

6. Bertaut E. F., Magnetism, eds G. T. Rado and Suhl, Acad. Press, N.—Y., v. 3, 1963, p. 149.

7. Josida K. J. Appl. Phys., 39, 508, 1968.

Поступила в редакцию  
11.4 1973 г.

Кафедра общей физики  
для биологов

УДК 539.186

**В. В. БАЛАШОВ, Н. М. КАБАЧНИК, И. П. САЖИНА**

## **УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФОРМА РЕЗОНАНСНЫХ ЛИНИЙ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ**

В работах [1, 2] была теоретически рассмотрена резонансная (через автоионизационное состояние) ионизация простейших атомов при их взаимодействии с быстрыми электронами. При этом возможно сильное изменение формы резонансных линий в спектрах электрируемых электронов в зависимости от угла эжекции. Эти заключения проливают свет на причины ряда качественных закономерностей, подмеченных в первых опытах по изучению ионизации быстрыми частицами атомов гелия [3]; однако специальное экспериментальное исследование этого вопроса только начинается.

Интересно знать, в какой мере аналогичные эффекты могут быть присущи и процессу резонансной фотоионизации атомов. Теоретическое изучение этого вопроса становится особенно актуальным в связи с интенсивным развитием в последнее время фотоэлектронной спектроскопии атомов и молекул [4].

Общий формализм для описания угловых распределений и формы резонансных линий электронов при фотоионизации атомов был изложен ранее в [5]. Было показано, что в общем случае форма резонансной линии в спектре фотоэлектронов зависит от угла наблюдения, или, другими словами, форма углового распределения фотоэлектронов меняется с энергией в области резонанса. Совсем недавно аналогичный вопрос был затронут в работах группы Фано [6] в связи с рассмотрением автоионизационных ротационных уровней молекулы водорода. Из расчетов, проведенных в [6], следует, что при фотоионизации молекулы водорода, обсуждаемые эффекты достаточно сильны и могут представлять практический интерес. В данной заметке даются конкретные количественные иллюстрации фотоионизации атомов в условиях, типичных для атомного фотоэффекта.

В случае ионизации атомов электронным ударом главной причиной изменения формы резонанса с углом эжекции является интерференция переходов различной мультипольности [2]. Механизм фотоионизации атомов проще, так как происходит жесткий отбор дипольных переходов. Следовательно, источником эффекта может быть только интерференция переходов, отвечающих разным значениям углового момента фотоэлектронов. С этой точки зрения случай атома гелия (достаточно типичный для ионизации электронным ударом) оказывается тривиальным в задаче о фотоионизации. Ион-продукт образуется в  $s$ -состоянии и, следовательно, угловое распределение фотоэлектронов в резонансе не отличается от углового распределения электронов прямой фотоионизации, а форма резонансной линии при всех углах эжекции совпадает с формой линии фотопоглощения.

Из более тяжелых атомов практический интерес представляет фотоионизация атомов благородных газов, так как здесь при постановке опыта не требуется специальных мер для избавления от молекулярных эффектов.

В данной работе возьмем в качестве примера неон. В атоме неона переходы серии  $2s-np$  соответствуют уровням, которые располагаются выше порога ионизации внешней  $2p$ -оболочки и проявляются как резонансы фотопоглощения. Электроны распада могут находиться в  $s$ - и  $d$ -состояниях и соотношения между амплитудами этих двух каналов, включая их фазовые соотношения, представляют собой ценную спектроскопическую информацию о свойствах распадающихся состояний. Угловые распределения фотоэлектронов оказываются гораздо более чувствительными к этим соотношениям, чем полные сечения фотопоглощения.

