

ОБМЕН МЕТАСТАБИЛЬНОСТЬЮ В СМЕСИ ИЗОТОПОВ ГЕЛИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ЖИДКОГО АЗОТА

Р.А.Житников, В.А.Картошkin, Г.В.Клементьев, Л.В.Усачева

Исследовались оптическая ориентация и магнитный резонанс атомов He^3 и He^4 в $2\ ^3S_1$ состоянии в смесях изотопов $\text{He}^3 - \text{He}^4$. Измерены поперечные сечения обмена метастабильностью $\sigma(\text{He}^3 - \text{He}^3)$ и $\sigma(\text{He}^3 - \text{He}^4)$ при температуре жидкого азота. Обнаружено существенное различие в величинах этих сечений.

В работе [1] высказано предположение, что поперечные сечения обмена метастабильностью у изотопов $\text{He}^3 - \sigma(\text{He}^3 - \text{He}^3)$ и $\text{He}^4 - \sigma(\text{He}^4 - \text{He}^4)$ одинаковы и равны сечению обмена метастабильностью между атомами He^3 и $\text{He}^4 - \sigma(\text{He}^3 - \text{He}^4)$, так как эти сечения не должны зависеть от ядерных моментов. Такое утверждение представляется неочевидным из-за различия в энергиях возбуждения метастабильного $2\ ^3S_1$ состояния у изотопов He^3 и He^4 . Это может привести к тому, что

при некоторых экспериментальных условиях сечения обмена метастабильностью между атомами одного и того же изотопа и между атомами разных изотопов гелия окажутся заметно различными.

Настоящая работа посвящена измерению поперечных сечений обмена метастабильностью $\sigma(\text{He}^3 - \text{He}^3)$ и $\sigma(\text{He}^3 - \text{He}^4)$ и выяснению вопроса о степени различия в величинах этих сечений при температуре жидкого азота, при которой это различие должно быть существенно большим, чем при комнатной температуре.

Для нахождения этих поперечных сечений определялась зависимость ширины линии магнитного резонанса оптически ориентированных атомов He^3 и He^4 в 2^3S_1 состоянии от процентного содержания He^3 в смеси изотопов $\text{He}^3 - \text{He}^4$ при постоянном общем давлении газа. Вклад обмена метастабильностью в ширину линии магнитного резонанса определяется столкновениями следующих трех типов:

- 1) $\text{He}^{3*} + \text{He}^3 \rightarrow \text{He}^3 + \text{He}^{3*}$,
- 2) $\text{He}^{3*} + \text{He}^4 \rightarrow \text{He}^3 + \text{He}^{4*}$,
- 3) $\text{He}^{4*} + \text{He}^3 \rightarrow \text{He}^4 + \text{He}^{3*}$

(звездочкой обозначены атомы, находящиеся в метастабильном 2^3S_1 состоянии).

Рассмотрение этих процессов показывает, что их вклад в ширину линии магнитного резонанса дается выражениями

$$(\Delta\omega)_{3/2} = \frac{4}{9} \alpha N \bar{v}_1 \sigma_1 + (1 - \alpha) N \bar{v}_2 \sigma_2, \quad (1)$$

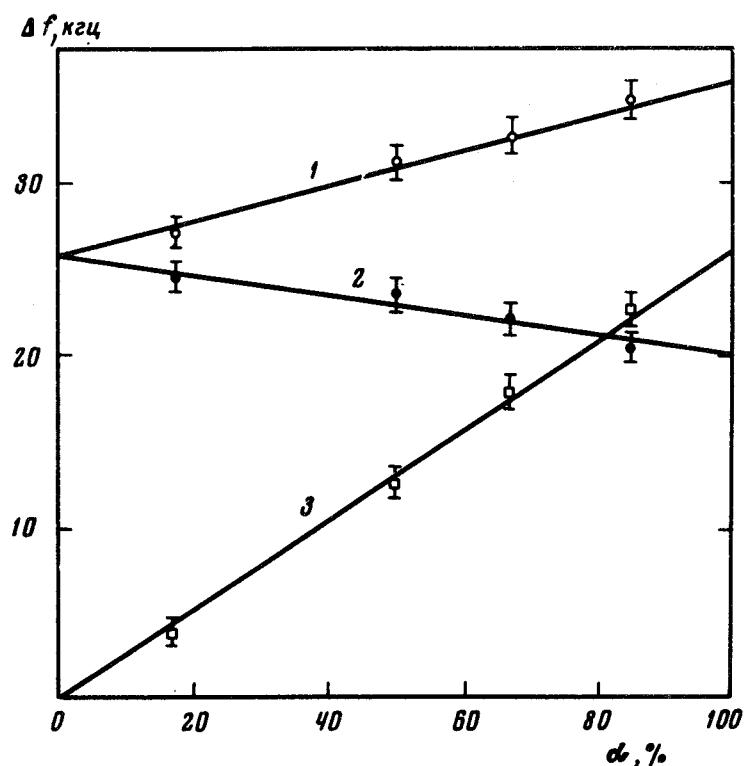
$$(\Delta\omega)_{1/2} = \frac{7}{9} \alpha N \bar{v}_1 \sigma_1 + (1 - \alpha) N \bar{v}_2 \sigma_2, \quad (2)$$

