

Отметим, что иная трактовка независимых эффектов содержится в работе [3], которая, однако, не позволяет дать простого объяснения результатов как данной работы, так и работы [3].

В заключение считаем своим долгом поблагодарить за помощь, оказанную при обсуждении результатов, И. П. Мазанько и Э. Е. Фрадкина.

Литература

- [1] С. Г. Зейгер. Канд. дисс., ЛГУ, 1967.
 [2] С. Г. Зейгер. Тез. докл. Всесоюзн. симп. по физике газовых лазеров, Изд. АН СССР, 1969.
 [3] И. А. Андропова, И. Л. Берштейн. ЖЭТФ, 57, 1, 1969.

Поступило в Редакцию 5 ноября 1969 г.

УДК 539.196.2

ФУНКЦИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЛИНИЙ СПЕКТРА HeI, ИСПУСКАЕМЫХ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ИОНОВ He⁺ С МОЛЕКУЛАМИ H₂

Г. Н. Полякова, В. Ф. Ерко и А. В. Зац

Функции возбуждения $\sigma(v)$ (σ — эффективное сечение возбуждения спектральной линии, v — относительная скорость сталкивающихся частиц) линий спектра HeI, испускаемых при столкновениях ионов He⁺ с атомами He и Ne, изучались в работах [1-3]. Авторы указанных работ производили измерения эффективных сечений вплоть до скоростей налетающих ионов He⁺, близких к порогу процесса возбуждения спектральных линий гелия. Ими было обнаружено, что кривая $\sigma(v)$ в области скоростей, где, согласно адиабатической гипотезе Месси, эффективное сечение должно монотонно уменьшаться с уменьшением скорости, имеет несколько максимумов. Теоретическое объяснение структуры кривой $\sigma(v)$ на основе представления о псевдопересечении потенциальных кривых начального и конечного состояний двухатомной квазимолекулы, образующейся во время столкновения, было дано Розенталем [4]. Можно ожидать, что в случае столкновений ионов He⁺ с двухатомными молекулами также будет наблюдаться структура кривой $\sigma(v)$ в адиабатической области. Этот случай отличается от изученных в работах [1-3] процессов ионно-атомных столкновений тем, что при столкновениях ионов с двухатомными молекулами во время столкновения образуется трехатомная квазимолекула. Теоретическая трактовка возможной структуры кривых $\sigma(v)$ для процессов ионно-молекулярных столкновений должна основываться на представлении о пересечении поверхностей потенциальной энергии начального и конечного состояний трехатомной квазимолекулы.

Отсутствие экспериментальных данных, относящихся к кривым $\sigma(v)$ для процессов столкновений медленных ионов с двухатомными молекулами, не давало возможности судить, применимо ли представление о пересечении поверхностей потенциальной энергии к трактовке процессов ионно-молекулярных столкновений. Вследствие этого было желательно получить такие данные для какого-либо конкретного процесса ионно-молекулярного столкновения. В настоящей работе в качестве объекта исследования было выбрано столкновение иона He⁺ с простейшей молекулой H₂. Изучался процесс перезарядки



сопровождающийся образованием возбужденного атома гелия. Эффективные сечения возбуждения линий спектра HeI измерялись в относительных единицах. Энергия ионов He⁺ изменялась в пределах от 100 эв до 30 кэв.

Экспериментальная установка, с помощью которой производились измерения эффективных сечений возбуждения линий HeI, состояла из дугового ионного источника, трехэлектродной линзы, которая ускоряла и фокусировала пучок ионов He⁺, и камеры столкновений. Измерение интенсивностей спектральных линий производилось фотоэлектрическим методом. Более подробное описание экспериментальной установки содержится в работе [5].

