

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

К. ПАНЕВКИН

## МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ АТОМЫ В ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЕ

*(Представлено академиком С. И. Вавиловым 29 XI 1947)*

1. По данным Тейера и Бернса (<sup>1</sup>), интенсивность линии 2537 Å, излучаемой положительным столбом разряда люминесцентной лампы, достигает 60% от подводимой электрической мощности. Ф. Бутаева и В. Фабрикант (<sup>2</sup>) указали на то, что невозможно объяснить такие большие значения выхода резонансной линии 2537 Å без учета соударений, испытываемых метастабильными атомами ртути  $6\ ^3P_2$  и  $6\ ^3P_0$ . Эти соударения метастабильных атомов ртути с электронами и атомами аргона должны приводить к значительному уменьшению продолжительности жизни метастабилей в сравнении с их диффузионной продолжительностью жизни. Диффузионная продолжительность жизни атомов в условиях люминесцентной лампы весьма велика ( $\tau_{\text{диф}} = 4 \cdot 10^{-2}$  сек.), так как присутствие аргона затрудняет диффузию к стенкам.

Настоящая работа имеет своей целью экспериментальное определение продолжительности жизни возбужденных атомов ртути в положительном столбе разряда люминесцентной лампы при нормальных условиях работы (сила тока 350 мА, давление паров ртути 0,01 мм Hg, диаметр разрядной трубки 36 мм, давление аргона 4 мм Hg).

2. Метод наблюдения состоял в определении спада абсорбции видимого триплета ( $6\ ^3P_{0,1,2} \rightarrow 7\ ^3S_1$ ) после выключения разряда. Источником поглощаемого излучения служила вторая лампа (Е-трубка) с такими же данными, как и абсорбционная (А-трубка). Для выключения разряда в А-трубке и пропускания световых импульсов от Е-трубки служил диск, вращающийся на оси синхронного мотора ( $n=25$  об/сек.). Излучение Е-трубки при помощи системы линз и диафрагм направлялось вдоль оси А-трубки и затем, пройдя вырез во вращающемся диске, попадало на входной зрачок монохроматора Фюса. Далее выделенная монохроматором линия попадала на катод 12-каскадного фотоэлектронного умножителя системы проф. Тимофеева\*. Ток от фотоэлектронного умножителя подавался на вход катодного осциллографа. Для горизонтальной развертки был использован разряд конденсатора на сопротивление. Линейность развертки контролировалась снятием соответствующей осциллограммы. Обе разрядные трубки питались от генератора постоянного тока. Пульсации напряжения сглаживались конденсаторным фильтром 100 мкФ. Два дросселя устраняли низкочастотные колебания в обеих разрядных трубках. Линейность световой характеристики фотоэлектронного умножителя проверялась с помощью нейтральных фильтров. Осциллограмма падения напряжения на А-трубке показала, что при замыкании этой трубки напряжение падало до нуля в течение менее, чем  $10^{-6}$  сек.

\* Изготовлен под руководством Е. Г. Кармаковой.

3. На рис. 1 приведены кривые спада концентраций атомов ртути в состояниях  $6^3P_{0,1,2}$ , после выключения разряда в люминесцентной лампе. Эти кривые рассчитаны из кривых спада абсорбции видимого триплета ртути при предположении доплеровской формы линий испускания и поглощения (3) с учетом 5 компонент сверхтонкой структуры (4). На рисунке кружочками отмечены точки, соответствующие уменьшению концентрации в  $l$  раз, т. е. продолжительности жизни возбужденных атомов.

