

А. П. КАЛИНИН, В. Б. ЛЕОНАС

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ
АТОМОВ He В ОСНОВНОМ И МЕТАСТАБИЛЬНОМ 2^3S
СОСТОЯНИЯХ

(Представлено академиком Г. И. Петровым 21 III 1972)

Целью настоящей работы является исследование термов возбужденной молекулы He_2^+ ($2^3\Sigma_{u,g}^+$) методом упругого рассеяния.

До последнего времени экспериментальное исследование взаимодействия между метастабильными атомами гелия и атомами гелия в основном состоянии проводилось, как правило, в условиях столкновений с тепловыми энергиями, не позволявших «заглянуть» за предсказываемые теорией потенциальные барьеры ⁽¹⁾ для симметричного и антисимметричного состояний молекулы He_2^+ . Используя технику упругого рассеяния быстрых пучков, в данной работе изучено дифференциальное рассеяние атомов $He(2^3S)$ в гелии, соответствующее области малых расстояний сближения до и за вершинами упомянутых барьеров.

Для измерения дифференциальных сечений в диапазоне приведенных углов $\theta E = 0,4 - 20$ эв·рад ($\theta E \sim V(r)$) использовалась установка, аналогичная описанной в ⁽²⁾; энергия пучка 600 эв в лабораторной системе координат.

Измеренный в эксперименте ток рассеянных частиц $I(\alpha)$, α — угол положения детектора относительно оси нерассеянного пучка, связан с дифференциальным сечением рассеяния соотношением

$$I(\alpha) = B \int_0^{\pi/2} \sigma(\theta) f_\alpha(\theta) \sin \theta d\theta \quad (1)$$

(в этом выражении B — константа, включающая параметры эксперимента) позволяющим при известной аппаратной функции $f_\alpha(\theta)$ как решать обратную задачу нахождения $\sigma(\theta)$ по $I(\alpha)$, так и производить свертку известного дифференциального сечения в измеряемый ток.

Метод точного вычисления $f_\alpha(\theta)$ рассмотрен нами ранее ⁽³⁾ и в данных измерениях аппаратная функция была вычислена заново для измененной геометрии пучка и детектора (применение детектора — канального электронного умножителя позволило значительно улучшить угловое разрешение детектора). Для получения пучков метастабильных атомов с энергией 600 эв использовалась перезарядка ионов $He^+(1^1S)$ в парах натрия. Согласно ⁽⁴⁾ для $He^+ + Na$ полные сечения перезарядки в 2^3S - и 2^1S -состояния для $E = 600$ эв относятся как 13,5 : 1; отсюда следует оценка содержания 2^3S -атомов в пучке 93%; действительное содержание будет выше, поскольку геометрия установки такова, что в нейтральный пучок отбираются частицы, отклонившиеся на малый угол, т. е. перезарядившиеся с наименьшим дефектом энергии.

Детектирование пучка осуществлялось в режиме дискретного счета. Использование высоких энергий пучка приводит к тому, что детектор различает частицы в основном и возбужденном состояниях; соответственно измеряемые сечения являются суммой сечений упругого рассеяния и передачи возбуждения.

На рис. 1а сплошной линией показана найденная по $I(\alpha)$ зависимость $\sigma(\theta)$.

Непосредственное обращение зависимости $\sigma(\theta)$ в потенциал взаимодействия $V(r)$ из-за существования симметричного g и антисимметричного u состояний молекулы He_2^* затруднено. Однако относительная простота электронной структуры системы He_2^* и соответственно надежность неэмпирических теоретических предсказаний V_u и V_g позволяют применить другой путь, аналогичный используемому в молекулярной спектроскопии. Целесообразным оказывается сравнение рассчитанных для теоретического потенциала дифференциальных сечений с измеренным — совпадение можно рассматривать как указание на точность предсказания энергий, и наоборот.