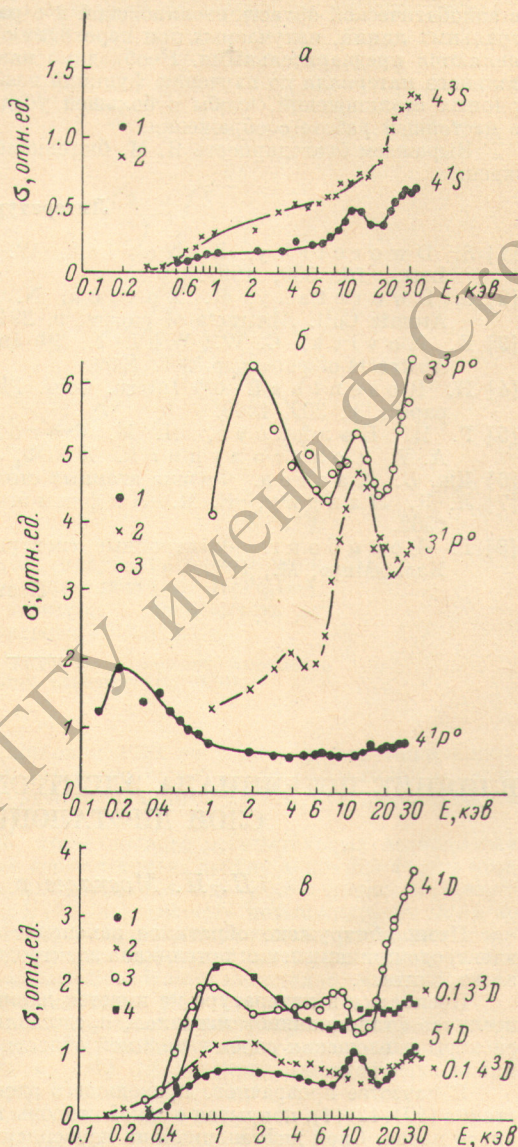
Изучались функции возбуждения девяти спектральных линий гелия, излучаемых при переходах с верхних уровней S , P^0 и D атома гелия. На рисунке приведены кривые $\sigma(v)$ для исследованных спектральных линий: а) для верхних уровней S , б) для уровней P^0 , в) для уровней D .

Как видно из рисунка, в исследованном интервале скоростей почти все кривые $\sigma(v)$ имеют максимумы. Эти максимумы расположены в адиабатической области скоростей, поскольку максимум кривых $\sigma(v)$, согласно адиабатическому критерию [6], существенно смещен по отношению к исследованному интервалу скоростей и должен быть расположен при энергии ионов $\text{He}^+ \approx 120$ кэВ. Главные максимумы процесса (1) с участием метастабильных ионов He^+ также смещены в сторону больших энергий по отношению к исследованному интервалу энергий ионов He^+ . Возможной причиной появления максимумов в адиабатической области скоростей может быть пересечение поверхности потенциальной энергии начального (He^+H_2) и конечного (He H_2^+) состояний трехатомной квазимолекулы.

Из рассмотрения рисунка следует, что форма кривых $\sigma(v)$ для спектральных линий, испускаемых при переходах с верхних S -уровней возбужденных атомов He , отличается от формы соответствующих кривых для линий, испускаемых при переходах с уровней P^0 и D . В первом случае кривая $\sigma(v)$ либо совсем не имеет максимума в исследованном интервале скоростей (уровень 4^3S), либо этот максимум слабо выражен (уровень 4^1S). В случае уровней P^0 и D кривые $\sigma(v)$ имеют по крайней мере по два максимума. Можно предложить следующее объяснение наблюдающемуся различию в форме кривых $\sigma(v)$.

При сближении иона He^+ в основном состоянии 2S с молекулой H_2 в основном состоянии $^1\Sigma_g^+$ образуется линейная квазимолекула He H_2^+ в начальном состоянии Σ^+ . Образование атомов гелия, возбужденных на уровни S , и молекулы H_2^+ в основном состоянии $^2\Sigma_g^+$ происходит при распаде возбужденного состояния Σ^+ трехатомной квазимолекулы. Потенциальные поверхности состояний с одинаковой симметрией (например, $\Sigma^+ - \Sigma^+$ состояний) могут пересечься в одной точке [7]. Иначе обстоит дело с образованием атомов He , возбужденных на уровни P^0 и D . Атомы гелия в состояниях P^0 и D и молекулы H_2^+ в состоянии $^2\Sigma_g^+$ могут получаться при распаде состояния Σ трехатомной квазимолекулы, а также Π (в случае атомов гелия на уровнях P^0) и Δ (для уровней D). Пересечение поверхности потенциальной энергии начального состояния Σ и конечных состояний Π и Δ происходит по линиям. Это отличие должно отражаться на ходе зависимостей $\sigma(v)$ для линий He , начинающихся с уровней S и P^0, D .

Существует еще одно отличие переходов между $\Sigma - \Sigma$ -состояниями и переходов между $\Sigma - \Pi$ - и $\Sigma - \Delta$ -состояниями, которое может привести к различию в форме кривых $\sigma(v)$ для линий спектра HeI , соответственно испускаемых при переходах с S -уровней и P^0 - и D -уровней атома He . Это отличие заключается в том, что состояния Π и Δ трехатомной квазимолекулы могут быть расщеплены вследствие эффекта Реннера—Теллера [8]. Расщепление состояний Π и Δ квазимолекулы может явиться причиной того, что пересечение потенциальных поверхностей, соответ-



Функции возбуждения линий спектра He I .

