

Письма в ЖЭТФ, том 15, вып 1, стр.44 – 49

5 января 1978 г.

**ОБ ИЗМЕРЕНИИ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР
ПРИ ПОМОЩИ ЭФФЕКТА МЕССБАУЭРА**

*А. Я. Паршик, В. П. Пешков, Б. Г. Егизиров,
А. И. Шапов, В. П. Ромашко*

Возможность использования эффекта Мессбауэра для измерения сверхнизких температур уже неоднократно обсуждалась [1]. В основе

такого метода лежат два предположения: а) заселенности ядерных уровней пропорциональны бальцовскому фактору и б) вероятность излучения или поглощения γ -кванта пропорциональна заселенности исходного состояния.

В наших экспериментах в качестве охлаждаемых поглотителей были использованы образцы металлического железа. В этом случае для отношения интенсивностей симметричных линий поглощения (например, соответствующих переходам $\pm 1/2 \rightarrow \pm 3/2$) имеем в тонком поглотителе:

$$\rho = (N_{\alpha} - N_{+}) / (N_{\alpha} - N_{-}) = e^{\Delta/T} \quad (1)$$

здесь N_{\pm} интенсивности прошедшего излучения при резонансе (+ соответствует движению источника навстречу поглотителю), N_{α} — интенсивность вдали от резонанса, $\Delta = 2,23 \cdot 10^{-30} \text{ К}$ — величина сверхтонкого расщепления основного состояния ядра Fe^{57} , T — абсолютная температура.

Использовались образцы с естественным содержанием Fe^{57} (прокатанная фольга из карбонильного железа толщиной $0,12 \text{ мг/см}^2$ по Fe^{57}) и обогащенные изотопом Fe^{57} до 89% (толщиной $0,17$ и $0,31 \text{ мг/см}^2$ по Fe^{57}). Обогащенные фольги были получены при помощи электролиза раствора сернокислого двухвалентного железа [2] на медную фольгу, которая потом растворялась.

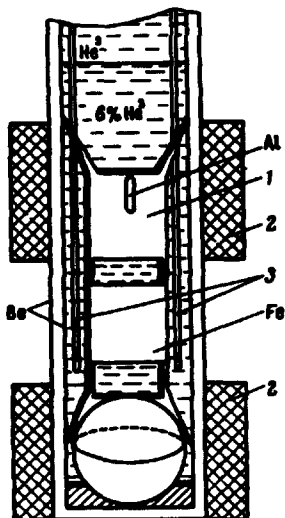


Рис. 1. Устройство камеры растворения

Для охлаждения поглотителей использовался криостат растворения, в основном аналогичный [3] с небольшим трубчатым теплообменником, позволявший получать температуры до $30 \cdot 10^{-30} \text{ К}$ в режиме циркуляции и $(5 \div 6) \cdot 10^{-30} \text{ К}$ в однократном режиме. Образец (Fe) площадью около 1 см^2 подклеивался к бериллиевой пластинке толщиной $0,3 \text{ мм}$, которая, в свою очередь, приклеивалась к тонкой текстолитовой рамочке (рис. 1). Рамочка укреплялась в камере растворения, нижняя часть которой представляла собой бериллиевый стаканчик $\varnothing 13 \text{ мм}$ и толщиной стенки $0,5 \text{ мм}$. Остальные стенки в нижней части кристалла также были выполнены из бериллия (общая толщина бериллия на просвет составляла 5 мм).

Температура в камере растворения измерялась по магнитной восприимчивости сферического образца (прессованный порошок с плотностью $1,90 \text{ г/см}^3$) церий – магниевого нитрата (CMN). Восприимчивость измерялась (с помощью баллистических катушек – 2) баллистическим методом. Чувствительность схемы калибровалась в специальном эксперименте по изменению магнитного момента оловянного шарика при сверхпроводящем переходе. Кроме того, в двух отдельных экспериментах проводилось размагничивание соли от температуры около $10 \cdot 10^{-30} \text{ К}$ и магнитного поля 300 э . Отброс баллистического гальванометра после размагничивания в обоих случаях был одинаковым с точностью до 1%, оставался постоянным в течение 5 и 30 мин и соответствовал магнитной температуре $2,3 \cdot 10^{-30} \text{ К}$. Реперной точкой служила температура ($1,1^\circ \text{ К}$) сверхпроводящего перехода образца алюминия (Al).

На рис. 1 представлена только часть вакуумной рубашки и камеры растворения, которые были помещены в изготовленную из бериллия нижнюю часть дьюара с гелием при $1,2^\circ \text{ К}$. Трубки 3 служили: одна для подачи возвратного He^3 при циркуляции, вторая для отвода растворимого He^3 в камеру испарения.

Источник Co^{57} в платине активностью около 5 мкюри и детектор γ -излучения располагались снаружи на массивной раме. Спектрометр на постоянных скоростях [4] позволял легко настраиваться на любую скорость в диапазоне $0,5 - 10 \text{ мм/сек}$ с точностью и долговременной стабильностью не хуже $0,001 \text{ мм/сек}$: скоростное разрешение спектрометра было не хуже $0,01 \text{ мм/сек}$ и определялось флюктуациями скорости в течение счетного времени каждого полупериода. Полуширина линий поглощения определялась в основном уровнем вибраций поглотителя и составляла, в типичных условиях, $0,5 - 0,6 \text{ мм/сек}$. Скорость счета оставалась постоянной в пределах $0,5\%$ в течение всего эксперимента и периодически контролировалась.

