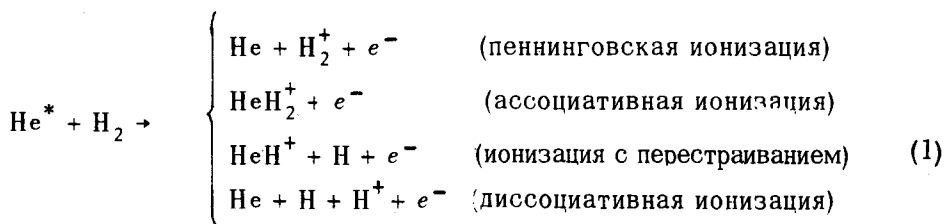


ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 2^3S_1 МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМОВ He С МОЛЕКУЛАМИ H_2 МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ АТОМОВ

Р. А. Житников, В. А. Картошкин, Г. В. Клементьев

С помощью оптической ориентации атомов гелия исследовалась реакция ионизации молекулярного водорода 2^3S_1 метастабильными атомами гелия. Определена температурная зависимость полного сечения ионизации в интервале температур 77 – 300К. Установлено, что это сечение резко уменьшается с уменьшением температуры.

В последнее время взаимодействие молекулярного водорода с атомами гелия привлекает все большее внимание. Система He + H_2 содержит небольшое число электронов и для нее можно провести весьма точные расчеты различными методами. Результаты таких расчетов для случая, когда атом гелия находится в метастабильном состоянии He* были сообщены в [1, 2]. Из-за большой энергии возбуждения He* (19,82 эв для 2^3S_1 и 20,61 эв для 2^1S_0 состояния) образующаяся при столкновении квазимолекула He*– H_2 нестабильна относительно автоионизации. При этом возможны следующие реакции:



В [1, 2] проводится теоретический расчет полного сечения ионизации, которое является суммой сечений всех каналов реакции (1).

До настоящего времени экспериментальное исследование реакции (1) проводилось путем изучения послесвечения продуктов реакции [3] или с использованием молекулярных пучков [4]. В [2] представлена сводка экспериментальных данных о полных сечениях ионизации водорода гелием в 2^3S_1 состоянии при 300К. Так, согласно [3], это сечение $\sigma_{H_2} = (1,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$, а согласно [4], оно равно $(3,4 \pm 0,7) \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$. Такое различие результатов эксперимента объясняется трудностями в разделении синглетного и триплетного каналов реакции (1) (т. е. реакции с гелием в 2^1S_0 и 2^3S_1 состояниях), а также необходимостью оценки степени отличия в распределении частиц по скоростям от максвелловского.

В настоящей работе реакция (1) впервые исследуется путем оптической ориентации атомов гелия в метастабильном 2^3S_1 состоянии. Этот метод позволяет в чистом виде выделить триплетный канал реакции (1), а также получить экспериментальные данные для малых энергий относительного движения сталкивающихся частиц. Изучение реакции (1) проводилось в интервале температур 77 – 300К.

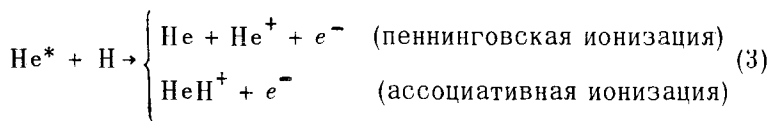
В эксперименте используется хорошо известная техника оптической ориентации атомов гелия в 2^3S_1 состоянии [5]. В камере поглощения, заполненной смесью He^4 (0,36 тор) и H_2 (0,019 тор) (при 300К), возбуждался слабый газовый разряд, переводивший часть атомов из основного 1^1S_0 в метастабильное 2^3S_1 состояние. Атомы гелия в 2^3S_1 состоянии оптически ориентировались с помощью циркулярно поляризованного света с длиной волны $\lambda = 10830\text{Å}$ (переход $2^3S_1 \rightarrow 2^3P$). Наблюдался магнитный резонанс оптически ориентированных 2^3S_1 атомов гелия. Добавление к гелию водорода приводит к разрушению метастабильного состояния атомов гелия в результате реакции (1). Это вызывает уширение резонансной линии 2^3S_1 атомов гелия. Для выделения вклада в ширину резонансной линии, обусловленного реакцией (1), определялась ширина линии магнитного резонанса 2^3S_1 атомов в чистом гелии при тех же экспериментальных условиях. Сечение ионизации σ_{H_2} находилось из формулы:

$$\pi \Delta f = N_{H_2} v \sigma_{H_2}. \quad (2)$$

Здесь Δf – вклад в ширину резонансной линии из-за реакции (1), v – средняя относительная скорость для системы $He - H_2$.

Экспериментальные исследования проводились с использованием установки, описанной в [7].

