

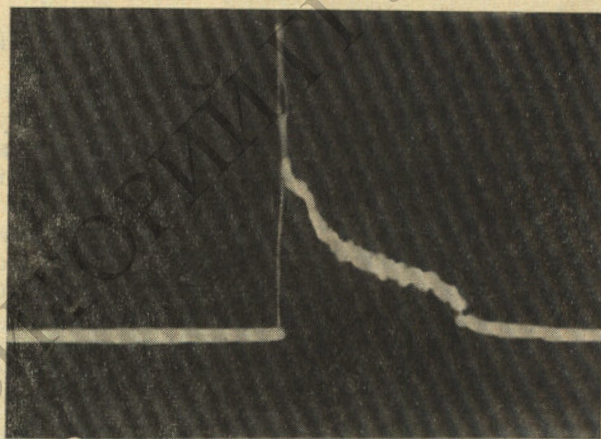
УДК 533.9.082.5

О ДИАГНОСТИКЕ ПЛАЗМЫ В ИМПУЛЬСНОМ РАЗРЯДЕ
В ВОДОРОДЕ. II

В. С. Бородин, В. Д. Гебеков, В. Ф. Гиндина и Ю. М. Каган

Данная работа посвящена экспериментальной проверке теоретических соображений, сделанных авторами в работе [1]. Экспериментальная установка, подробно описанная в работе, позволяла измерить максимальную концентрацию электронов в условиях эксперимента с разверткой контура линии во времени и без развертки. Результаты сравнения показали возможность определения максимальной концентрации электронов предлагаемым методом.

1. Для проверки изложенных в предыдущей работе соображений авторы использовали следующую экспериментальную установку. Импульсный разряд создавался в камере, изготовленной в виде куба с ребром 20 см из плексиглазового стекла толщиной 4 см. Электроды, изготовленные из вольфрама в виде колец с внутренним диаметром 0.7 см, распола-

Рис. 1. Форма импульса свечения линии H_{β} .

гались в камере на расстоянии 1.2 см. Для наблюдения с обеих сторон камеры были установлены кварцевые окна.

Камера соединялась с вакуумной установкой и заполнялась водородом в интервале давлений 400—760 тор. Разряд в камере осуществлялся с помощью емкости ($C=72$ мкф), которая заряжалась от выпрямителя. Форма импульса свечения линии H_{β} приведена на рис. 1. Электрическая схема установки изображена на рис. 2. С помощью двухлучевого осциллографа записывались одновременно форма импульса тока и форма импульса свечения в центре линии H_{β} . Отметим, что в наших экспериментах ширина

линии H_{β} превышала 6 Å. Схема оптической установки изображена на рис. 3.

Свет от разрядной камеры проходит через объектив L_1 и проецируется на щель спектрографа ИСП-51. Диафрагма на щели позволяет получить в фокальной плоскости камеры линию H_{β} высотой 0.5 мм. В фокальной плоскости камеры установлена барабанная кассета $\varnothing 25$ см., которая может вращаться в вертикальном направлении со скоростью до 14 000 об./мин. Длительность импульса в наших экспериментах была около 300 мксек. Таким образом, за время импульса можно было получить на

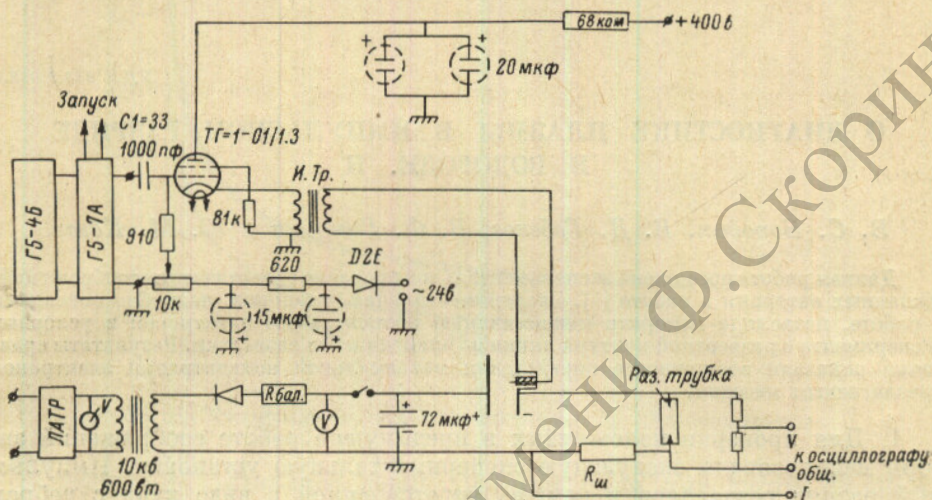


Рис. 2. Электрическая схема установки.

барабане развертку линии длиной до 4 см, т. е. получить временное разрешение в несколько микросекунд.