$$(\Delta\omega)_{\text{He}^4} = \alpha N \bar{v}_2 \sigma_2. \quad (3)$$

Здесь: $(\Delta\omega)_{3/2}$ и $(\Delta\omega)_{1/2}$ – половины ширин линий магнитного резонанса He^3 в 2^3S_1 состоянии с $F = 3/2$ и $F = 1/2$ $(\Delta\omega)_{\text{He}^4}$ – половина ширины линии магнитного резонанса He^4 в 2^3S_1 состоянии, N – плотность атомов гелия в рабочей ячейке, $\alpha = N_{\text{He}^3}/N$ – доля атомов He^3 в смеси изотопов гелия, \bar{v}_1 и \bar{v}_2 – средние относительные скорости для атомов $\text{He}^3 - \text{He}^3$ и $\text{He}^3 - \text{He}^4$ соответственно, $\sigma_1 = \sigma(\text{He}^3 - \text{He}^3)$ и $\sigma_2 = \sigma(\text{He}^3 - \text{He}^4)$. Коэффициенты $4/9$ и $7/9$ учитывают неполное разрушение ориентаций в состояниях с $F = 3/2$ и $F = 1/2$ при столкновениях атомов He^3 друг с другом [1, 2]. Выражения (1) – (3) и использовались нами для вычисления поперечных сечений обмена метастабильностью.

В эксперименте применялась хорошо известная техника оптической ориентации 2^3S_1 метастабильных атомов гелия [3]. Для опытов со смесями изотопов $\text{He}^3 - \text{He}^4$ использовался набор камер поглощения с

суммарными давлениями 0,3 и 0,4 тор. Камера поглощения была погружена в жидкий азот и в ней возбуждался слабый высокочастотный газовый разряд. Оптическая ориентация атомов гелия осуществлялась циркулярно поляризованным светом лампы с изотопом He^4 . Регистрация резонансных сигналов проводилась по поглощению света накачки 1,08 мкм.



Зависимость ширин линий магнитного резонанса оптически ориентированных атомов гелия в смесях изотопов $\text{He}^3 - \text{He}^4$ от процентного содержания He^3 при полном давлении 0,3 тор: 1 — ширины резонансных линий He^3 в 2^3S_1 состоянии с $F = 1/2$, 2 — ширины резонансных линий He^3 в 2^3S_1 состоянии с $F = 3/2$, 3 — ширины резонансных линий He^4 в 2^3S_1 состоянии

На рисунке приведены зависимости ширии линий магнитного резонанса от концентрации He^3 при общем давлении 0,3 тор. В данные рисунка введены поправки на радиочастотное уширение, модуляционные эффекты, неоднородность постоянного магнитного поля, влияние разряда и диффузии метастабильных атомов к стенкам ячейки. Из рисунка видно, что при увеличении концентрации атомов He^3 линия магнитного резонанса He^4 существенно уширяется. Линия магнитного резонанса атомов He^3 в состоянии с $F = 1/2$ при этом незначительно уширяется, в то время как линия магнитного резонанса в состоянии с $F = 3/2$ несколько сужается. С помощью этих экспериментальных зависимостей были рассчитаны поперечные сечения обмена метастабильностью. Эти

сечения имеют значения

$$\sigma_1 = (1,41 \pm 0,11) \cdot 10^{-16} \text{ см}^2,$$

$$\sigma_2 = (0,78 \pm 0,06) \cdot 10^{-16} \text{ см}^2.$$

Таким образом, при азотной температуре отношение поперечных сечений обмена метастабильностью равно $\sigma_2/\sigma_1 = 0,58 \pm 0,09$.

Полученный результат указывает на существенное различие величин поперечных сечений обмена метастабильностью $\sigma(\text{He}^3 - \text{He}^3)$ и $\sigma(\text{He}^3 - \text{He}^4)$ при низких температурах. Это, по-видимому, связано с нерезонансным характером обмена метастабильностью при столкновении атомов разных изотопов гелия. Похожие эффекты рассматривались авторами работы [4] в случае изотопов ртути.

Действительно, при столкновении атомов He^3 и He^4 , один из которых находится в основном 1^1S_0 состоянии, а другой — в метастабильном 2^3S_1 состоянии, дефект резонанса при обмене метастабильностью составляет $\Delta E \approx 6 \text{ см}^{-1}$ [5]. Здесь ΔE — разность энергий возбуждения 2^3S_1 состояния атомов He^3 и He^4 . Такой дефект резонанса существует при обмене метастабильностью при низких температурах, так как в этом случае $\tau_{\text{обм}} \Delta E \sim h / 2\pi$, где $\tau_{\text{обм}}$ — время обмена метастабильностью, определяемое эффективной областью взаимодействия и скоростью атомов гелия, h — постоянная Планка. Кроме того, различие в потенциальных энергиях симметричного и антисимметричного возбужденных состояний квазимолекулы He_2^* [6, 7], определяющее поперечное сечение обмена метастабильностью, может стать достаточно малым и сравнимым по величине с дефектом резонанса.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
18 июля 1975 г.

Литература

- [1] J.Dupont-Roc, M.Leduc, F.Laloë. Phys. Rev. Lett., 27, 467, 1971.
- [2] J.Dupont-Roc, M.Leduc, F.Laloë. J. Physique, 34, 961, 1973.
- [3] F.D.Colegrove, L.D.Schearer, G.K.Walters. Phys. Rev., A135, 353, 1964.
- [4] J.C.Gay, A.Omont. J. Physique, 35, 9, 1974.
- [5] С.Э.Фриш. Оптические спектры атомов, М. — Л., 1963.
- [6] R.A.Buckingham, D.Dalgarno. Proc. Roy. Soc., A213, 327, 1952.
- [7] H.J.Kolker, H.H.Michels. J. Chem. Phys., 50, 1762, 1969.