

## МНОГОФОТОННЫЙ РЕЗОНАНС В СЛУЧАЕ СИЛЬНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ АТОМНЫХ УРОВНЕЙ

Д. Т. Алимов, Н. К. Бережелка,  
Г. А. Делоне, Н. Б. Делоне

Процесс многофотонной ионизации атомов благородных газов излучением лазера на стекле с неодимом наблюдался при напряженности поля в диапазоне от  $10^7$  до  $10^8$  в/см, /1,2/. Аппроксимация зависимости вероятности ионизации  $W$  от интенсивности излучения  $F$  степенным законом  $W \sim F^K$  давала показатель степени  $K < K_0$ , где  $K_0 = \langle I/\hbar\omega + 1 \rangle$  - число квантов, поглощающихся при ионизации,  $I$  - потенциал ионизации,  $\hbar\omega$  - энергия кванта /1,2/.

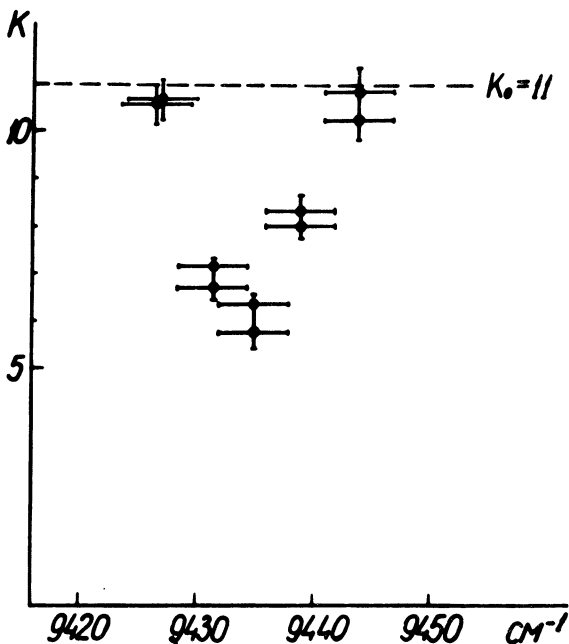
Одной из причин отклонения функциональной зависимости  $W(F)$  от закона  $W \sim F^{K_0}$  может быть резонанс между энергией нескольких фотонов и энергией связанного состояния электрона в атоме /3/. Мы показали это экспериментально на примере трехфотонного резонанса с уровнем  $4f$  при четырехфотонной ионизации атома калия в поле  $E \sim 10^6$  в/см, /4/. Однако в интересующем нас случае многофотонной ионизации атомов благородных газов не ясно, могут ли вообще проявиться резонансы. При напряженности поля  $10^8 - 10^7$  в/см практически все уровни в спектре атома сильно возмущены полем излучения - матричные элементы дипольного взаимодействия уровней во много раз превышают расстояние между уровнями и имеют величину порядка кванта излучения /7/. При столь сильном возмущении свойства атомных уровней недостаточно хорошо изучены и, в частности, не известно, в какой мере сохраня-

ется дискретность атомного спектра. С другой стороны, как было показано на примере модели атома, имеющего один двукратно вырожденный сильно возмущенный уровень, функциональная зависимость должна отличаться от  $W \sim F^k$  и в том случае, если переход через этот уровень носит виртуальный характер /5/.

В настоящем эксперименте мы продолжили начатое ранее /1/ изучение одиннадцатифотонного процесса ионизации атома ксенона ( $I = 12,13$  эв) излучением лазера на стекле с неодимом ( $\hbar\omega = 1,18$  эв). Нашей целью была попытка выяснить, не являются ли резонансные эффекты причиной обнаруженного ранее изменения функциональной зависимости  $W(F)$  /1/. Анализ невозмущенного спектра атома ксенона показывает, что в этом случае можно ожидать проявления девятифотонного резонанса с уровнем  $7s$  и десятифотонного резонанса с уровнем  $9p$ . Степень возмущения этих уровней в поле  $\sim 10^7$  в/см велика — матричные элементы взаимодействия с ближайшими уровнями больше величины квадрата излучения. В отличие от предыдущих экспериментов, произведенных при относительно большой ширине линии излучения  $\approx 25$  см $^{-1}$  в /1/ и  $\sim 10$  см $^{-1}$  в /2/ для поисков резонансов мы сузили линию до  $\approx 6$  см $^{-1}$  и наблюдали ионизацию при различных частотах излучения в диапазоне от 9426 до 9444 см $^{-1}$  (соответственно энергия десяти квантов изменялась на величину  $\approx 200$  см $^{-1}$ ). Изменение частоты осуществлялось с помощью интерферометров Фабри-Перо, помещенных в резонатор лазера. При каждом фиксированном значении частоты излучения в этом диапазоне измерялась зависимость вероятности ионизации от интенсивности излучения в относительных единицах и абсолютное значение напряженности электрического поля. В процессе всех измерений напряженность электрического поля была  $\approx 5 \cdot 10^7$  в/см. Зависимости  $W(F)$  были аппроксимированы степенным законом  $W \sim F^k$ .