Табл. 1 содержит начальные концентрации (т. е. концентрации в стационарном разряде) и продолжительность жизни указанных состояний атома ртути. Сравнение величин продолжительности жизни

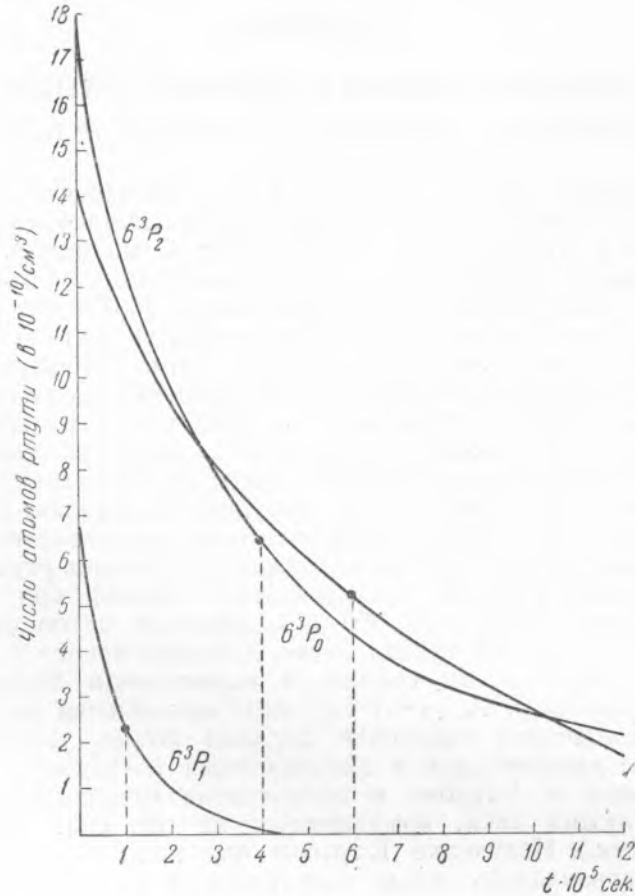


Рис. 1

возбужденных атомов, приведенных в табл. 1, с диффузионной продолжительностью жизни, указанной выше, показывает, что в положительном столбе разряда люминесцентной лампы уничтожение метастабильных атомов происходит исключительно в объеме газа и при рассмотрении условий стационарности диффузией этих атомов к стенке следует пренебречь (табл. 1).

4. Был произведен расчет элементарных актов возбуждения уровней  $6^3P_2$  и  $6^1P_1$  ртути, излучающих резонансные линии 2537 и 1850 Å. При расчете актов возбуждения этих уровней следует учитывать только такие переходы, для которых известны эффективные поперечные значения. Такими переходами, переводящими атомы ртути в состояние  $6^3P_1$ , являются: а) соударения первого рода нормальных атомов ртути с электронами; б) соударения второго рода метастабиль-

ных атомов ртути  $6^3P_2$  с электронами и атомами аргона; в) соударения первого рода метастабильных атомов ртути  $6^3P_0$  с электронами и атомами аргона. При возбуждении атомов  $6^1P_1$  главную роль играют соударения первого рода нормальных атомов ртути с электронами.

Подсчет соударений первого и второго рода атомов ртути с электронами производился по формулам, данным В. Фабрикантом (5). Соударения с атомами аргона подсчитывались газокинетическим способом. Данные о концентрации электронов и электронной температуре были взяты из работы Ф. А. Бутаевой (6). Эффективные сечения приведены в работе Б. Яворского (7). Вероятность соударений аргон — ртуть определены из экспериментальной работы Стюарта (8) по тушению резонансного излучения ртути. При этом внесены исправления, учитывающие замечания Фута (9) и Гавиолы (10) и соотношение Клейна-Росселанда (11).

Полученные нами экспериментальные значения продолжительности жизни атомов лежат между рассчитанными значениями, определяющимися разрушением только ударами второго рода с электронами или только ударами второго рода с атомами аргона (табл. 2). Удары второго рода с электронами, согласно расчету, приводят к величинам продолжительности жизни, весьма близким к определенным экспериментально. Однако возможно, что соударения с аргоном играют значительную роль.

Данные табл. 2 относительно соударений атомов  $6^3P_1$  с электронами и атомами Ar показывают, что эти соударения не могут вызвать заметного тушения излучения линии 2537 Å. Измеренная нами экспериментально продолжительность жизни атомов  $6^3P_1$  определяется „пленением“ излучения линии 2537 Å и согласуется с теорией диффузии излучения, разработанной Л. М. Биберманом (13).

