

ВЛИЯНИЕ МНОГОФОТОННОГО РЕЗОНАНСА НА ПРОЦЕСС МНОГОФОТОННОЙ ИОНИЗАЦИИ

Г.А.Делоне, Н.Б.Делоне

При экспериментальном изучении процесса многофотонной ионизации атомов [1, 2] было обнаружено, что функциональная зависимость вероятности многофотонной ионизации от интенсивности излучения изменяется в зависимости от соотношения энергий, соответствующих целым числам квантов и энергии стационарных состояний электрона в атоме. На основании всей совокупности экспериментальных результатов был сделан вывод [3], что только в случае, когда разность между энергиями, соответствующими целым числам квантов и энергиями стационарных состояний атома велика и не существенно изменяется при включении поля (например, из-за штарковского сдвига уровней и т. д.), тогда вероятность ионизации описывается законом $W = AF^{K_0}$, где $K_0 = \langle \frac{I}{\hbar\omega} + 1 \rangle$ - число квантов, необходимое по закону сохранения энергии для вырывания электрона из атома. В остальных случаях [1, 2] из-за близости энергий целых чисел квантов к энергиям стационарных состояний вышеприведенная функциональная зависимость нарушается.

Одной из причин изменения функциональной зависимости может быть ионизация за счет двухступенчатого перехода, т. е. процесса, в котором переход электрона в непрерывный спектр происходит через резонансный уровень [4-8]. Если вероятность одного из переходов с основного состояния на резонансный уровень или перехода с резонансного уровня в непрерывный спектр - становится настолько большой, что наступает насыщение по этому переходу, то функциональная зависимость ве-

роятности ионизации от поля будет определяться только функциональной зависимостью вероятности ненасыщенного перехода от поля. В теоретических работах [4, 6, 7] было показано, что изменение K_0 может также происходить при двухступенчатом процессе ионизации в том случае, когда квазирезонансный уровень сдвигается и уширяется в сильном поле на величину сравнимую с расстройкой резонанса и большую чем естественная ширина уровня.

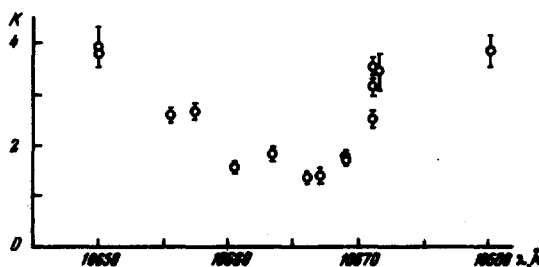
Для исследования влияния резонансного эффекта на процесс многофотонной ионизации был поставлен следующий эксперимент. Атом калия ($I = 4,34 \text{ эВ}$) ионизовался излучением неодимового лазера ($\hbar\omega = 1,17 \text{ эВ}$), работающего в режиме гигантского импульса. Энергия уровня $4f$ калия близка к энергии 3-х квантов неодимового излучения. Для создания 3-х фотонного резонанса длина волны неодимового лазера перестраивалась в пределах от 10590 до 10680 \AA . Перестройка осуществлялась с помощью дисперсионного резонатора, который состоял из вращающейся призмы, выходного зеркала и двух интерферометров Фабри – Перро с $d \sim 40 \text{ мк}$ и $d \sim 250 \text{ мк}$, работающих на пропускание. Изменяя угол наклона интерферометров по отношению к оси резонатора, можно было плавно менять длину волны генерации в указанных пределах. Полуширина линии генерации, измеренная дифракционной решеткой равнялась 4 \AA . Измерения проводились в автоколлимационной схеме. Решетка имела 200 штрих/мм дисперсия в области 10600 \AA равнялась $3,7 \text{ \AA/мм}$. Сфокусированное излучение (линза с фокусом $f = 120 \text{ мм}$) неодимового лазера совмещалось с атомарным пучком калия. Схема измерений была аналогична ранее описанной (см., например, [3]).