Излучение регистрировалось на высокочувствительной пленке. Таким образом, микрофотометрируя пленки, можно было получить временную развертку контура линии и временной ход относительной интенсивности в центре линии.

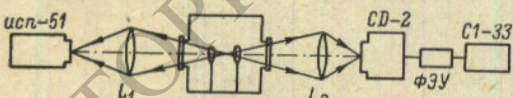


Рис. 3. Схема оптической и фотоэлектрической установки регистрации излучения.

с помощью фотоумножителя ФЭУ-38 и осциллографа типа С1-33. Это позволяет регистрировать временной ход интенсивности в центре линии. Таким образом, данная экспериментальная установка позволяет измерить контур линии без развертки и с разверткой во времени и абсолютную интенсивность линии H_{β} в любой момент времени, а также абсолютный и относительный ход интенсивности во времени в центре линии H_{β} . При измерении абсолютных интенсивностей использовалась эталонная лампа СИ10-300.

Концентрация электронов определялась по полуширине линии H_{β} , используя известную связь полуширины с концентрацией [2]. Отсутствие заметной реабсорбции в центре линии H_{β} проверялось с помощью сферического зеркала и оценивалось по формулам работы [3]. Эксперимент и расчет показали, что в данном случае реабсорбцией излучения на линии H_{β} можно пренебречь. На линии H_{α} наблюдалась заметная реабсорбция.

2. Мы видели, что при временной развертке контур снимается за время, равное нескольким микросекундам. Для того чтобы пользоваться методами фотографической фотометрии, необходимо для этих же условий получить кривые почернений.

Так как в нашем случае интенсивность, падающая на фотопластинку, менялась за время импульса, то нам существенно было подтвердить справедливость формулы

$$S = \gamma \log E \quad (1)$$

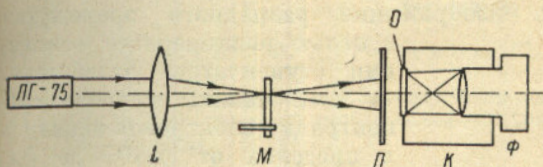


Рис. 4. Схема установки для проверки справедливости выражения (1) для разных форм импульса.

для наших условий. В формуле (1) S — почернение, а E — полная энергия за время импульса. Для проверки справедливости формулы (1) и определения коэффициента γ для

расчетных времен экспозиций и форм импульса была собрана установка, изображенная на рис. 4.

Монохроматическое излучение от лазера ЛГ-75 фокусировалось с помощью объектива L на модулятор M \varnothing 30 см с прямоугольной прорезью шириной 4 мм. Модулятор мог вращаться со скоростями до 14 000 об./мин.

Излучение, прошедшее через модулятор, попадало на матовое стекло $П$, которое давало равномерное освещение в плоскости ступенчатого ослабителя O . Изображение ступенчатого ослабителя фотографировалось фотоаппаратом, который был помещен в светозащитную камеру K .

Скорость вращения модулятора выбиралась такой, чтобы время одного оборота совпадало бы с длительностью выдержки фотоаппарата. Это позволило регистрировать результат одного импульса. Изменяя скорость вращения модулятора, можно было формировать прямоугольные импульсы свечения разной длительности от нескольких микросекунд до сотен микросекунд.

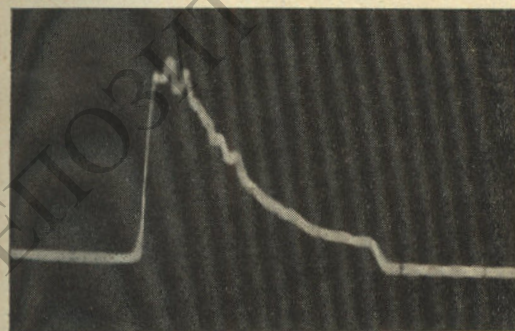


Рис. 6. Форма импульса, близкая к треугольной, сформированная схемой рис. 4.

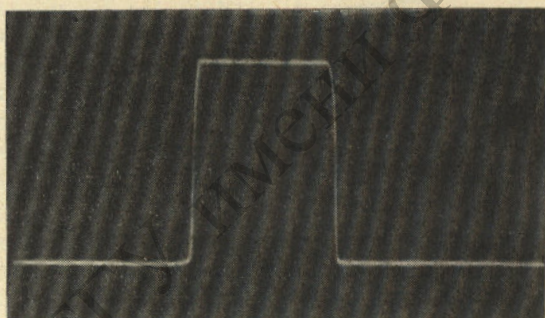


Рис. 5. Прямоугольная форма импульса, сформированная схемой рис. 4.

Формирование импульсов свечения разной длительности от нескольких микросекунд до сотен микросекунд. Форма прямоугольного импульса свечения приведена на рис. 5. Световой импульс, близкий к треугольному (рис. 6), формировался путем крепления на прорези модулятора пленки, пропускание которой подбиралось так, что интенсивность излучения, прошедшего через модулятор, совпало по закону, близкому к линейному. Форма импульса регистрировалась с помощью ФЭУ-38 и осциллографа.

