

ОБОБЩЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СИЛЫ ОСЦИЛЛЯТОРОВ АТОМА ГЕЛИЯ ВБЛИЗИ АВТОИОНИЗАЦИОННОГО $(2s\ 2p)^1P^{(-)}$ -СОСТОЯНИЯ

В. В. Балашов, С. С. Липовецкий и В. С. Сенашенко

В работе вычислены обобщенные дифференциальные силы осцилляторов в широком интервале значений передаваемого импульса при значениях потерь энергии рассеянных электронов, близких к энергии возбуждения автоионизационного $(2s\ 2p)^1P^{(-)}$ -состояния атома гелия. Расчеты проведены с учетом экспериментальной неопределенности в значениях потерь энергии. Полученные результаты сравниваются с имеющимися опытными данными. Из расчетов хорошо видно влияние $^1P^{(-)}$ -резонанса на величину обобщенной дифференциальной силы осциллятора. Некоторое систематическое превышение опытных данных над теоретическими, полученными с учетом $^1P^{(-)}$ -резонанса, показывает, что измеренные величины содержат определенный вклад близко расположенных резонансов.

В работе [1] были рассмотрены ряд характеристик процесса ионизации атомов гелия быстрыми электронами, включая дифференциальные сечения возбуждения $^1P^{(-)}$ -состояний (обобщенные силы осцилляторов) и спектры потерь рассеянных электронов под различными углами (обобщенные дифференциальные силы осцилляторов). Для сравнения проведенных расчетов с экспериментом обратимся к статье Ласетра и Сильвермана [2]. До настоящего времени это единственная работа, где в широком интервале передаваемого импульса получены обобщенные дифференциальные силы осцилляторов при таких значениях потерь, которые близки к энергии возбуждения автоионизационного $(2s\ 2p)^1P^{(-)}$ -состояния.

Несколько лет назад часть экспериментальных результатов Ласетра и Сильвермана обсуждал Фано [3], который анализировал асимметричную форму резонанса $^1P^{(-)}$ при нулевом угле вылета рассеянных электронов. Все параметры резонанса $^1P^{(-)}$, полученные из такого анализа, хорошо соответствуют экспериментальным данным по фотопоглощению [4], отличающимся особенно высокой надежностью. Так, параметр формулы Фано E_0 , характеризующий положение резонанса, оказывается равным, из данных по фотопоглощению [4], $E_0 = 60.11$ эв.

Используя результаты работы [1], можно было бы обсудить экспериментальные данные Ласетра и Сильвермана, относящиеся ко всей области исследованных ими углов. Однако здесь возникают некоторые затруднения. Данные Ласетра и Сильвермана отвечают следующим значениям потерь энергии рассеянных электронов: 58.9, 60.0 и 61.3 эв. Их близость к энергии возбуждения резонанса $^1P^{(-)}$ не позволяет сравнить расчеты с экспериментом без учета того, с какой неопределенностью установлены эти значения энергетических потерь. К сожалению, в самой экспериментальной работе [2] эта неопределенность не указана. Лишь косвенным образом (см. сноску на стр. 1870 в работе [3]) можно судить о том, что она порядка 0.4 эв. При таком разрешении надо ожидать заметного влияния резонанса $^1P^{(-)}$ на величину обобщенной дифференциальной силы осциллятора, определенной при средней энергии в окрестности резонанса. Действительно, даже самые обстоятельные расчеты обобщенной дифференциальной силы

осциллятора [5], выполненные с довольно сложными волновыми функциями начального и конечного состояний, но без учета резонансов, дают величину, которая при средней энергии 60.0 эв примерно вдвое меньше экспериментальной.

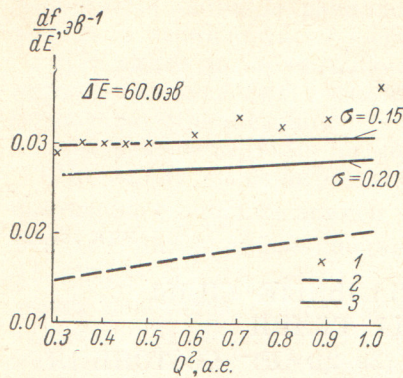


Рис. 1. Средняя обобщенная дифференциальная сила осцилляторов при $\Delta E = 60.0$ эв.

1 — экспериментальные данные из работы [7], 2 — величина $\frac{df}{dE} = \left(\frac{df}{dE}\right)_{\text{фон.}} + \left(\frac{df}{dE}\right)_{\text{рез.}}$, 3 — величина $\frac{df}{dE}(E, Q^2)$ для двух значений σ : $\sigma = 0.20$ эв и $\sigma = 0.15$ эв.