Результат эксперимента приведен на рис. 1 в виде зависимости показателя степени  $k$  от энергии кванта

излучения. Как видно из рис. 1, небольшое изменение частоты, осуществленное в эксперименте, привело к резкому изменению функциональной зависимости  $W(F)$ , причем это изменение носит типично резонансный характер.



Р и с. 1. Зависимость показателя степени  $K$  от энергии кванта излучения.

Качественно результат этого эксперимента аналогичен результату, полученному нами при исследовании трехфотонного резонанса с уровнем  $4f$  в атоме калия /4/. Однако в случае калия уровень  $4f$  был возмущен слабо (эксперимент проводился при напряженности поля  $\sim 10^6$  в/см). Это позволило нам рассчитать изменение его энергии и ширины по теории возмущений и установить две причины изменения функциональной зависи-

мости – насыщение по переходу с резонансного уровня в сплошной спектр и штарковский сдвиг резонансного уровня /4/. Мы не можем указать конкретную причину изменения функциональной зависимости в случае ионизации ксенона, поскольку, как уже отмечалось выше, свойства атомного спектра в случае сильного возмущения уровней не известны достаточно точно.

Однако это не мешает нам уже сейчас сделать основное заключение, что резонансные явления могут играть существенную роль и в том случае, когда спектр атома сильно возмущен полем излучения. Это заключение подтверждается также результатами исследования частотной зависимости процесса тринадцатифотонной ионизации атома неона /6/. В этом случае энергия двенадцати квантов близка к энергии невозмущенного уровня  $11p$ . При небольшом изменении частоты излучения наблюдалось типично резонансное изменение числа образованных ионов.

Таким образом в случае многофотонной ионизации атома ксенона в поле  $\approx 5 \cdot 10^7$  в/см существенную роль играют резонансные эффекты, в то время как эффекты, связанные с виртуальным переходом электрона через сильно возбужденные уровни /5/ в данном эксперименте не проявились.

Результаты этого эксперимента позволяют также предполагать, что функциональная зависимость вероятности ионизации от интенсивности излучения, измеренная в предыдущих опытах /1,2,7/, может быть в ряде случаев обусловлена резонансными явлениями.

Поступила в редакцию  
5 августа 1971 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Т. М. Бархударова, Г. С. Воронов, Г. А. Делоне, Н. Б. Делоне, Н. К. Мартакова. Proc. 8 Int. Conf. on Ionized Gases, Wien, 1967, p. 266.

2. P. Agostini, G. Barjot, G. Mainfray, C. Manus, J. Thebault. *Journal of Quantum Electronics*, **IEEE**, QE-6, 12, 782 (1970).
3. Л. В. Келдыш. *ЖЭТФ*, 47, 1945 (1964).
4. Г. А. Делоне, Н. Б. Делоне. Письма в *ЖЭТФ*, 10, 413 (1969); Г. А. Делоне, Н. Б. Делоне, Г. К. Пискова. Препринт ФИАН № 60, 1971 г.; *ЖЭТФ*, в печати.
5. Г. А. Делоне, Н. Б. Делоне, В. А. Коварский, Н. Ф. Перельман. Краткие сообщения по физике, № 8, 37 (1971); В. А. Коварский, Н. Ф. Перельман. *ЖЭТФ*, в печати.
6. G. Baravian, R. Benattar, J. Bretagne, J. Godart, G. Sultan. *Appl. Phys. Letts.*, 16, 162, 1970.
7. Г. А. Делоне. Диссертация, ФИАН, 1971 г.