

ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ ИОННО-МОЛЕКУЛЯРНЫХ РЕАКЦИЙ В ЗАСЕЛЕНИИ УРОВНЕЙ БАЛЬМЕРОВСКОЙ СЕРИИ ВОДОРОДА В ЭЛЕКТРОННОМ ПУЧКЕ

И. П. Богданова и Г. В. Ефремова

Исследуется послесвечение спектральных линий водорода H_α , H_β и H_γ .

Ранее в работе [1] было отмечено, что ход послесвечения спектральных линий водорода H_α , H_β , H_γ имеет сложный вид, и что такой ход свидетельствует о том, что в заселении уровней с $n=3, 4, 5$ играют роль процессы, природу которых необходимо выяснить.

В настоящей работе продолжено исследование процессов, приводящих к дополнительному заселению изучаемых атомарных уровней водорода. Регистрация излучения проводилась в режиме счета фотонов. Послесвечение изучаемых линий наблюдалось на многоканальном амплитудном анализаторе АИ-256 и записывалось на самописце. Измерения проводились в отпаянной трубке возбуждения с электронной пушкой с подогретым катодом и 4 анодами при давлении водорода $\sim 10^{-1}$ тор. Электронная пушка работала в импульсном режиме, т. е. запыралась по первому аноду A_1 ($V_1 = -3$ В), а отпиралась положительными прямоугольными импульсами с частотой следования 200 кГц и длительностью импульса 20 нс.

В зависимости от исследуемых задач на регулирующие аноды A_2 , A_3 и A_4 подавались различные потенциалы.

Излучение из пространства столкновений с помощью линзы направлялось на щель монохроматора. Трубка возбуждения укреплялась в оправке, которая могла перемещаться микрометрическим винтом. Таким образом, изображение светящейся зоны наблюдения A_3-A_4 градуированно перемещалось перед щелью монохроматора. Причем при расположении трубки возбуждения так, что пучок электронов (длина пучка 1 см) был параллелен щели монохроматора, из изображения диафрагмой выделялась область 1.3 мм высотой. При расположении же трубки перпендикулярно относительно щели, излучение выделялось самой щелью шириной 0.4 мм. В обоих случаях наблюдения производились в различных точках между анодом A_3 и коллектором A_4 .

Выделенный оптический сигнал попадал на ФЭУ-79. Охлаждение ФЭУ позволяло улучшить отношение сигнал/шум, что в свою очередь позволяло регистрировать слабые сигналы.

На рис. 1 приведены записи развертки интенсивности H_β в двух случаях. В случае 1 распределение потенциалов на электродах было следующим: $V_2 = -150$ В, $V_3 = V_4 = 26$ В. Штриховой линией обозначен импульс тока электронов.

Как видно, изменение яркости во времени имеет сложный вид. Первый максимум характеризует непосредственное возбуждение H_β в зоне наблюдения. Дополнительный максимум, возникший в послесвечении, обусловлен прохождением перед открытой частью щели монохроматора частиц, образовавшихся либо на сетке A_2 , либо в промежутке A_2-A_3 .

В случае 2 был уменьшен потенциал на анодах A_3 и A_4 : $V_3 = V_4 = 10$ В. При таком потенциале в зоне наблюдения энергия электронов была меньше энергии

возбуждения H_{β} , поэтому на рисунке 1 (кривая 2) электронное возбуждение отсутствует, а дополнительный максимум наблюдается.

Зная время возникновения дополнительного «пика» в фиксированных точках наблюдения, энергию частиц, которые его образуют $e(V_2 - V_3)$, можно, согласно [2], определить отношение m/ne для них. Как видно из рис. 2, экспериментальные точки, полученные как при вертикальном, так и при горизонтальном расположении электронного пучка по регистрации «пика» в излучении H_{α} , H_{β} хорошо сгруппировались относительно прямой, соответствующей движению частицы с $m=3$.

