

## ИОНИЗАЦИЯ ГАЗОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 266 нм

*Ю.В.Анищенко*

Экспериментально показано, что зависимость вероятности ионизации различных газов от интенсивности оптического излучения с  $\lambda = 266$  нм подчиняется степенному закону с нецелочисленным показателем степени приблизительно равным отношению потенциала ионизации к энергии кванта. Произведены оценки вероятности ионизации.

Процессы взаимодействия атомов и молекул со световым полем изучались в диапазонах видимых и инфракрасных волн (см. <sup>1,2</sup>). Цель настоящей работы – исследовать закономерности ионизации различных газов в ультрафиолетовой (УФ) области оптического излучения, где ионизация становится энергетически возможной при одновременном воздействии трех или четырех квантов.

УФ излучение с длиной волны 266 нм было получено двукратным удвоением частоты света Nd<sup>3+</sup>-лазера (1, 2, 3) рис. 1, усиленного в (6) и преобразованного в кристаллах ниобата лития (7, 8). Ионизация регистрировалась с помощью ионизационной камеры (14) с электронным собиранием. Выделенное с помощью призмы (9) и диафрагмы (10) излучение фокусировалось в центре промежутка между электродами камеры (диаметр электродов – 15 мм, зазор между ними – 4,5 мм), далее свет собирался линзой (13) на катоде фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) (16). Собирающий электрод ионизационной камеры присоединялся ко входу предусилителя (19). Окончательное усиление и регистрация электронного импульса осуществлялись осциллографом (22). Сигнал с ФЭУ через линию задержки 50 нс (20) и блок согласования нагрузок (21) поступал на тот же вход осциллографа; экран осциллогра-

фа фотографировался аппаратом (23). Измерения производились в двух режимах "быстрой" и "медленной" регистрации. В первом режиме использовались предусилители (18) и (19) со временем нарастания 2 нс и уровнем шумов 20 мкВ; во втором — предусилитель (19) имел

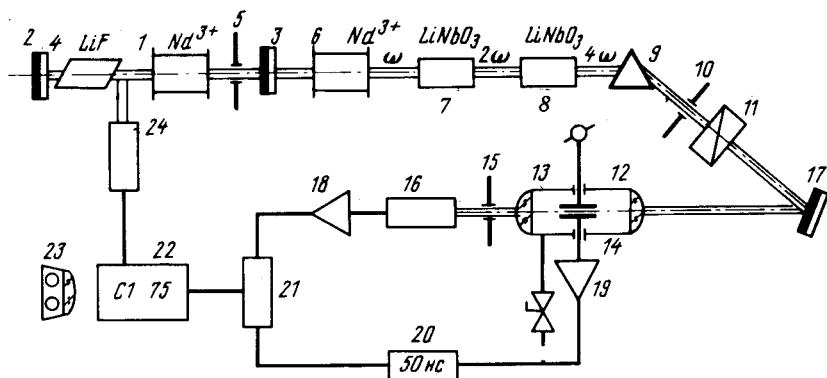


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

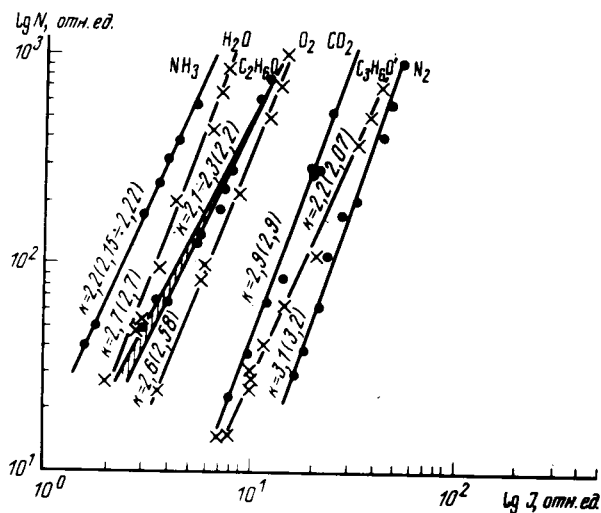
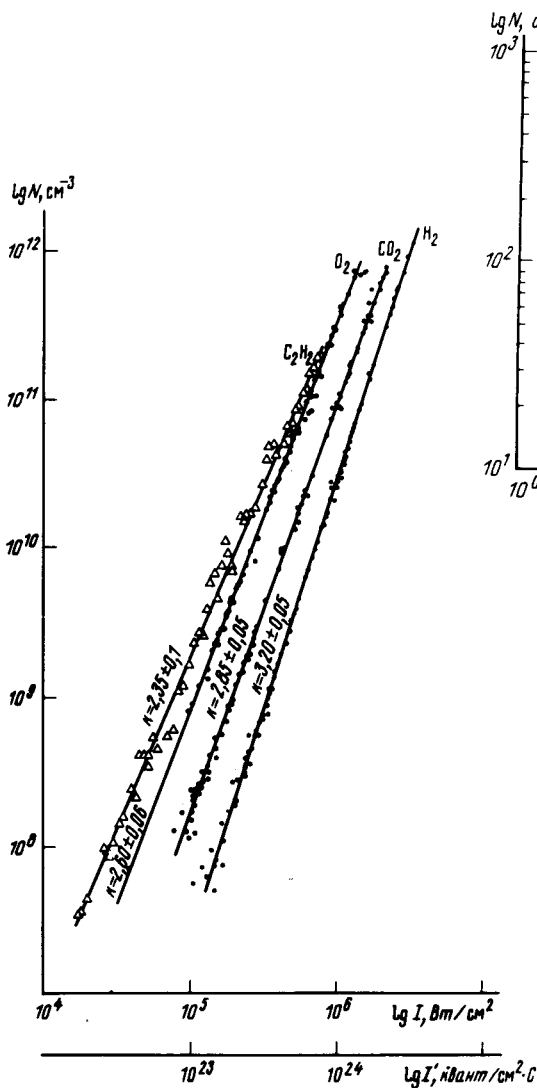