Однако разрушение метастабильного состояния атомов гелия при добавлении водорода может происходить не только благодаря реакции (1), но и при столкновениях с H , H_2^+ , H_3^+ , HeH^+ и т. д. Так, с атомарным водородом возможны следующие реакции:

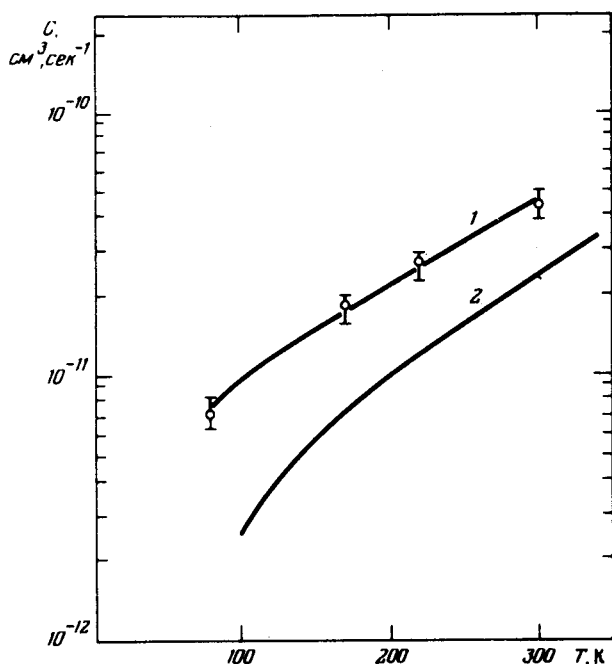


Согласно [6], полное сечение реакции (3) $\sigma_H = 3,3 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ (при 300К). Число атомов водорода N_H при условиях нашего эксперимента не превосходит 10^{-3} от числа молекул водорода N_{H_2} , так что $N_H \sigma_H \ll \ll N_{H_2} \sigma_{H_2}$. Следовательно, реакция (3) дает пренебрежимо малый вклад в ширину резонансной линии по сравнению с реакцией (1).

С целью экспериментальной оценки вклада реакции (3), а также реакций с H_2^+ , H_3^+ , HeH^+ и т. д., в разрушение метастабильного состояния атомов гелия определялась ширина резонансной линии при разных интенсивностях разряда. Так как при небольших интенсивностях разряда количество H , H_2^+ , H_3^+ , HeH^+ растет с ростом интенсивности разряда то в случае заметной их роли следовало бы ожидать изменения ширины резонансной линии атомов гелия при изменении интенсивности разряда. Однако такого изменения не наблюдалось, что подтверждает

вывод о малой роли этих частиц по сравнению с H_2 в процессе разрушения метастабильного состояния атомов гелия.

Таким образом, сечение ионизации молекулярного водорода практически совпадает с сечением разрушения метастабильного состояния атомов гелия, обусловленного добавлением водорода.



Зависимость от температуры константы скорости реакции ионизации молекул H_2 атомами гелия в 2^3S_1 состоянии: кривая 1 — экспериментальные значения; кривая 2 — теоретический расчет [2]

В таблице представлены результаты определения поперечных сечений ионизации σ_{H_2} , полученные из экспериментальных данных с помощью выражения (2). Погрешность в определении сечений вызвана ошибками измерения давления водорода и ширины резонансной линии и в среднем составляла $\pm 15\%$.

Полное сечение ионизации молекулы H_2 атомами гелия в 2^3S_1 состоянии при различных температурах

T, K	$\sigma_{H_2}, 10^{-16} \text{ см}^2$
77	$0,69 \pm 0,10$
162	$1,11 \pm 0,16$
220	$1,38 \pm 0,21$
300	$1,53 \pm 0,23$

Следует отметить резкую температурную зависимость сечения ионизации: при изменении температуры от 300 до 77К сечение уменьшается более, чем в два раза. Такое поведение поперечного сечения свидетельствует об отталкивательном характере потенциала взаимодействия между He и H_2 на всех расстояниях, на которые сближаются сталкивающиеся частицы. Это, в частности, позволяет осуществить оптическую ориентацию атомов гелия при больших концентрациях примеси водорода путем понижения температуры камеры поглощения. Так, при 77К удалось наблюдать оптическую ориентацию и магнитный резонанс атомов гелия в камере поглощения, содержащей 0,36 тор He⁴ и 0,034 тор H₂.

На рисунке приведены константы скорости реакции (1) $C = \sigma_{H_2} v$, полученные экспериментально в настоящей работе (кривая 1) и теоретически рассчитанные в [2] (кривая 2). Ход экспериментальной зависимости согласуется с теоретическим расчетом. Количественные различия в кривых 1 и 2 на рисунке обусловлены приблизительным характером модели, положенной в основу расчета в [2].

Таким образом, с помощью метода оптической ориентации атомов удалось исследовать процесс ионизации молекулы H₂ только 2³S₁ метастабильными атомами гелия, а также провести изучение этого процесса при низких энергиях сталкивающихся частиц.

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

Поступила в редакцию
29 сентября 1977 г.

Литература

- [1] A.P.Hickman, A.D.Isaakson, W.H.Miller. J.Chem. Phys., **66**, 1492, 1977.
- [2] J.S.Cohen, N.F.Lane. J.Chem. Phys., **66**, 586, 1977.
- [3] W.Lindinger, A.L.Schmeltekopf, F.C.Fehsenfeld. J.Chem. Phys., **61**, 2890, 1974.
- [4] J.C.Howard, J.P.Riola, R.D.Rundel, R.F.Stebbing. J. Physics, **B6**, 109, 1973.
- [5] L.D.Scheerer. Advances in Quantum Electronics (New-York, 1961).
- [6] W.H.Miller, C.A.Slocumb, H.F.Schaefer. J. Chem. Phys., **56**, 1347, 1972.
- [7] Р.А.Житников, В.А.Картошкин, Г.В.Клементьев, Л.В.Усачева. ЖЭТФ, **71**, 1761, 1976.