а: 1 — линия $\lambda=5048 \text{ \AA}$ ($2p^1P^0-4s^1S$), 2 — линия $\lambda=4713 \text{ \AA}$ ($2p^3P^0-4s^3S$); б: 1 — линия $\lambda=3965 \text{ \AA}$ ($2s^1S-4p^1P^0$), 2 — линия $\lambda=5016 \text{ \AA}$ ($2s^1S-3p^3P^0$), 3 — линия $\lambda=3889 \text{ \AA}$ ($2s^3S-3p^3P^0$); в: 1 — линия $\lambda=4388 \text{ \AA}$ ($2p^1P^0-5d^1D$), 2 — линия $\lambda=4471 \text{ \AA}$ ($2p^3P^0-4d^3D$), 3 — линия $\lambda=4922 \text{ \AA}$ ($2p^1P^0-4d^1D$), 4 — линия $\lambda=5876 \text{ \AA}$ ($2p^3P^0-3d^3D$).

вующих этим состояниям, с потенциальной поверхностью начального состояния Σ произойдет по нескольким линиям. Это обстоятельство может обусловить появление нескольких максимумов на кривых $\sigma(v)$ для спектральных линий, испускаемых при переходах с уровней P^0 и D атома гелия.

Высказанные качественные соображения о природе максимумов кривых $\sigma(v)$ в адиабатической области столкновений и о различии формы этих кривых для спектральных линий, излучаемых при переходах с различных верхних уровней атома He, являются предварительными. Необходимо накопление более обширного экспериментального материала по изучению функций возбуждения для процессов ионно-молекулярных столкновений, чтобы с большей убедительностью подтвердить высказанные в настоящей работе соображения.

Выражаем благодарность Я. М. Фогелю за интерес к работе и участие в ее обсуждении.

Литература

- [1] S. D w o r e t s k y, R. N o v i c k, W. W. S m i t h, N. T o l k. Phys. Rev. Lett., 18, 939, 1967.
- [2] S. D w o r e t s k y, R. N o v i c k, N. T o l k. 6th Intern. Conf. Phys. Electr. Atomic Coll. Abstracts of papers, p. 294, 1969.
- [3] R. N o v i c k, S. W. W h i t e. 6th Intern. Conf. Phys. Electr. Atomic Coll. Abstracts of papers, p. 309, 1969.
- [4] H. R o s e n t h a l. 6th Intern. Conf. Phys. Electr. Atomic Coll. Abstracts of papers, p. 309, 1969.
- [5] Г. Н. Полякова, Я. М. Фогель, В. Ф. Ерко, А. В. Зац, А. Г. Толстолуцкий. ЖЭТФ, 54, 374, 1968.
- [6] Дж. Б. Хастед. Физика атомных столкновений. Изд. «Мир», М., 1962.
- [7] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Квантовая механика. Физматгиз, М., 1963.
- [8] Г. Герцберг. Электронные спектры и строение многоатомных молекул. Изд. «Мир», М., 1969.

Поступило в Редакцию 22 декабря 1969 г.

УДК 535.34 : 546.6

ВЛИЯНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРОДА НА СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ СЛОЯ ДИФТАЛОЦИАНИНА РЗЭ

П. Н. Москалев и И. С. Кирич

Нами обнаружено обратимое изменение окраски слоя дифталлоцианина РЗЭ на электроде при изменении потенциала электрода, погруженного в раствор нейтрального электролита.

Поскольку в литературе не имеется данных, относящихся к подобному явлению в случае фталлоцианинов металлов, представляло интерес выяснить, как изменяются спектры поглощения слоев в видимой области спектра с изменением величины потенциала электрода.

В качестве прозрачного проводящего электрода использовалась стеклянная пластинка ($40 \times 12 \times 1$), покрытая с одной стороны прозрачной пленкой полупроводниковой окиси олова. Слой дифталлоцианина наносился на проводящую поверхность электрода путем натирания, а в случае наиболее устойчивого дифталлоцианина лютеция напылением в высоком вакууме.

Метод получения препаратов дифталлоцианинов РЗЭ состава $H[(C_{32}H_{16}N_8)_2Ln]$ описан нами ранее [1, 2].

Электрохимической ячейкой служила фотометрическая кювета. Фотометрируемый электрод с нанесенным слоем красителя и вспомогательный электрод закреплялись в полиэтиленовой крышке кюветы. Анодное и катодное пространства ячейки были разделены с помощью стеклянного шлифа. Потенциал исследуемого электрода измерялся относительно насыщенного каломельного элемента (НКЭ). Ток через ячейку при поляризации электрода от стабилизированного источника напряжения не превышал $4 \cdot 10^{-2}$ ма.

Ячейка, заполненная 0.1 N раствором KCl в воде, находилась в кюветном отделении спектрофотометра СФ-10. Через электролит можно было продувать аргон или кислород.

Измерения проводились в такой последовательности. Сначала через электролит в ячейке продувался аргон или кислород. Затем на прозрачный электрод подавался потенциал и через две-три минуты (время, гарантирующее установление спектральной характеристики слоя при данном потенциале) записывался спектр поглощения слоя.