

ФОТОИОНИЗАЦИЯ ГЕЛИЯ ИЗ ВОЗБУЖДЕННОГО СОСТОЯНИЯ $4p^1P_1$

В.П.Белик, С.В.Бобашев, Л.А.Шмаенок

Экспериментально определено сечение фотоионизации гелия из возбужденного состояния $4p^1P_1$ излучением с длиной волны $1,06 \text{ мкм}$. $\sigma = (3,9 \pm 1,5) \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$.

На новой экспериментальной установке, в которой для исследования фотоатомных процессов используется излучение лазерной плазмы, измерено сечение фотоионизации гелия из возбужденного состояния $4p^1P_1$ квантом с энергией $1,17 \text{ эв}$ ($\lambda = 1,06 \text{ мкм}$). Насколько нам известно, экспериментальные исследования фотоионизации атомов из короткоживущих состояний с энергией, большей нескольких электроновольт, до настоящего времени не проводились.

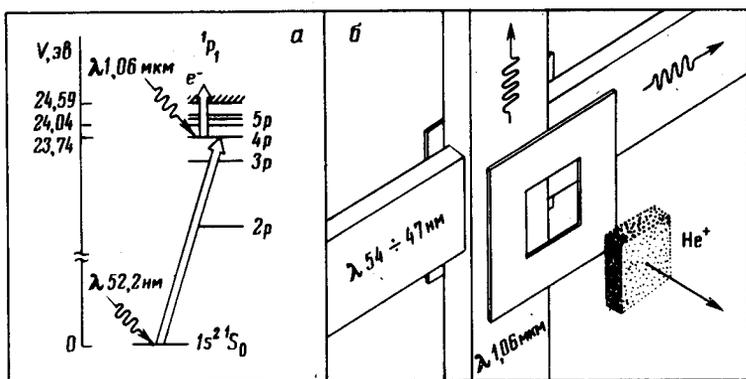


Рис. 1. а — Оптические переходы в He, приводящие к ионизации состояния $4p^1P_1$. б — геометрия облучения газа и сбора ионов

Гелий при давлении $5 \cdot 10^{-4} \text{ мм рт. ст.}$ облучался импульсным монохроматическим потоком фотонов в диапазоне длин волн $54 \pm 47 \text{ нм}$ и импульсным потоком фотонов с длиной волны $1,06 \text{ мкм}$. Факт ионизации атома He из возбужденного состояния при одновременном действии обоих пучков регистрировался по выходу однозарядных ионов He^+ . На рис. 1, а изображена схема уровней He с оптическими переходами, приводящими к ионизации. Геометрия облучения газа иллюстрируется рисунком 1, б.

Источником вакуумных ультрафиолетовых (ВУФ) фотонов служила плазма, создававшаяся на танталовой мишени моноимпульсом неодимового лазера с энергией 80 Дж при плотности потока $2 \cdot 10^{13} \text{ вт} \cdot \text{см}^{-2}$. Излучение плазмы монохроматизировалось спектрометром, построенным по схеме Сейя — Намиока, и направлялось в фотоионизационную камеру, содержащую гелий. Величина плотности потока ВУФ квантов, измеренная методом [1], была $\sim 5 \cdot 10^{17} \text{ нм}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$. Однозарядные ио-

ны гелия выделялись с помощью времяпролетного масс-спектрометра, и при их регистрации на экране широкополосного запоминающего осциллографа появлялся пик с амплитудой, пропорциональной числу ионов.

На рис. 2 пунктирная кривая показывает выход ионов He^+ при облучении газа только потоком ВУФ фотонов. Длина волны излучения в первом порядке спектрального разложения изменяется в диапазоне $54 \div 47 \text{ нм}$. Появление ионов He^+ при $\lambda > 50,4 \text{ нм}$ обусловлено ионизацией He излучением во втором порядке разложения. В области длин волн $\lambda < 50,4 \text{ нм}$ происходит ионизация He излучением в обоих порядках. По положению и форме контура края поглощения He (рис. 2) производилась градуировка спектрометра по длинам волн и определялась степень монохроматичности $\Delta\nu$ пучка ВУФ квантов.

Пучок ионизирующих фотонов с длиной волны $1,06 \text{ мкм}$ создавался путем ответвления части энергии излучения неодимового лазера, предназначенного для образования плазмы.

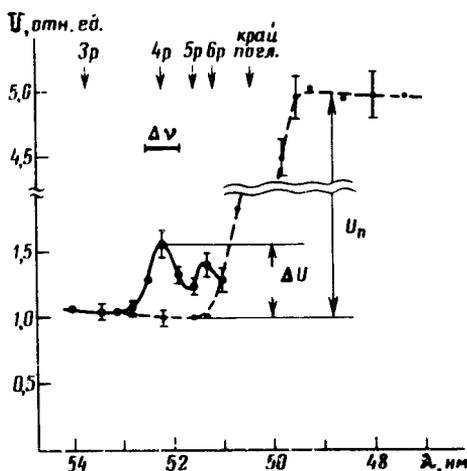


Рис. 2. Выход однозарядных ионов гелия U в зависимости от длины волны λ ВУФ излучения вблизи края поглощения He (пунктирная кривая). Шкала λ соответствует первому порядку спектрального разложения. Сплошная кривая — выход ионов He^+ при совместном действии ВУФ излучения и излучения с $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$

Сплошная кривая на рис. 2 изображает выход ионов He^+ в зависимости от длины волны ВУФ излучения при совместном действии обоих световых пучков. Резонансное увеличение выхода ионов He^+ около спектральной точки $\lambda = 52,2 \text{ нм}$ (левый пик) свидетельствует об эффекте ионизации He из возбужденного состояния $4p^1P_1$. Правый максимум, по-видимому, отвечает ионизации гелия из состояния $5p^1P_1$ ($\lambda = 51,6 \text{ нм}$) и более высоких возбужденных состояний.

Отношение добавочного выхода ионов ΔU при $\lambda = 52,2 \text{ нм}$ к выходу ионов U_n при $\lambda = 50,4 \text{ нм}$ использовалось для нахождения абсолютной величины сечения ионизации He из состояния $4p^1P_1$. Измерение величины $\Delta U/U_n$ производилось при фиксированной энергии ионизирующего пучка, определявшейся калориметром ИКТ-1М.

Прошедший через фотоионизационную камеру пучок ВУФ квантов детектировался вторичным электронным умножителем ВЭУ-1А, а пучок квантов с $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ — коаксиальным фотоэлементом. Таким образом были получены осциллограммы импульсов возбуждающего и ионизирующего излучений, приведенные на рис. 3. Из этого рисунка видно, что ионизация He из возбужденного состояния происходит в интервале времени $0 \div t_1$.

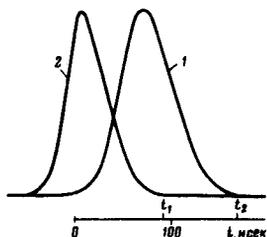


Рис. 3. Осциллограммы импульсов ВУФ (1) и ионизирующего (2) излучений

В контрольном эксперименте по измерению выхода ионов Ag^+ было показано, что интенсивность потока ВУФ фотонов в фотоионизационной камере практически постоянна в диапазоне длин волн $54 \div 47 \text{ нм}$.

Число атомов He, возбуждаемых за 1 сек в единичном объеме потоком ВУФ фотонов с интенсивностью $I_1(t)$, равно $2,65 \cdot 10^{-2} f_{1-2} n_0 I_1(t) = C n_0 I_1(t)$. Здесь $f_{1-2} = 0,028$ — сила осциллятора перехода $1s^2 1S_0 - 1s 4p^1P_1$ [2], n_0 — плотность газа. Вероятность ионизации за 1 сек атома, находящегося в возбужденном состоянии и облучаемого потоком квантов с интенсивностью $I_2(t)$, равна

$$w(t) = \frac{\sigma I_2(t)}{w_p + \sigma I_2(t)},$$

где $w_p \approx 0,7 \cdot 10^9 \text{ сек}^{-1}$ — вероятность спонтанного распада состояния $4p^1P_1$, σ — искомое сечение фотоионизации. Следовательно, добавочный выход ионов He^+ при $\lambda = 52,2 \text{ нм}$ — ΔU — пропорционален величине

интеграла

$$N_1 = C n_0 \sigma \int_0^{t_1} \frac{I_1(t) I_2(t)}{w_p + \sigma I_2(t)} dt.$$

С другой стороны, поток ВУФ фотонов с $\lambda = 50,4$ нм при той же интенсивности $I_1(t)$ создает за время t_2 (см. рис. 3) в единице объема газа количество ионов He^+ , равное

$$N_2 = \sigma_n n_0 \Delta\nu \int_0^{t_2} I_1(t) dt$$

и пропорциональное выходу ионов U_n . Здесь σ_n — известное пороговое сечение фотоионизации He из основного состояния [3]. Таким образом, определение величины σ сводится к решению уравнения

$$C \sigma \int_0^{t_1} \frac{I_1(t) I_2(t)}{w_p + \sigma I_2(t)} dt = \sigma_n \Delta\nu \frac{\Delta U}{U_n} \int_0^{t_2} I_2(t) dt.$$

Величина сечения фотоионизации He из возбужденного состояния $4p^1P_1$, найденная при энергии ионизирующего пучка $0,2$ дж, оказалась равной $\sigma = (3,9 \pm 1,5) \cdot 10^{-18}$ см².

Авторы благодарны В.В.Афросимову и В.М.Дукельскому за постоянный интерес к работе.

Политехнический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 апреля 1977 г.

Литература

- [1] В.В.Афросимов, В.П.Белик, С.В.Бобашев, Л.А.Шмаенок, Письма в ЖЭТФ, 1, 851, 1975.
- [2] С.Э.Фриш. Оптические спектры атомов. Физматгиз, 1963 г.
- [3] D. I. Baker, D. E. Tomboulian, D. L. Ederer. Phys. Rev., 137A, 1054, 1961.