

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 538.614

ОПТИЧЕСКАЯ ОРИЕНТАЦИЯ ЯДЕРНЫХ МОМЕНТОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ РТУТИ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОГАЩЕННЫХ ИЗОТОПОВ

А. М. Скрипкин и О. А. Бартенева

Как сообщалось ранее [1, 2], наблюдалась успешная оптическая ориентация нечетных изотопов Hg^{199} и Hg^{201} в естественной смеси в достаточно широкой области давлений ориентируемого пара $p=10^{-2}\div 10^{-6}$ мм Hg. Во всех этих экспериментах, так же как и в остальных работах по оптической ориентации ртути [3, 4], в спектральных лампах использовались обогащенные изотопы. В частности, в работах [1, 2] источником ориентирующего излучения линии 2537 Å служила лампа с обогащенным изотопом Hg^{204} . Это дает эффективную оптическую накачку, но вместе с тем требует использования дорогостоящих чистых изотопов. Поэтому оптическая ориентация ядер Hg^{199} и Hg^{201} в естественной смеси излучением естественной смеси без использования обо-

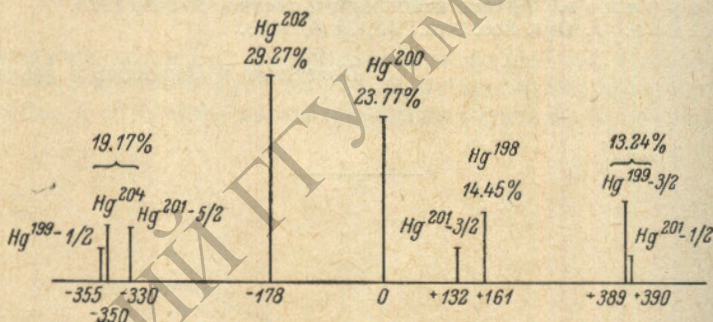


Рис. 1. Сверхтонкая и изотопная структура линии 2537 Å для естественной смеси изотопов ртути.

гащенных изотопов представляет не только чисто научный, но и практический интерес и, насколько нам известно, до сих пор никем не наблюдалась. В то же время из зеемановской структуры линии 2537 Å изотопов Hg^{199} и Hg^{201} и диаграммы излучения естественной смеси (рис. 1) нетрудно видеть, что облучение светом естественной смеси σ^+ (σ^-) поляризации ячейки с таким же составом должно приводить к появлению разности населенностей между зеемановскими подуровнями основного состояния изотопов Hg^{199} и Hg^{201} . Обычно используемый в оптической накачке метод регистрации по поглощению резонансного света в данном случае оказывается неэффективным. Действительно, при облучении резонансным циркулярно поляризованным светом известного спектрального состава суммарная вероятность перехода с зеемановского подуровня μ основного состояния запишется как

$$P_{\mu} \sim \sum_F I_F |C_{\pm 1\mu}^{Fp\pm 1}|^2,$$

где I_F — интенсивность излучения сверхтонкой компоненты F , $C_{\pm 1\mu}^{Fp\pm 1}$ — коэффициенты Клебша Гордана, определяющие относительную вероятность оптического перехода.

Поскольку для излучения σ^+ (σ^-) поляризации суммарная относительная вероятность перехода с любого подуровня μ одинакова, то и абсолютные вероятности перехода P_{μ} будут также одинаковы при условии равенства интенсивностей излучения I_F .

В последнем случае, даже при наличии разности населенностей между подуровнями μ , ее невозможно зарегистрировать по изменению прозрачности ячейки, например в условиях магнитного резонанса, из-за равенства P_{μ} . Это положение справедливо для обоих изотопов. Сходные условия наблюдаются при облучении ячейки с естественной смесью ртути излучением циркулярной поляризации от лампы того же наполнения. Приближенные оценки дают уменьшение величины регистрируемого сигнала по поглощению не менее чем на порядок по сравнению со случаем использования чистого изотопа Hg^{204} в лампе. Наблюдение сигнала магнитного резонанса оптически ориентированной ртути, при условии отсутствия обогащенных изотопов в ячейке и лампе, оказалось возможным при использовании двух лучей света естественной смеси, ориентированного циркулярной поляризации (луч 1) и поперечного, линейной поляризации (луч 2), нерезонансные компоненты которого обеспечивают наблюдение сигнала по эффекту Фарадея [2].