При температуре около $1,2^\circ \text{ К}$ спектрометр настраивался на пару симметричных пиков поглощения и вибратор тщательно юстировался для устранения возможной геометрической разницы скоростей счета N_+ и N_- . Интенсивности симметричных пиков в необогащенных поглотителях были одинаковыми с точностью лучше 1% для всех трех пар линий. Это относится и к обогащенным поглотителям, за исключением пары крайних линий спектра, для которых $\rho = 1,025$ при $1,2^\circ \text{ К}$. Эта асимметрия, возможно, связана с присутствием в образцах толщиной $0,2 - 0,4 \text{ мм}$ окислов железа. При измерении температуры в этом случае вводилась соответствующая поправка.

Величина ρ могла измеряться (время одного набора 20 мин , количество импульсов в каждом счетном канале – около 10^6) в течение всего процесса охлаждения и обратного отогрева (время охлаждения от $30 \cdot 10^{-3}$ до $6 \cdot 10^{-3} \text{ К}$ – около трех часов). Прибор позволял поддерживать постоянную температуру с точностью не хуже 5% в течение не менее $1,5 \text{ часа}$ в диапазоне $(7 - 20) \cdot 10^{-30} \text{ К}$ и не менее четырех часов в диапазоне $(20 - 100) \cdot 10^{-30} \text{ К}$. Не было замечено какой-либо зависимости измеряемой величины от скорости изменения температуры. Отсюда можно заключить, что время установления теплового равновесия между

ядерными спицами и окружающим гелием было гораздо меньше времени измерения (соответствующее время для CMN было меньше 5 мин при $T > 6 \cdot 10^{-30}$ К).

На рис. 2 представлена измеренная зависимость ρ от обратной температуры. Справа по оси ординат отложена обратная "мессбауэровская" температура T_M , вычисленная по формуле (1) с учетом поправок на толщину поглотителя [5], которые составляли в среднем 20% и практически не зависели от ρ .

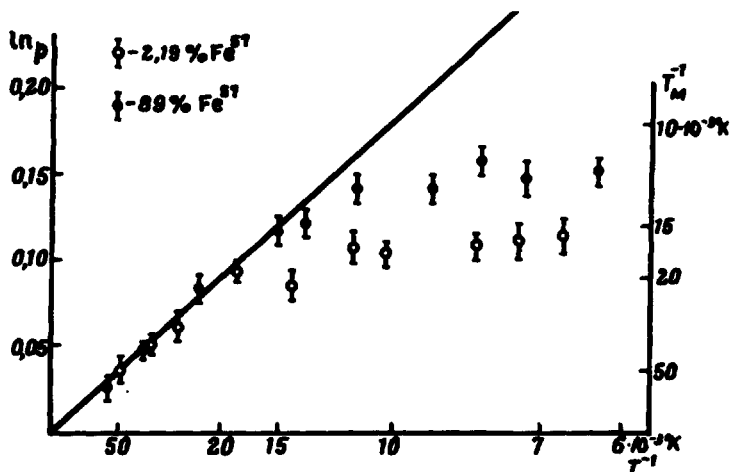


Рис. 2. Температурная зависимость асимметрии интенсивностей линий поглощения. Сплошная прямая соответствует $T_M = T$. Указаны статистические погрешности

Ввиду значительного отличия T_M от T при $T < 15 \cdot 10^{-30}$ К было предпринято более детальное изучение спектра поглощения при $T \leq 10 \cdot 10^{-30}$ К. Эти измерения показали, что а) положение линий не меняется с точностью до 0,02 мж/сек; б) возможное уширение линий не превышает 0,1 мж/сек и при этом одинаково для всех линий и в) суммарная площадь спектра поглощения остается неизменной с точностью до 5%.

Тривиальной причиной наблюдаемой зависимости $T_M(T)$ мог бы быть теплоподвод к образцу (порядка $5 \cdot 10^{-3}$ эрг/сек, если экстраполировать данные Зиновьевой [6] о скачке Капицы). В наших экспериментах разогрев за счет поглощения γ -квантов составлял $(1 \pm 2) \cdot 10^{-4}$ эрг/сек для образцов естественного железа и порядка 10^{-6} эрг/сек — для обогащенных образцов. Контрольные эксперименты, в которых интенсивность поглощения менялась примерно в 10 раз за счет изменения расстояний между источником и поглотителем, показали, что T_M остается неизменной с точностью до 10% (при той же температуре).

Мы провели также контрольные эксперименты для выявления других возможных источников разогрева образца (внешние переменные поля, механические вибрации, подвод тепла от стенок камеры через текстолит). Во всех случаях, при неизменной температуре, T_M оставалась неизменной в пределах статистических ошибок.

Приведенные результаты заставляют усомниться в справедливости соотношения (1). В настоящее время проводятся эксперименты с целью выявления причин этой аномалии.

Авторы благодарят Н.Л.Капицу за неизменный интерес и внимание к работе.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 ноября 1971 г.

Литература

- [1] J.G.Dash, R.D.Taylor, P.P.Graig, D.E.Nagle, D.R.F.Cockran, W.E. Keller. Phys. Rev. Lett., 5, 152, 1960.; R.D.Taylor. Proc. Second International Conference on the Mössbauer Effect, New York, 1962, p. 203; G.M.Kalvius, T.E.Katila, O.V.Lounasmaa. Proceedings of the Fifth Symposium on Mössbauer Effect Methodology, New York, London, 1970, p. 231. †
 - [2] В.П.Бочин. Isotopenpraxis, 3, 317, 1967.
 - [3] В.М.Пешков. ПТЭ, № 5, 193, 1960.
 - [4] В.И.Гольданский, А.В.Доленко, Б.Г.Егизаров, В.М.Ромашко, А.И. Шамов. ПТЭ, №4, 101, 1970.
 - [5] Г.А.Быков, Фам Зуи Хиен. ЖЭТФ, 43, 909, 1962.
 - [6] К.Н.Зиновьева. ЖЭТФ, 60, 2243, 1971.
-