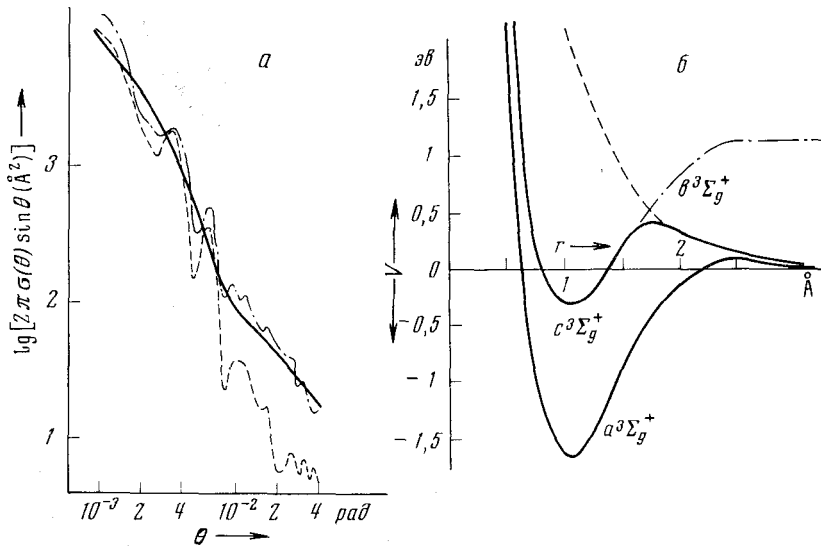


Рис. 1

При оценке теоретических расчетов $(^1, ^5) V_{u, g}$ наиболее надежными представляются результаты работы $(^1)$, показанные на рис. 1б сплошными линиями.

Измеряемые полные дифференциальные сечения (упругого рассеяния и передачи возбуждения), согласно $(^6)$, можно описать соотношением

$$\sigma(\theta) = \frac{1}{2} [|f_g(\theta)|^2 + |f_u(\theta)|^2], \quad (2)$$

где $f_{u, g}(\theta)$ — амплитуды рассеяния в $V_{u, g}$ -потенциалах, даваемые стандартным выражением

$$f(\theta) = (2ik)^{-1} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) [\exp(2i\eta_l) - 1] P_l(\cos\theta). \quad (3)$$

Вычисление амплитуд рассеяния $f_{u, g}(\theta)$ в квазиклассическом приближении, а по ним сечений $\sigma(\theta)$ проводилось на ЭВМ БЭСМ-4, при этом бесконечный предел суммы заменялся $l_{\max}$, соответствующим

$$b_{\max} = \frac{l_{\max}}{K} \quad (V_{u, g}(b_{\max}) < 10^{-3} \text{ эВ}).$$

На рис. 1а пунктирной линией показан ход вычисленной зависимости $\sigma(\theta)$ для рассеяния на $^3\Sigma_{u, g}^+$ -термах (сплошные линии рис. 1б) молекулы He_2^* . Как видно из сравнения, вычисленная и измеренная зависимости $\sigma(\theta)$ заметно различаются. Это различие не обусловлено неточностью определения $\sigma(\theta)$ по $I(\alpha)$, поскольку такое же различие существует и для $I(\alpha)$. Расхождение вычисленной и измеренной зависимостей $\sigma(\theta)$ и $I(\alpha)$ объясняется отличием реального хода термов от теоретически предсказанного.

Специфической особенностью адиабатического g -терма является наличие барьера, возникшего в результате учета взаимодействия $^3\Sigma_g^+$ -термов, соответствующих системам $\text{He}(1^1S) - \text{He}(2^3S)$ и $\text{He}(1^1S) - \text{He}(2^3P)$ (пунктир и штрих-пунктир соответственно).

Улучшения согласия вычислений и измерений можно ожидать при отказе от адиабатического и привлечении «диабатического» хода g -терма. Ход диабатического g -терма можно получить путем экстраполяции начального участка адиабатической зависимости (рис. 1б, пунктир). Результаты вычисления $\sigma(\theta)$ с использованием $a^3\Sigma_u^+$ -терма и диабатического отталкивательного g -терма показаны на рис. 1а штрих-пунктирной линией.

Обращает внимание значительное улучшение согласия измерений и расчета. Сохраняющиеся даже для свертки $\sigma(\theta)$ в $I(\alpha)$ слабые осцилляции теоретического хода и отсутствие их на экспериментальной зависимости говорят о возможности дальнейшего уточнения диабатического подхода (⁷).

В следующем приближении можно учесть эффект $^3S - ^3P$ -переходов при прохождении точки сближения соответствующих термов.

В заключение авторы выражают благодарность С. С. Замощниковой за помощь в расчетах.

Институт космических исследований
Академии наук СССР
Москва

Поступило
13 III 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. J. Kolker, Н. Н. Michels, J. Chem. Phys., **50**, 1763 (1969). ² А. П. Калинин, В. Б. Леонас, Письма ЖЭТФ, **14**, 481 (1971). ³ А. П. Калинин, В. Б. Леонас, А. В. Сермягин, Вестн. Московск. ун-в. сер. физ., № 3, 245 (1971).
- ⁴ Е. J. Думан, VII ICPEAC, abstract of papers, Amsterdam, 1971, p. 471. ⁵ D. J. Klein, E. M. Greenawalt, F. A. Matsen, J. Chem. Phys., **47**, 4820 (1967).
- ⁶ Н. Мотт, Г. Месси, Теория атомных столкновений, М., 1969. ⁷ S. A. Evans, N. F. Lane, Phys. Rev., **4A**, 2235 (1971).