Lett., 39, 798, 1977; P. E. G. Baird. Talk at the VI International Conference on Atomic Physics, Riga, 1978.
- [4] L. L. Lewis, et al. Phys. Rev. Lett., 39, 795, 1977; E. N. Fortson. Talk at the Conference Neutrino-78.
- [5] Л. М. Барков, М. С. Золотарев. Письма ЖЭТФ, 28, 544, 1978; Л. М. Барков, М. С. Золотарев. Phys. Lett., 85B, 308, 1979.
- [6] В. Н. Новиков, О. П. Сушков, И. Б. Хрипович. ЖЭТФ, 71, 1665, 1976; О. П. Сушков, В. В. Фламбаум, И. Б. Хрипович. Письма ЖЭТФ, 24, 502, 1976.
- [7] M. Brimicombe, C. E. Loving, P. G. H. Sandars. J. of Phys., 9B, L273, 1976; M. I. Harris, C. E. Loving, P. G. H. Sandars. J. of Phys. B, 11B, L749, 1978.
- [8] E. M. Henley, L. Wilets. Phys. Rev., A14, 1411, 1976; E. M. Henley, M. Klapisch, L. Wilets. Phys. Rev. Lett., 39, 994, 1977.
- [9] V. V. Flambaum, O. P. Sushkov. J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer, 20, 569, 1978.
- [10] R. Hultgren et al. Selected Values of the Thermodynamik Properties of the Elements. American Society for Metals, 1973.
- [11] Таблицы физических величин. Ред. И. К. Кикоина. Атомиздат, 1976.

Поступило в Редакцию 19 октября 1979 г.