

## НАБЛЮДЕНИЕ ТРЕХФОТОННОЙ ИОНИЗАЦИИ АТОМА ГЕЛИЯ, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ВОЗБУЖДЕННОМ МЕТАСТАБИЛЬНОМ СОСТОЯНИИ 2S

Й. Бакош, Й. Кантор, А. Киш\*

В отличие от процесса многофотонной ионизации из основного состояния, которому посвящено много экспериментальных и теоретических работ<sup>1</sup>, процесс многофотонной ионизации атома, находящегося в возбужденном состоянии, пока практически не исследовался экспериментально, и лишь одна работа посвящена расчету вероятности такого процесса<sup>2</sup>.

Мы поставили эксперимент с целью наблюдения трехфотонной ионизации атома гелия, находящегося в метастабильном состоянии 2S. Метастабильные атомы гелия создавались в цилиндрической стеклянной трубке слаботочным газовым разрядом ( $I = 3$  ма). Такой метод является наилучшим для получения большой плотности метастабильных атомов<sup>3</sup>. Для ионизации использовалось излучение рубинового лазера, работающего в режиме модуляции добротности. Лазерное излучение фокусировалось в центр трубки после выключения разряда. Для ионизации атома гелия, находящегося в возбужденном состоянии 2S, необходимо поглощение трех квантов излучения рубинового лазера.

Мы выбрали такие условия эксперимента (давление в трубке  $\sim 1$  мм рт. ст., плотность ионов  $\sim 5 \cdot 10^{-10}$  см<sup>-3</sup>, диаметр трубки  $\sim 10$  мм, задержка между моментом

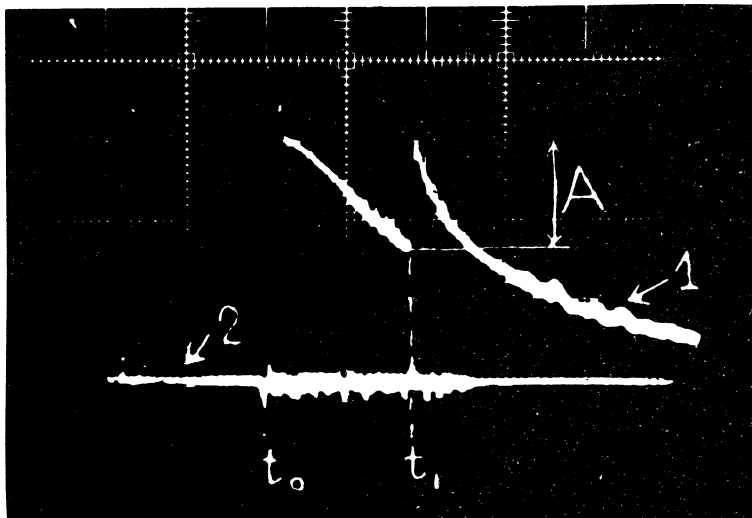
\* ) Сотрудники Центрального Физического института Академии наук Венгерской Народной Республики.

погашения разряда и импульсом лазера  $\sim 100$  мксек), когда в плазме послесвечения разряда практически имеются только атомы, находящиеся в метастабильном состоянии, атомы в основном состоянии, и электроны. Эксперименты по наблюдению поглощения излучения различной длины волны показали, что поглощение наблюдалось только на длинах волн, соответствующих каскаду перехода из метастабильного состояния. Поглощение на длине волны  $\lambda = 5016 \text{ \AA}$ , соответствующее переходу  $2^1S - 3^1P$ , равнялось  $6 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$ , откуда следует, что плотность атомов в состоянии  $2^1S$  равна  $\sim 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ .

Ионы, находящиеся в плазме послесвечения разряда и образующиеся под действием лазерного излучения, регистрировались зондовой методикой<sup>4</sup>. Одиночный цилиндрический зонд Ленгмюра располагался на расстоянии  $\sim 1$  мм от оси разрядной трубки. В момент времени, значительно позже выключения разряда, в случае, когда возбуждение однородно, распределение ионов по сечению трубки описывается функцией Бесселя нулевого порядка. Так как длина трубки достаточно большая, то в относительно малой области фокусировки лазерного излучения распределение ионов не зависит от координаты  $z$ . Так как эффективный объем области фокусировки лазерного излучения, в котором образуются ионы, относительно мал, то плотность метастабильных атомов в нем можно считать постоянной.