В дипольном приближении угловое распределение фотоэлектронов для неполяризованных фотонов описывается формулой

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\sigma}{4\pi} \left( 1 - \frac{1}{2} \beta P_2(\cos \theta) \right). \quad (1)$$

В случае поляризованного излучения тот же параметр  $\beta$  определяет угловое распределение фотоэлектронов относительно вектора поляризации фотонов:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\sigma}{4\pi} (1 + \beta P_2(\cos \varphi)). \quad (2)$$

Полное сечение фотопоглощения  $\sigma(E_\nu)$  для резонанса  $2s2p^63p: 1P^{(-)}$  в Ne, лежащего при энергии 45,2 эв, было рассчитано в работе [7]. Пользуясь матричными элементами, приведенными в этой работе (табл. 2), мы рассчитали дифференциальное сечение фотоионизации. Полученные значения коэффициента  $\beta(E_\nu)$  (см. рис. 1) показывают, что параметр анизотропии углового распределения фотоэлектронов резко ме-

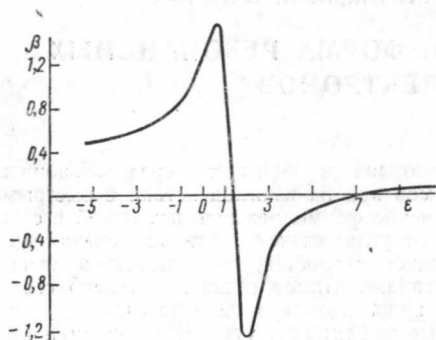


Рис. 1. Коэффициент анизотропии углового распределения фотоэлектронов в области резонанса

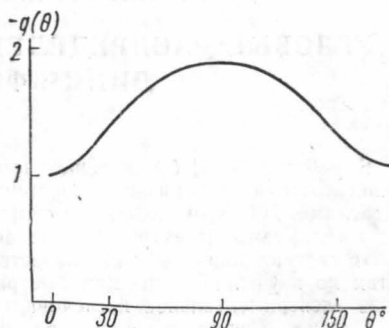


Рис. 2. Изменение профильного индекса резонанса в зависимости от угла эжекции фотоэлектронов

няется в области резонанса и даже меняет знак. Ранее уже обсуждалось аналогичное явление в ядерном фотоэффекте [8].

Для параметризации формы сечения фотопоглощения в окрестности изолированного резонанса обычно используется формула Фано [7]. Резонансные кривые в спектрах фотоэлектронов можно тоже свести к формуле Фано:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) = \sigma_a(\theta) \frac{[q(\theta) + \varepsilon]^2}{1 + \varepsilon^2} + \sigma_b(\theta), \quad (3)$$

хотя ее параметры и не имеют простого физического смысла. Именно такой, формально определенный параметр  $q(\theta)$ , характеризующий профиль резонансной линии под определенным углом эжекции, приведен на рис. 2.

Рассмотренный пример фотоионизации неона показывает, что обсуждаемые эффекты — изменение профиля резонансных линий фотоэлектронов с углом эжекции и резкое изменение коэффициента угловой анизотропии в области резонанса — могут быть в реальных условиях весьма значительными и, на наш взгляд, заслуживают экспериментального изучения.

Авторы благодарны С. И. Гришановой за полезные советы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов В. В., Липовецкий С. С., Павличенков А. В., Полюдов А. Н., Сенашенко В. С. «Оптика и спектроскопия», **32**, 10, 1972; VII ICPEAC Abstracts of papers 2. Amsterdam, North-Holland, 1971, p. 1028.
2. Балашов В. В., Липовецкий С. С., Сенашенко В. С. ЖЭТФ, **63**, 1622, 1972; Phys. Lett., **40 A**, 389, 1972.
3. Melhorn W. Phys. Lett., **21**, 155, 1966; N. Oda et. al. Phys. Rev. Lett., **24**, 42, 1970; Suzuki H., et. al. J. Phys. Soc. Jap., **28**, 534, 1970.
4. Berkowitz J., Chupka W. A. J. Chem. Phys., **51**, 2341, 1969; Вилесов Ф. И. Тезисы доклада на 3-й Всесоюзной конференции по спектроскопии вакуумного ультрафиолета. Харьков, 1972, стр. 55.
5. Балашов В. В., Кабачник Н. М., Сажина И. П. Доклад на 5-й Всесоюзной конференции по физике электронно-атомных столкновений. Ужгород, 1972.
6. Dill D. Phys. Rev., **A6**, 160, 1972; Fano U., Dill D. Phys. Rev., **A6**, 185, 1972.
7. Fano U., Cooper J. W. Phys. Rev., **137A**, 1364, 1965.
8. Балашов В. В., Кабачник Н. М. Phys. Lett., **25B**, 316, 1967.

Поступила в редакцию  
28.5 1973 г.

НИИЯФ