В эксперименте при фиксированных частотах излучения измерялась зависимость вероятности 4-х фотонной ионизации (в относительных единицах) от интенсивности излучения (в абсолютных единицах). Частота, полуширина линии и пространственно-временное распределение излучения неодимового лазера поддерживались постоянными и проверялись в течение всего эксперимента. Измерения проводились в поле $1,5 \cdot 10^6 \text{ в/см}$.

Результат измерений представлен на рисунке. По оси абсцисс отложено значение длины волны генерации неодимового лазера. Длина волны излучения соответствующая 3-х фотонному резонансу с уровнем $4f$ калия равна 10665 \AA . По оси ординат отложены экспериментальные значения величины K . Указана среднеквадратичная ошибка K в одной серии измерений. Точность абсолютизации частоты генерации составляла $\pm 2,5 \text{ \AA}$. Следует иметь в виду, что на рисунке экспериментальные точки отнесены к центрам линий генерации (полуширина линии генерации

4 \AA). Ход кривой на рисунке четко показывает, что при уменьшении расстройки между энергией, соответствующей 3-м квантам неодимового излучения и энергией уровня $4f$ калия функциональная зависимость вероятности 4-х фотонной ионизации от интенсивности излучения существенно изменяется. Степенной показатель K в точном резонансе равен $K_{\text{рез}} = 1,5 \pm 0,1$, в то время как далеко от резонанса, при расстройке больше 20 \AA , $K = 4 \pm 0,1$, т. е. $K = K_0$.

Приближенная оценка вероятности ионизации показывает, что при совпадении центра линии генерации с центром линии $4f$ вероятность ионизации возрастает на два порядка, по сравнению с вероятностью при длинах волн далеких от резонанса.



Показатель степенной зависимости вероятности многофотонной ионизации от интенсивности излучения как функция длины волны излучения

В настоящий момент трудно на основании имеющихся результатов выявить однозначную причину изменения функциональной зависимости вероятности ионизации от напряженности поля при переходе через резонансный уровень. Это связано, например, с тем, что из-за большой ширины линий генерации только часть квантов излучения неодимового лазера находится в резонансе с линией $4f$ калия.

Таким образом можно сделать качественный вывод что многофотонный резонанс с возбужденным состоянием электрона в атоме может являться одной из причин уменьшения показателя степенной зависимости вероятности многофотонной ионизации от интенсивности излучения.

Авторы благодарны З.П.Березкиной и К.Б.Петросян за помощь в проведении эксперимента и И.Ф.Бакошу, Г.С.Воронову, М.С.Рабиновичу за ценные обсуждения.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
11 августа 1969 г.

Литература

- [1] Г.С.Воронов, Н.Б.Делоне. Письма в ЖЭТФ, 1, вып. 2, 42, 1965; ЖЭТФ, 50, 78, 1966; Г.С.Воронов, Г.А.Делоне, Н.Б.Делоне. ЖЭТФ, 51, 1860, 1966; Т.Б.Быстрова, Г.С.Воронов, Г.А.Делоне, Н.Б.Делоне. Письма в ЖЭТФ, 5, 223, 1967; Г.А.Делоне, Н.Б.Делоне. ЖЭТФ, 54, 1067, 1968.
- [2] P.Agostoni, G.Varjot, J.Bonnal, G.Mainfray, C.Manus, J.Morellec. *Compt. rend.*, 266, 1034, 1968.
- [3] Г.А.Делоне, Н.Б.Делоне, Н.И.Донская, К.Б.Петросян. Письма в ЖЭТФ 9, 103, 1969; Proc. 9 Int. Conf. of Phys. in Ioniz. Gases, p. 42, Bucharest, 1969.
- [4] Л.В.Келдыш. ЖЭТФ, 47, 1945, 1964.
- [5] А.П.Котова, М.В.Терентьев. ЖЭТФ, 52, 732, 1967.
- [6] Г.С.Воронов. ЖЭТФ, 51, 1496, 1966.
- [7] J.Gontier, M.Trahin. *Compt. rend*, 267, ser. B, 357. 1968.
- [8] В.А.Коварский. Proc. 9 Int. Conf. of Phys. in Ioniz. Gases, p. 38, Bucharest, 1969.