Ионы, образующиеся в результате воздействия лазерного излучения на метастабильные атомы, добавляются к ионам, имеющимся в плазме послесвечения разряда, диффундируют к зонду, и зонд регистрирует повышение плотности ионов. Непосредственно после импульса лазера ток зонда резко возрастает, убывая в дальнейшем по мере диффузии ионов к стенкам трубки. Амплитуда импульса добавочного тока пропорциональна числу образованных ионов.

На рис. 1 приведена фотография импульсов с зонда, наблюдаемых на экране осциллографа (развертка 100 мксек/см; чувствительность 20 в/см, один вольт соответствует току в цепи зонда  $2,5 \cdot 10^{-8}$  А). Разряд в



Р и с. 1. Изменение тока зонда во времени.

трубке выключается в момент  $t_0$ . Импульс лазера происходит в момент  $t_1$ . Кривая 1 – ток зонда в случае, когда в трубке горел разряд, он был потушен в момент  $t_0$ , а в момент  $t_1$  плазма послесвечения разряда была облучена лазерным излучением. А – амплитуда добавочного тока с зонда, пропорциональна числу образованных ионов. Кривая 2 – ток зонда в случае, когда разряд в трубке не поджигается, и в момент лазерного импульса в трубке находилась не плазма послесвечения разряда, а атомы гелия в основном состоянии. Фотография получена при энергии в лазерном импульсе  $\sim 0,3$  дж, длительности импульса  $\sim 30$  нсек и диаметре кружка фокусировки  $\sim 1$  мм,

что соответствует напряженности электрического поля  $\sim 5 \cdot 10^5$  в/см.

Под действием лазерного излучения может также происходить ионизация атомов гелия, находящихся в основном состоянии. Так как в этом случае для ионизации требуется поглощение гораздо большего числа квантов излучения рубинового лазера (14 квантов), то вероятность этого процесса гораздо меньше вероятности трехфотонной ионизации атома, находящегося в возбужденном метастабильном состоянии<sup>1</sup>. Облучая трубку без предварительного поджига и погашения разряда, мы проверили экспериментально, что ионизация из основного состояния не возникает. Как видно на осциллограмме (рис.1), в этом случае импульс ионов не наблюдается.

Свободные электроны, имеющиеся в плазме, могут ионизовать атомы, приобретая энергию от поля лазерного излучения в ряде последовательных столкновений с атомами, в процессе, обратном тормозному излучению<sup>5</sup>. В условиях нашего эксперимента длина свободного пробега электронов порядка размера области, в которой фокусируется излучение ( $\sim 1$  мм). Это значит, что, грубо говоря, после одного столкновения электрон покидает объем, в котором имеется поле. При указанной выше напряженности поля электрон поглощает квант лазерного излучения в среднем один раз за  $10^3$  соударений с атомами<sup>5</sup>. Поэтому наблюдающиеся ионы не могут возникать под действием электронов.

Мы благодарны проф. М. С. Рабиновичу за постоянное внимание к нашей работе, Н. Б. Делоне и Г. А. Делоне за полезные обсуждения и Т. У. Арсланбекову за помощь в проведении эксперимента.

Поступила в редакцию  
31 июля 1970 г.

## Л и т е р а т у р а

1. Н. Б. Делоне, Л. В. Келдыш. Препринт ФИАН № 11, 1969 г.
2. W. Zernik. Phys. Rev., 155 A, 51 (1964).
3. A. Phelps. Phys. Rev., 99, 1307 (1955).
4. Й. Бакош, Й. Кантор, А. Киш. Препринт ФИАН № 122, 1970 г.
5. Ю. П. Райзер. УФН, 87, 29 (1965).