

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СЕЧЕНИЯ
ПРЯМОГО ПРОЦЕССА МНОГОФОТОННОЙ ИОНИЗАЦИИ АТОМА
ОТ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ

Г. А. Делоне

УДК 539.184

Измерены отношения сечений двух- и четырехфотонной ионизации атома калия и трех- и пятифотонной ионизации атома натрия в полях линейной и круговой поляризации с частотами, соответствующими первой и второй гармоникам излучения неодимового лазера.

Сечения прямого процесса многофотонной ионизации атома зависят от характера поляризации излучения по крайней мере, когда $\gamma = \omega \sqrt{2mJ} / eE \gg 1$ (ω , E - частота и напряженность электромагнитного поля; e , m - заряд и масса электрона, J - потенциал ионизации атома). Такая зависимость обусловлена тем, что, во-первых, система "атом + поле" имеет различную симметрию в полях разной поляризации, а потому и различные спектральные характеристики, во-вторых, при многофотонных переходах электрона из основного состояния в непрерывный спектр в дипольном приближении связываются различные наборы атомных состояний из-за отличия правил отбора для переходов в полях разной поляризации.

Поляризационный эффект рассматривался в ряде теоретических работ. Рассчитаны сечения многофотонной ионизации в полях линейной и круговой поляризации для атомов водорода, благородных газов и щелочных металлов /1-3/. Проведены первые экспериментальные исследования /4/, в которых обнаружено влияние поляризации поля на величину сечения многофотонной ионизации.

В данной работе измерялись отношения сечений двух- и четырехфотонной ионизации атома калия и трех- и пятифотонной ионизации атома натрия в полях линейной и круговой поляризации с частотами, соответствующими первой и второй гармоникам излучения неодимового лазера. Пучок нейтральных атомов натрия или калия пере-

секался световым пучком. Измерялось отношение амплитуд ионных сигналов, полученных за счет многофотонной ионизации атомов калия и натрия в полях линейной и круговой поляризации при одинаковых средних интенсивностях излучения. Это отношение равно отношению сечения, если пространственно-временные характеристики излучения одинаковы в обоих случаях /5/.

Неодимовый лазер работал в режиме генерации аксиальных мод. Для получения линейной поляризации на выходе генератора в пучок ставилась призма Арчарда-Тейлора. Вторая гармоника получалась с помощью кристалла KDP (преобразование $oe - e$). Линейная поляризация излучения лазера превращалась в круговую с помощью специальной ориентации четвертьволновой кварцевой пластинки, стоящей в пучке излучения непосредственно перед камерой, в которой происходило взаимодействие излучения с пучком атомов калия или натрия.

Для уменьшения влияния нестабильности пространственно-временного распределения излучения в течение одной серии опытов производилось поперечное измерение ионных сигналов при двух ориентациях четвертьволновой пластинки, соответствующих положениям, при которых поляризация излучения была либо линейной, либо круговой.

Измерение характеристик лазерного излучения и числа ионизованных атомов производилось с помощью стандартной аппаратуры, которая обычно применяется в экспериментах по исследованию процесса многофотонной ионизации атома (см., напр., /5/).

Таблица I

Отношение сечений σ_n/σ_0 прямого процесса многофотонной ионизации атома в полях линейной и круговой поляризации. K_0 - число поглощенных квантов

Атом	$h\nu$, эв	K_0	σ_n/σ_0 , экспер.	σ_n/σ_0 , теория
K	2,36	2	$0,83 \pm 30\%$	0,86
Na	2,36	3	$2,4 \pm 20\%$	3
K	1,18	4	$0,6 \pm 30\%$	0,25
Na	1,18	5	$2 \pm 20\%$	14

Результаты эксперимента приведены в таблице I. Абсолютное значение сечения многофотонной ионизации атома обычно определяется с большой ошибкой /5/. Однако в наших опытах абсолютные ошибки определения сечений в отношении сечений не входят, что позволяет измерять эту величину с хорошей точностью, которая определяется в данном случае только повторяемостью пространственно-временного распределения излучения от импульса к импульсу. Ошибки в отношении сечений, приведенные в таблице I, являются средне-квадратичными ошибками серий измерений, умноженными из-за малого числа измерений (~ 10) на доверительный фактор ~ 3 .

Анализ результатов эксперимента показывает, что практически во всех случаях при указанных в таблице частотах сечения многофотонной ионизации атомов зависят от вида поляризации электромагнитного поля.

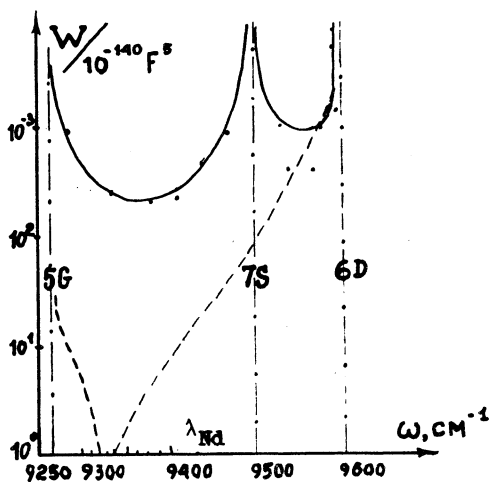
В таблице приведены также результаты теоретического расчета отношения сечений, который сделан в рамках нестационарной теории возмущений с использованием функции Грина для валентного электрона, построенной в приближении метода квантового дефекта /3/.

Важно отметить, что для случая $\gamma \gg 1$ при сравнении теоретических и экспериментальных величин отношений сечений не имеет значения тот факт, что теоретический расчет выполнен для монохроматического излучения, а в эксперименте использовалось излучение многомодового лазера.

Сравнение теоретически рассчитанных отношений сечений с экспериментальными величинами показывает, что имеется хорошее согласие в пределах экспериментальной ошибки измерения за исключением случая пятифотонной ионизации атома натрия излучением неодимового лазера. В этом случае расхождение между теорией и экспериментом может быть следствием следующего обстоятельства. Известно /1/, что дисперсионная зависимость сечения многофотонной ионизации атома в поле круговой поляризации имеет особые точки по частоте, при которых сечение обращается в нуль. Точность теоретического расчета сечений вблизи таких частот ухудшается. В результате ухудшается и достоверность теоретического значения отношения сечений в полях линейной и круговой поляризации.

На рис. I приведены дисперсионные зависимости сечений пятифотонной ионизации атома Na в полях линейной и круговой поляриза-

ций, рассчитанные в работе /3/. Можно видеть, что как раз частота излучения неодимового лазера близка к особой точке на дисперсионной кривой. Для окончательного заключения по поводу причины



Р и с.1. Дисперсионная зависимость сечения прямого процесса пяти-фотонной ионизации атома натрия $\sigma = \frac{w_{сек}^{-1}}{(\Gamma_{см}^{-2} сек^{-1})^5}$ в поле линейной поляризации (сплошная линия) и в поле круговой поляризации (пунктирная линия)

расхождения теоретических и экспериментальных результатов в этом случае, конечно, необходимы дополнительные измерения сечения многофотонной ионизации атома при нескольких частотах излучения в указанной выше области частот.

Тем не менее хорошее согласие теоретических данных с экспериментальными результатами во всех других случаях, приведенных в таблице I, а также хорошее согласие теоретических расчетов, проведенных в рамках рассматриваемого подхода, с результатами работ /4/, о которых говорилось в начале статьи, подтверждает вывод, сделанный ранее, относительно результатов измерений сечений в линейно-поляризованном поле /5/, что нестационарная теория возмущений хорошо описывает экспериментальные результаты прямо-

го процесса многофотонной ионизации атома по крайней мере при напряженностях поля $\lesssim 5 \cdot 10^6$ в/см.

Автор благодарен Н. Б. Делоне за интерес к предлагаемой работе и профессору М. С. Рабиновичу за ценные замечания.

Поступила в редакцию
17 июня 1975 г.

Л и т е р а т у р а

1. Б. А. Зон, Н. Л. Манакон, Л. П. Рапопорт. ЖЭТФ, 61, 968 (1971).
2. P. Lambropoulos. Phys. Rev. Lett., 28, 585 (1972); 29, 453 (1972).
S. Klarsfeld, A. Maquet. Phys. Rev. Lett., 29, 79 (1972).
Y. Mizuno. J. Phys., B6, 314 (1973). Y. Contier, H. Trahin.
Phys. Rev., A7, N 6, 2069 (1973).
3. N. L. Manakov, H. A. Preobragensky, L. P. Rapoport. Proc. XI
Int. Conf. on the Ionized Gases, p. 25, Praha (1973).
4. R. Fox, R. Kogan, E. Robinson. Phys. Rev. Lett., 26, 23 (1971).
R. Kogan, R. Fox, G. Burnham, E. Robinson. Bull. Amer. Phys.
Soc., 16, 1411 (1974).
5. Г. А. Делоне, Н. Б. Делоне, В. К. Золотарев, Н. Л. Манакон,
Г. К. Пискова, М. Г. Туреднов. ЖЭТФ, 65, 481 (1973).