Рис. 2. Кривые зависимости плотности электронов  $N$  от интенсивности излучения  $J$  относительные единицы.  $k = \partial \lg N / \partial \lg J$ . В скобках — отношение потенциала ионизации к энергии кванта

Рис. 3. Кривые зависимости плотности электронов  $N$  от интенсивности излучения  $J$ .  $k = \partial \lg N / \partial \lg J$

полосу  $\sim 10$  кГц, а уровень шума был  $\leq 0,2$  мкВ, что позволило расширить измерительный диапазон на два порядка. Быстрые измерения информировали о том, где и как происходит ионизация, позволяли количественно оценивать потери электронов за счет образования отрицательных ионов и рекомбинации. При медленной регистрации канал измерения ионизации контролировался с помощью импульсов ионизации, создаваемых  $\alpha$ -частицами от источника из  $\text{Pu}^{239}$ . Отношение сигнал-шум при этом было равно 15. Канал регистрации интенсивности УФ излучения калибровался с помощью измерения энергии лазерных импульсов. Точность калибровки была не хуже 5%. Режим двукратного нелинейного преобразования частоты исходного излучения способствовал ограничению влияния флуктуаций модового состава света, хотя именно они были главной причиной разброса экспериментальных данных.

Результаты эксперимента представлены на рис. 2 и 3. Рис. 2 относится к режиму быстрой регистрации. Измерения производились в кислороде, азоте, углекислом газе и аммиаке при давлении 750 торр, в воде, спирте и ацетоне при давлениях 110, 200 и 250 торр. В логарифмическом масштабе по оси абсцисс отложены величины пропорциональные интенсивности УФ излучения,  $J$ , по оси ординат плотность электронов  $N$  в относительных единицах. Графики демонстрируют степенную зависимость числа пар ионов в единице объема от интенсивности излучения. На рис. 3 приведены сопоставимые графики зависимости  $\lg N$  ( $\lg J$ ) для  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{C}_2\text{H}_2$ , полученные в режиме медленных измерений в нормальных условиях,  $P = 760$  торр,  $T = 295$  К. Данные для  $\text{O}_2$  скорректированы с учетом потерь электронов за счет прилипания во время дрейфа к собирающему электроду.

Из эксперимента следует. 1) В диапазоне интенсивностей излучения  $10^5 - 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> вероятность ионизации подчиняется степенному закону  $w = AJ^k$ , где  $A$  — постоянная, характерная для данного газа. 2) Показатель степени  $k$  существенно отличается от целочисленного. 3)  $k$  с высокой точностью равен отношению потенциала ионизации газа  $I$  к энергии кванта  $\hbar\omega = 4,66$  эВ,  $k = I/\hbar\omega \pm 0,05 \dots 0,1$ . 4) Оценка вероятности процесса дает для величины  $A$  в водороде  $2,0_{-1,2}^{+2,4} \cdot 10^{-78}$ , в кислороде  $3,0_{-1,8}^{+3,6} \cdot 10^{-63}$ , в углекислом газе  $1,0_{-0,6}^{+1,2} \cdot 10^{-69}$  и в ацетилене  $1,0_{-0,6}^{+1,2} \cdot 10^{-56}$ .

Дробные значения  $k$ , меньшие  $k_0 = \langle \frac{I}{\hbar\omega} + 1 \rangle$  встречались ранее в экспериментальных работах посвященных изучению многофотонной ионизации. Так, например, в работах <sup>3</sup> и <sup>4</sup>, где изучалась семифотонная ионизация соответственно в водороде и азоте,  $k$  были ближе к отношению  $I/\hbar\omega = 6,6$ , чем к целочисленному 7. Авторы, однако, не придавали этому серьезного значения из-за неточности определения  $k$ . В нашем эксперименте, в условиях малых полей —  $10^3 - 10^4$  В/см, смещение и уширение возбужденных уровней не могут служить аргументом в пользу уменьшения  $k$ ; равно как и резонансные эффекты ввиду малой кратности  $k$  и относительно узкой линии генерации  $\approx 1$  см<sup>-1</sup>.

Выражаю глубокую благодарность В.М.Сидорину и В.П.Кутахову за внимание к работе и ценные замечания; Б.Г.Горшкову, В.В.Сенько и С.Н.Степаненко за полезную дискуссию и помощь.

#### Литература

1. Делоне Н.Б. УФН, 1975, 115, 361.
2. Бункин Ф.В., Тугов И.И. Труды ФИАН, 1984, 146, 3.
3. Манфре Ж., Манюс К., Тугов И. Письма в ЖЭТФ, 1972, 16, 19.
4. Lu Van M., Mainfray G. Phys. Lett., A, 1972, 39, 21.