Действительно, как экспериментально было проверено в работе [2], спектральный состав излучения естественной смеси (луча 2) позволяет наблюдать оптическую ориентацию естественной смеси по поперечному эффекту Фарадея. Оптическая ориентация наблюдалась на установке, подробно описанной в работе [2], при устранении элементов с обогащенными изотопами. Кроме того, эксперименты проводились в более слабом магнитном поле $H_0 \approx 0.2$ э с целью уменьшения абсолютной неоднородности поля в пределах ячейки. Результаты наших измерений показали отсутствие заметного сигнала магнитного резонанса Hg^{199} и Hg^{201} при регистрации по поглощению. Напротив, наблюдалась успешная оптическая ориентация обоих изотопов при регистрации по поперечному эффекту Фарадея с отношением сигнал/шум в полосе 1 гц 2000–3000. Поведение сигнала эффекта Фарадея в зависимости от температуры ячейки и плотности паров ртути описывалось в других работах [1, 2].

Отметим, что собственно ориентация лучом 1 вполне эффективна, поскольку замена лампы с Hg^{204} на лампу с Hg^{204} существенно не изменяет величины сигналов оптической ориентации (изменение 20%). Кроме того, уменьшение интенсивности луча 1 в два раза приводит к уменьшению сигнала эффекта Фарадея на 20–35%.

Температурные измерения теплового времени релаксации T_2 и T_2^* в присутствии детектирующего луча 2 проводились по методу, описанному в [2], и результаты измерений показаны на рис. 2. Видно, что дезориентирующее действие резонансных компонент луча 2 сводится к оптическому уширению линии магнитного резонанса $1/\pi T_2^* \approx 0.1$ гц при еще достаточно эффективном процессе накачки. Величина уширения $1/\pi T_2^* = 0.1$ гц, определяемая интенсивностью луча 2, соответствовала условию максимального значения отношения сигнал/шум. В исследуемой области температур поглощающей ячейки не было обнаружено существенной разницы тепловых времен релаксаций T_2 по сравнению с аналогичными измерениями в ячейках с малой плотностью паров ртути [1]. Для ячеек с повышенной плотностью паров ($p \approx 10^{-3}$ мм Hg) также обнаруживаются длинные времена релаксации $T_2 = 100$ сек., при этом возрастают требования к неоднородности магнитного поля H_0 .

Таким образом, осуществлена эффективная оптическая ориентация изотопов Hg^{199} и Hg^{201} в естественной смеси излучением лампы того же наполнения. Хотя регистрация оптической накачки по поглощению оказалась безуспешной, использование поперечного эффекта Фарадея позволило обнаружить накачку с отношением сигнал/шум в полосе 1 гц порядка 3600 для изотопа Hg^{201} и 2000 для изотопа Hg^{199} . Времена релаксации T_2 обоих изотопов в ячейках с плотными парами ртути достаточно длинные (для лучших ячеек $T_2 \approx 100$ сек.) и сравнимы с измеренными в менее плотных парах ($p \approx 10^{-4} - 10^{-6}$ мм Hg).

Авторы выражают благодарность Ю. М. Петухову за полезное обсуждение в ходе работы.

Литература

- [1] И. Е. Гринько, В. Ф. Терзема, О. А. Бартнев, А. М. Скрипкин, И. А. Шушпанов. Опт. и спектр., 29, 612, 1970.
- [2] О. А. Бартнев, А. М. Скрипкин, И. Е. Гринько, В. Ф. Терзема, И. А. Шушпанов. Опт. и спектр., 29, 612, 1970.
- [3] V. Cagnac. Theses, Paris, 1961.
- [4] A. Cohen-Tannoudji. Thesis, Paris, 1962.

Поступило в Редакцию 21 января 1971 г.

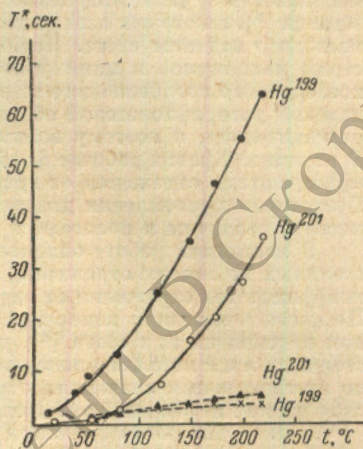


Рис. 2. Зависимость времени поперечной релаксации ядер ртути от температуры стенок кюветы. (Штриховые кривые сняты в присутствии поперечного регистрирующего луча).