Сравнения кривых почернений в интервале длительностей импульсов 50—500 мксек. показало, что γ постоянно и одинаково для обеих форм импульса. Кроме того, сравнение результатов для двух различных форм

импульсов, при которых полная энергия, падающая в течение импульса, пропорциональна площади под импульсом, показало, что E , входящая в формулу (1), есть действительно полная энергия, излучаемая в течение импульса.

Значение γ для длины волны H_β определялось обычным образом. На щели спектрографа устанавливался ступенчатый ослабитель. На щель бросалось расфокусированное изображение разрядного промежутка

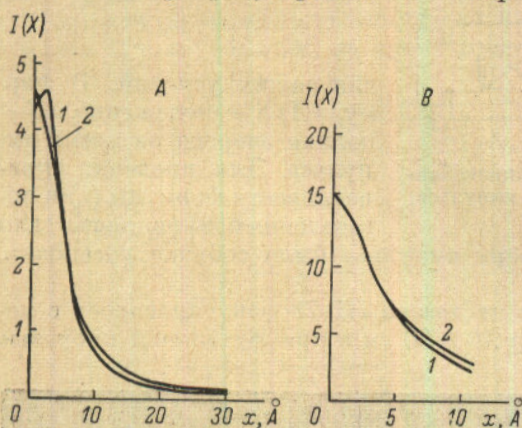


Рис. 7.

А: 1 — штарковский контур линии H_β при концентрации $N_e = 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, 2 — лорентцовский контур с той же полушириной; В: 1 — штарковский контур линии H_α при концентрации $N_e = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, 2 — лорентцовский контур с той же полушириной.

по величине реабсорбции на линии H_α . Так как в нашем случае линия H_α имеет большую ширину, то мы могли определить коэффициент поглощения в центре линии. Коэффициент отражения зеркала r находился по сплошному спектру, реабсорбция в котором пренебрежима мала при концентрации электронов в указанном интервале. В качестве коэффициента поглощения в центре линии бралось выражение, справедливое для случая лорентцовского контура.

$$k_0 = \frac{2e^2 f_{ik}}{mc \Delta\nu} N_i, \quad (2)$$

где $\Delta\nu$ — полуширина лорентцовского контура, N_i — концентрация атомов на нижнем уровне, f_{ik} — сила осциллятора для данного перехода. Такая проверка привела к удовлетворительному согласию определенных этими двумя способами температур. Температуры около $10^4 \text{ }^\circ\text{K}$ отличались не более чем на $500\text{--}600 \text{ }^\circ\text{K}$.

В работе [1] мы предполагали, что контур линии H_β является лорентцовским. На рис. 7 приведены штарковские и лорентцовские контуры для линий H_α и H_β . Из этого рисунка видно, что такое представление экспериментального контура является достаточно точным.

4. С помощью метода, изложенного в работе [1], и экспериментальной установки, описанной в настоящей работе, была измерена концентрация электронов при давлении $400\text{--}700 \text{ тор}$.

В таблице представлена концентрация электронов, полученная с разверткой контура линии во времени и рассчитанная в соответствии с изложенным методом.

с целью равномерного освещения ступенчатого ослабителя.

3. В наших условиях концентрации электронов менялись в пределах от $4 \cdot 10^{15}$ до $4 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Теоретические соображения работы [1] предполагали наличие термодинамического равновесия. Для проверки концентрации электронов, найденная по полуширине контура линии H_β , вставлялась в формулу Саха и из нее вычислялась температура T . С другой стороны, температура определялась по относительной заселенности уровней с $n=2$ и $n=4$. Заселенность уровня $n=4$ определялась по абсолютной интенсивности линии H_β . Заселенность уровня $n=2$ находилась

Значения $N_e(0)$, см^{-3} , полученные экспериментально с разверткой контура линии во времени и без развертки предлагаемым методом [1]

$N_e(0)$ с разв.	$N_e(0)$ без разв.
$7.2 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{15}$
$1.1 \cdot 10^{16}$	$1.4 \cdot 10^{16}$
$2.2 \cdot 10^{16}$	$2.3 \cdot 10^{16}$
$4 \cdot 10^{16}$	$3.5 \cdot 10^{16}$

Как видно из таблицы, максимальный разброс экспериментальных и рассчитанных данных не превышает 20%, что вполне можно объяснить погрешностью эксперимента при фотографической регистрации.

Литература

- [1] В. С. Бородин, В. Д. Гебеков, Ю. М. Каган. *Опт. и спектр.*, 31, 525, 1971.
- [2] Г. Грим. *Спектроскопия плазмы*. Атомиздат, М., 1969.
- [3] *Спектроскопия газоразрядной плазмы*. Сб. статей под редакцией С. Э. Фриша. Изд. «Наука», Л., 1970.

Поступило в Редакцию 16 февраля 1971 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. СКОРИНЫ