ионизации; ε — относительное отклонение от резонанса, отсчитанное от экспериментального значения 60.11 эв; $q(Q^2)$ — профильный индекс. В качестве весовой функции $\eta(E - \bar{E})$ взято распределение Гаусса

$$\eta(E - \bar{E}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{E - \bar{E}}{\sigma}\right)^2\right].$$

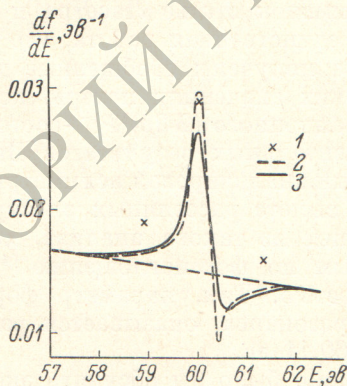


Рис. 2. Профиль $(2s2p) {}^1P^{(-)}$ резонанса, вычисленный при $E = 500$ эв и $Q^2 = 0.3$ а. е. 1 — экспериментальные данные из работы [2], 2 — $\sigma = 0.15$ эв, 3 — $\sigma = 0.20$ эв.

На рис. 1 приведены значения средней величины $\bar{df}(E, Q^2)/dE$, которая получена усреднением обобщенной дифференциальной силы осциллятора $df(E, Q^2)/dE$, рассчитанной в работе [1]

$$\frac{\bar{df}}{dE}(E, Q^2) = \int \eta(E - \bar{E}) \frac{df}{dE}(E, Q^2) dE.$$

Здесь E и $\bar{E}$ — энергия и средняя энергия потерь, Q^2 — квадрат передаваемого импульса. Распределение $df(E, Q^2)/dE$ описывается формулой Фано [6]

$$\frac{df}{dE} = \left(\frac{df}{dE}\right)_{\text{фон.}} + \left(\frac{df}{dE}\right)_{\text{рез.}} \frac{[z + q(Q^2)]^2}{\varepsilon^2 + 1},$$

где $(df/dE)_{\text{фон.}}$ и $(df/dE)_{\text{рез.}}$ — «фоновая» ($l \neq 1$) и «резонансная» ($l = 1$) составляющие обобщенной дифференциальной силы осциллятора, соответствующие прямой и резонансной составляющим. ε — относительное отклонение от резонанса, отсчитанное от экспериментального значения 60.11 эв; $q(Q^2)$ — профильный индекс.

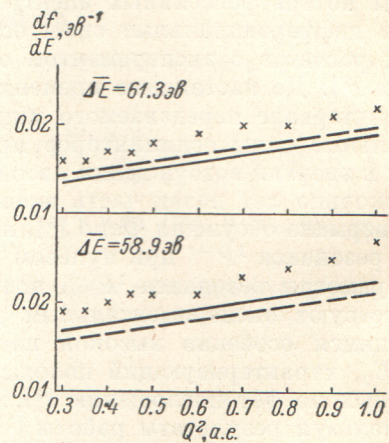


Рис. 3. Средняя обобщенная дифференциальная сила осцилляторов при $\Delta E = 58.9$ и 61.3 эв для $\sigma = 0.20$ эв.

Обозначения те же, что на рис. 1.

Как видно из рис. 1, при энергии 60.0 эв влияние резонанса ${}^1P^{(-)}$ на величину средней обобщенной дифференциальной силы осциллятора действительно хорошо заметно, причем оно существенно зависит от точности проведенных измерений. В целях дополнительной иллюстрации того, насколько чувствительны результаты к величине неопределенности, с которой установлены значения энергии потерь, на рис. 2 показаны из-

менения профиля резонанса в зависимости от σ при определенном значении передаваемого импульса: $Q^2=0.3$.

На рис. 3 приведена величина $\overline{df}(\bar{E}, Q^2)/dE$, рассчитанная с шириной $\sigma=0.20$ эв для двух других значений средней энергии потерь $\Delta E=58.9$ и 61.3 эв. Если в первом из этих случаев учет резонанса $^1P^{(-)}$ слегка улучшает согласие с экспериментом, то во втором это согласие несколько ухудшается. Возможно, что систематическое превышение опытных данных над теоретическими при $\Delta E=61.3$ эв связано с тем, что измеренные величины содержат определенный вклад других близко расположенных резонансов.

Литература

- [1] В. В. Балашов, С. С. Липовецкий, А. В. Павличенков, А. Н. Полюдов, В. С. Сенашенко. Опт. и спектр., 32, 10, 1972; VII ICPEAC, Abstracts of papers. (Amsterdam, N. H.) 1028, 1971.
- [2] E. N. Lassetre, S. M. Silverman. J. Chem. Phys., 40, 1265, 1964.
- [3] U. Fano. Phys. Rev., 124, 1866, 1961.
- [4] В. В. Балашов, С. И. Гришанова, И. М. Круглова, В. С. Сенашенко. Опт. и спектр., 28, 859, 1970; Phys. Lett., 27A, 101, 1968.
- [5] K. L. Bell, A. E. Kingston. J. Phys., B3, 1300, 1970.

Поступило в Редакцию 7 июня 1972 г.