Следовательно, можно предположить, что «пик» обусловлен диссоциацией частиц H_3^{+*} , протекающей по схеме

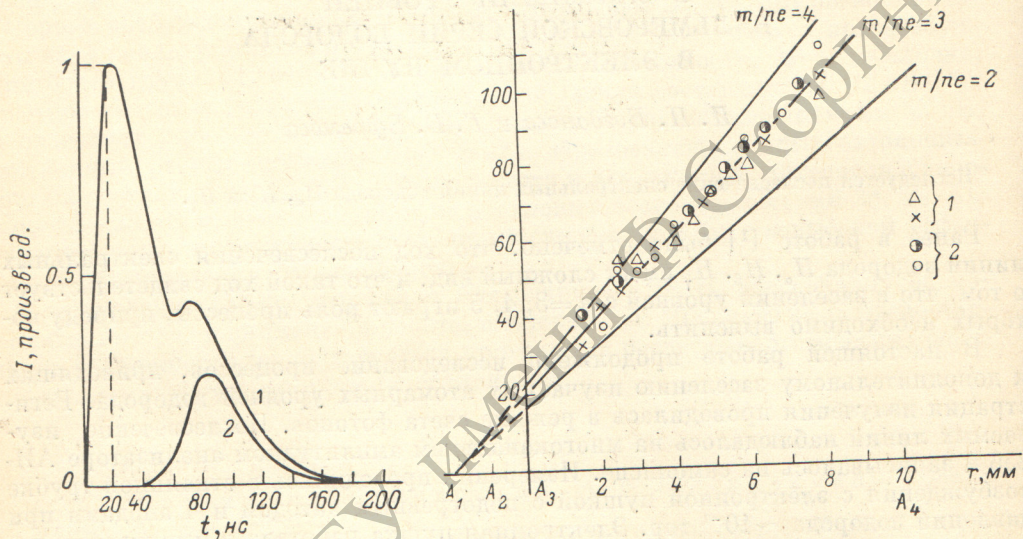
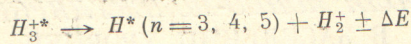


Рис. 1. Зависимость интенсивности H_{β} от времени.

1 — $V_2=150$ В, $V_3=V_4=26$ В, $T=20$ нс, $l=0.45$ см; 2 — $V_2=150$ В, $V_3=V_4=10$ В, $T=20$ нс, $l=0.45$ см от A_3 .

Рис. 2. Теоретическая зависимость времени появления «пика» от расстояния l точки наблюдения до электрода A_3 .

Экспериментальные точки: 1 — H_{α} и 2 — H_{β} при горизонтальном и вертикальном расположениях электронной пушки.

По спаду интенсивности «пика» во времени можно было оценить время жизни этих частиц. Это время оказалось ~ 200 нс.

Для H_3^{+*} была изучена функция возбуждения и был определен порог появления. Функция возбуждения приведена на рис. 3. Основной максимум ее располагается при 180 эВ, с уменьшением энергии налетающих электронов эффективность образования H_3^{+*} падает и к 60 эВ достигает 2% от максимального значения. Удалось зарегистрировать сигнал и при более низких энергиях, вплоть до 30 эВ. Его величина составляет 2—1% от значения в максимуме.

Следует отметить, что молекулярные ионы H_3^+ были зарегистрированы при прохождении электронного пучка через H_2 и масс-спектрометрическим путем при энергиях электронов 40 эВ [3].

Зависимость интенсивности «пика» от плотности тока электронов в пучке оказалась линейной, а зависимость от давления квадратичной.

Весьма существенно более достоверно установить, где образуются эти возбужденные частицы, определяющие «пик» в послесвечении: в объеме или на электродах, как это обсуждалось в [4].

Для этой цели были проведены следующие эксперименты. Электронная пушка работала при неизменных потенциалах на A_2 и A_3 (10, 150 В соответственно). Потенциал на электроде A_4 можно было изменять на определенную величину относительно -180 В. При таком распределении потенциалов электрическое поле между электродами A_3 и A_4 является тормозящим для электро-

нов. Зону наблюдения, ограниченную открытой частью щели монохроматора, можно расположить так, чтобы энергия электронов в зоне наблюдения лишь немного превышала энергетический порог возбуждения, например, H_α . Тогда изменяя незначительно (на несколько вольт) потенциал на электроде A_4 , можно значительно изменить эффективность возбуждения спектральной линии в зоне наблюдения. На рис. 4 приведены три записи: в случае когда на электрод A_4 подавался потенциал $V_4 = -180$ В (1) и когда подавался на него потенциал на 10% больший (2) и на 5% меньший (3). Из рис. 4 видно, что интенсивность в импульсе электронного тока (ограниченная штриховой линией), определяемая диссоциативным возбуждением H_α в зоне наблюдения, зависит от изменения потенциала на A_4 : при увеличении на 10% сигнал увеличился в 1.5 раза, при уменьшении на 5% уменьшился в 4.2 раза, в то время как интенсивность «пика», пришедшего в точку наблюдения через 110 нс, остается практически неизменной во всех трех случаях. Во всех этих случаях потенциал на A_3 был постоянен. Следовательно, такой результат указывает на то, что возбужденный молекулярный ион H_3^{+*}

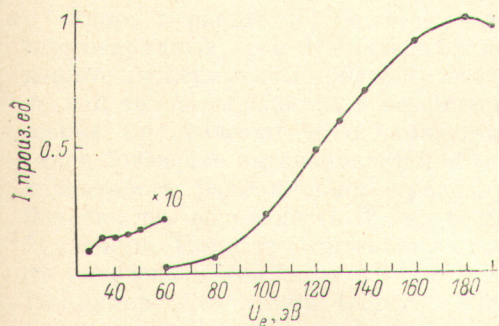


Рис. 3. Функция возбуждения H_3^{+*} .