5. В отсутствие тушения интенсивность излучения определяется исключительно числом актов возбуждения (12). В число актов возбуждения входят как возбуждающие соударения первого рода нормальных атомов ртути с электронами, так и соударения, переводящие метастабильные на излучающий уровень. В результате получаем, что интенсивность излучения спектральной линии единицей длины столба:

$$I_{2537} = \underbrace{0,09 \text{ W}}_{\text{прямое возбуждение}} + \underbrace{0,12 \text{ W}}_{\text{переход из метастабильных состояний}} = 0,21 \text{ W}$$

$$I_{1850} = \underbrace{0,09 \text{ W}}_{\text{прямое возбуждение}}$$

По измерениям Ф. Бутаевой, электрическая мощность, приходящаяся на 1 см длины столба люминесцентной лампы, равна 0,36 W. Таким образом, результат нашего расчета показывает, что интенсивность линии 2537 Å составляет 59,5% от электрической мощности, что хорошо согласуется с данными Тейера и Бернса (1). С другой стороны,

интенсивность линии 1850 Å, возбуждаемой главным образом прямо из нормального состояния атомов ртути, при соударении первого рода с электронами составляет 25% от электрической мощности. Это указывает на значительную роль этой линии в излучении люминесцентной лампы и согласуется с результатами измерений Ф. Бутаевой (6), показавшими значительную роль линии 1850 Å в возбуждении люминофора.

Аналогичный расчет абсолютной интенсивности резонансных линий в ртутном разряде без добавления аргона и при прочих условиях, соответствующих разряду в люминесцентной лампе, приводит к следующим значениям этих интенсивностей:

$$I_{2537} = 0,05 \text{ W}, I_{1850} = 0,10 \text{ W}.$$

Таким образом, добавление аргона сильно изменяет соотношение интенсивностей линий 2537 и 1850 Å. При добавлении аргона интенсивность линии 1850 Å даже немного уменьшается (вследствие падения электронной температуры), но интенсивность линии 2537 Å возрастает более, чем в 4 раза. Это возрастание объясняется не только увеличением концентрации электронов (за счет актов прямого возбуждения интенсивность линии 2537 Å возрастает с 0,05 W в чистых условиях до 0,09 W при добавлении аргона), но и в значительной степени наличием актов „отрицательного тушения“ в результате соударений второго рода метастабильных атомов  $6^3P_2$  с атомами аргона и электронами.

Настоящая работа была выполнена по предложению и под руководством проф. В. А. Фабриканта, которому автор выражает глубокую благодарность.

Всесоюзный электротехнический институт  
им. В. И. Ленина  
Московский энергетический институт  
им. В. М. Молотова

Поступило  
22 XI 1947

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> R. Thyer and B. Vagnes, JOSA, 29, 131 (1939). <sup>2</sup> Ф. Бутаева и В. Фабрикант, Изв. АН СССР, сер. физ., 9, 230 (1945). <sup>3</sup> А. Митчелл и М. Заманский, Резонансное излучение и возбуждение атома, 1937, стр. 272 и 273. <sup>4</sup> В. Фабрикант, Ф. Бутаева и И. Цирг, ЖЭТФ, 7, 733 (1937); 8, 35 (1938). <sup>5</sup> В. Фабрикант, ДАН, 15, 457 (1937); 19, 385 (1938); ЖЭТФ, 8, 549 (1938); Тр. ВЭИ, 236 (1940). <sup>6</sup> Ф. А. Бутаева, ЖТФ, 16, 1175 (1946). <sup>7</sup> В. Yavor'sky, J. of Phys., 10, 476 (1946); Б. Яворский, Изв. АН СССР, сер. физ., 9, 234 (1945); ЖЭТФ, 17, 315 (1947). <sup>8</sup> H. Stuart, Z. f. Phys., 34, 262 (1925). <sup>9</sup> P. Foote, Phys. Rev., 30, 288 (1927). <sup>10</sup> E. Gaviola, ibid., 34, 1049 (1929). <sup>11</sup> O. Klein u. S. Rosse-land, Z. f. Phys., 4, 45 (1921). <sup>12</sup> В. А. Фабрикант, Изв. АН СССР, сер. физ., 305 (1938). <sup>13</sup> Л. М. Биберман, ЖЭТФ, 17, 416 (1947).