

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ТРЕХФОТОННОЙ ИОНИЗАЦИИ
АТОМОВ ГЕЛИЯ ИЗ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

И. Бакон^{ж)}, В. А. Гринчук, А. Киш^{ж)}

М. Л. Нагаева, В. Г. Овчинников

УДК 533.92

Исследовался процесс трехфотонной ионизации атомов гелия из метастабильных состояний излучением рубинового лазера. Получены сечения ионизации 2^1S - и 2^3S -состояний, а также отношения сечений при линейной и циркулярной поляризациях света.

Процесс ионизации атомов гелия из метастабильных состояний в поле излучения рубинового лазера является трехфотонным. Как показали наши предыдущие исследования /1/, различие дисперсионных зависимостей вероятности ионизации из 2^1S - и 2^3S -состояний позволяет, изменяя частоту лазера, наблюдать процесс ионизации из 2^1S -состояния при частоте излучения $\omega > 14415 \text{ см}^{-1}$, а из 2^3S -состояния - при частоте излучения $\omega \approx 14410 \text{ см}^{-1}$. При этом в соответствии с правилами отбора процесс ионизации из 2^3S -состояния при линейной и циркулярной поляризациях излучения, а также из 2^1S -состояния при циркулярной поляризации носит прямой характер. При ионизации из 2^1S -состояния линейно-поляризованным светом возникает двухфотонный промежуточный резонанс $2^1S - 6^1S$ /2/.

Очевидный интерес представляет измерение сечений прямых процессов и сопоставление этих данных с результатами теоретического расчета.

В случае прямого процесса вероятность трехфотонной ионизации атома w пропорциональна третьей степени интенсивности излучения F , т.е. $w = \alpha_3 F^3$, где α_3 - сечение трехфотонной ионизации, которое можно представить в следующем виде /3/:

^{ж)} Сотрудники Центрального института физических исследований Академии наук ВНР.

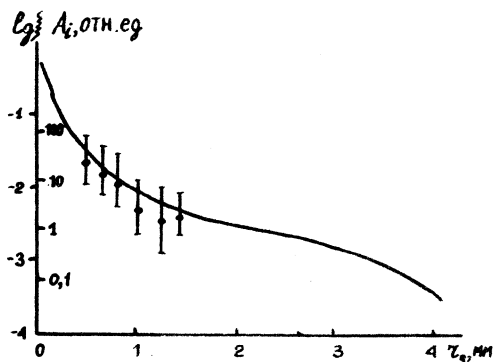
$$\alpha_3 = \frac{N_1}{n_0} \left(\frac{\hbar\omega}{Q} \right)^3 \frac{S^3 \tau^3}{V_3 \tau_3} \quad (I)$$

Здесь N_1 - число ионов, образованных лазерным излучением; n_0 - плотность нейтральных атомов; ω - частота излучения; Q - энергия в импульсе излучения лазера; S, τ - нормированное минимальное сечение сфокусированного светового потока и нормированная длительность лазерного импульса; V_3 и τ_3 - объем и длительность взаимодействия, эффективные для процесса поглощения в одном акте трех квантов света. Для определения сечения необходимо измерять N_1 , n_0 , Q и функцию пространственно-временного распределения излучения $f(x, y, z, t)$ в области образования ионов, знание которой необходимо для вычисления S, τ, V_3 и τ_3 .

В качестве мишени, содержащей атомы гелия в метастабильных состояниях, использовалась плазма послесвечения разряда постоянного тока ($i \approx 3$ ма). Плотности атомов в метастабильных 2^1S - и 2^3S -состояниях измерялись методом поглощения света вспомогательного источника и имели значения, соответственно $n_0(2^1S) = 10^{10,5} \pm 0,5 \text{ см}^{-3}$ и $n_0(2^3S) = 10^{11,0} \pm 0,5 \text{ см}^{-3}$. Использовался рубиновый лазер с модулированной добротностью; частота генерации лазера изменялась за счет изменения температуры рубина. Излучение лазера было линейно-поляризованным на 99%. Циркулярная и линейная поляризации излучения достигались путем изменения ориентации четвертьволновой кварцевой пластинки, расположенной перед разрядной трубкой в световом пучке. Излучение фокусировалось длиннофокусной линзой ($f = 400$ мм) вдоль оси разрядной трубки. Диаметр трубки ($D = 12$ мм) был много больше диаметра пучка лазерного излучения ($a \leq 0,5$ мм). Ионы, образованные под действием лазерного излучения, диффундировали к стенкам разрядной трубки и регистрировались одиночным зондом, который находился на расстоянии $r_3 \approx 1$ мм от оси трубки.

Изменение потенциала зонда U пропорционально числу образованных ионов N_1 , причем $U = c \xi N_1$, где $\xi(x, y, z, t)$ - фактор, учитывающий процесс диффузии ионов к стенкам разрядной трубки /4/; в c входят параметры зонда. Фактор ξ разлагается по диффузионным модам с амплитудами, зависящими от начального распределения образованных лазерным излучением ионов; которое в случае прямого процесса трехфотонной ионизации пропорционально кубу функции

пространственного распределения интенсивности излучения $\varphi(x, y, z)$. Амплитуда зондового сигнала A_1 , измеряемая в экспериментах, определяется фактором $\xi_{\max}(r_3)$, где r_3 — координаты зонда. На рис. I показан результат расчета фактора $\xi_{\max}(r_3)$ при различных значениях координаты зонда r_3 и реальном, осуществленном в эксперименте пространственном распределении интенсивности излучения



Р и с. I.

(сплошная кривая), а также результаты измерений амплитуды зондового сигнала A_1 . Наблюдается удовлетворительное согласие результатов численного расчета и эксперимента. Оценка ошибки в определении фактора ξ дает величину $\pm 50\%$.

Измерение пространственно-временного распределения интенсивности излучения в области образования ионов производилось стандартным методом /3/. Эксперимент проводился при напряженности электромагнитного поля $E \approx 5 \cdot 10^5$ в/см. Ошибка в величине сечения ионизации α_3 , связанная с абсолютизацией интенсивности излучения, существенно больше, чем ошибка измерений других параметров, входящих в /I/.

Значительно лучшая точность достигается при измерениях отношения сечений ионизации α_3^c / α_3^l светом циркулярной с и линейной 1 поляризации, которое является отношением амплитуд зондовых сигналов A_1^c / A_1^l в случае, когда пространственно-временное распределение интенсивности излучения остается постоянным в течение всего опыта.

Измерения $A_1^{c,1}$ проводились при различных ориентациях пластинки $\lambda/4$, соответствующих положениям, при которых излучение является циркулярно- или линейно-поляризованным. Принимались меры стабилизации работы лазера и для уменьшения влияния невоспроизводимости функции распределения интенсивности излучения на измеряемое отношение. Для этого производилось попеременное измерение амплитуд сигналов в поле линейной и циркулярной поляризации. В этом случае ошибка измерения отношений амплитуд сигналов определяется только невоспроизводимостью пространственно-временного распределения интенсивности излучения в течение всего опыта. Ошибка составляет $\approx 30\%$ и является среднеквадратичной ошибкой серии измерений, умноженной на доверительный фактор ~ 3 из-за малого числа измерений (~ 10).

Результаты измерений сечений трехфотонной ионизации атомов гелия из метастабильных состояний при линейной и поляризации излучения, а также величины отношений сечений при круговой и линейной поляризации для определенных частот излучения приведены в таблице совместно с результатами расчетов, выполненных по теории возмущений /5/.

Таблица I

	ω (см^{-1})	Эксперимент		Теория /5/	
		α_3^1 , ($\text{см}^{-2}\text{сек}^{-1}$) ³	α_3^c/α_3^1	α_3^1 , ($\text{см}^{-2}\text{сек}^{-1}$) ³	α_3^c/α_3^1
He(2^1s)	I4415	$10^{-77,8 \pm 1,6}_{-1,3}$	$2,0 \pm 0,7$	$10^{-78,6}$	0,5
He(2^3s)	I4407	$10^{-79,3 \pm 1,6}_{-1,6}$	$3,0 \pm 0,9$	$10^{-80,4}$	2,0

Сравнение экспериментальных и теоретических величин сечений и отношений сечений указывает на удовлетворительное согласие в случае ионизации из 2^3s -состояния. Различие в отношении сечений, которое наблюдается в случае ионизации из 2^1s -состояния, может быть обусловлено близостью двухфотонного промежуточного резонанса $2^1s - 6^1s$, который наблюдается в условиях данного экспери-

римента при частоте излучения $\omega = 14420 \text{ см}^{-1}$ (напряженность поля $\varepsilon = 5 \cdot 10^5 \text{ в/см}$) /2/.

Известно /3/, что прямой процесс многофотонной ионизации атома из основного состояния удовлетворительно описывается теорией возмущений в случае относительно малофотонных процессов ($k_0 = 2, 3, 4, 5$), наблюдаемых при значительных расстройках резонансов. Результаты данной работы показывают, что этот вывод можно сделать в случае ионизации из возбужденного состояния.

В заключение авторы благодарят проф. М. С. Рабиновича за постоянное внимание к работе, а также Н. Б. Делоне и Г. А. Делоне за ценные замечания и обсуждения результатов работы.

Поступила в редакцию
10 июля 1975 г.

Л и т е р а т у р а

1. И. Бакош, М. Л. Нагаева, В. Г. Овчинников, Д. Рубин. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 3 (1973).
2. И. Бакош, А. Киш, М. Л. Нагаева, В. Г. Овчинников. Физика плазмы № 4 (1975), (в печати).
3. Н. Б. Делоне. Успехи физических наук, 115, 361 (1975).
4. J. Bakos. Acta Phys. Ac. Hung., 37, 115 (1974).
5. Б. А. Зон, Н. Л. Манаков, Л. П. Рапопорт. ЖЭТФ, 61, 968 (1971).