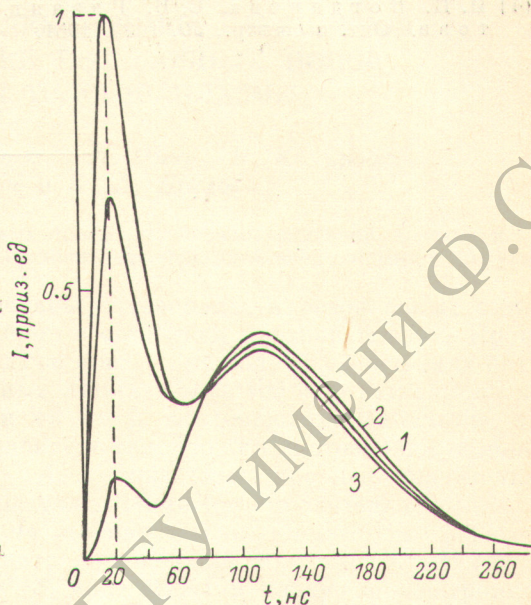


Рис. 4. Кривые распада H_α при $V_1 = -3$, $V_2 = 10$, $V_3 = 150$, $V_4 = -180, -170, -200$ В.

образуется, по-видимому, на сетке электрода A_3 , так как «пик» яркости в послесвечении H_α ведет себя независимо от изменения условий в объеме.

Была сделана попытка оценить коэффициент поглощения H_3^{+*} , образовавшихся на электроде—сетке A_2 и прошедших через сетку электрода A_3 . Для этой цели в фиксированной точке наблюдения были сделаны записи послесвечения при а) $V_2 = 150$ В, $V_3 = V_4 = 10$ В и при б) $V_2 = 150$ В, $V_3 = 150$ В, на A_4 подавался отрицательный потенциал. В обоих случаях электронные токи, прошедшие через сетки A_2 и A_3 , должны быть близки между собой. Сигнал от сетки A_2 в случае б) из-за отсутствия поля в промежутке $A_2 - A_3$ сильно запаздывает и его не видно при такой развертке во времени, которая использовалась в работе. Поэтому в этом случае наблюдался сигнал от A_3 . Потенциал на A_4 подбирался таким, чтобы время прихода сигнала в точку наблюдения от A_2 и A_3 было примерно одинаковым. Однако при таком потенциале на A_4 электронный пучок дважды проходит сетку электрода A_3 , и сигнал практически удваивается. Сравнение интенсивностей «пика» в случае а) и б) показало, что сигнал от A_2 при прохождении сетки электрода A_3 ослабляется примерно в три раза.

Произведенные записи послесвечения спектральных линий H_α , H_β и H_γ показали, что в заселении уровней с $n = 3, 4, 5$ участвуют диссоциирующие частицы H_3^{+*} . Отношение интенсивностей «пика» и электронного возбуждения оказывается примерно одинаковым для всех спектральных линий H_α , H_β , H_γ при неизменных условиях возбуждения, а время появления «пика» в фиксированной точке зоны наблюдения одно и то же.

Записи послесвечения на молекулярной полосе ($\lambda = 4212 \text{ \AA}$) показали, что подобного «шика» в ее послесвечении не наблюдается.

В заключение авторы благодарят Н. П. Пенкина за внимание к работе и обсуждение результатов.

Литература

- [1] И. П. Богданова, Г. В. Ефремова, В. И. Яковлева. Опт. и спектр., 47, 34, 1979.
- [2] И. П. Богданова, С. В. Рязанцева, В. Е. Яхонтова. Опт. и спектр., 51, 444, 1981.
- [3] С. Е. Куприянов. ЖЭТФ, 48, 467, 1965.
- [4] И. П. Богданова, С. В. Рязанцева, А. Б. Цыганов, В. Е. Яхонтова. Опт. и спектр., 50, 1009, 1981.

Поступило в Редакцию 12 сентября 1980 г.

ЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорини