

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Ф. А. БУТАЕВА

**ВОЗБУЖДЕНИЕ ЛЮМИНОФОРОВ В РТУТНЫХ ЛАМПАХ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ***(Представлено академиком С. И. Вавиловым 21 III 1940)*

За последние годы появилось много работ по ртутным лампам низкого давления с люминофорами, нанесенными на внутренние стенки ламп <sup>(1)</sup>. Одновременно исследовались оптические свойства люминофоров, применяемых в этих лампах <sup>(2)</sup>. Возбуждение люминофоров в лампах определяется двумя факторами: а) чувствительностью люминофора к отдельным длинам волн излучения, испускаемого разрядом; б) распределением энергии в спектре излучения разряда.

Рютенауер <sup>(2)</sup> показал, что при 1,5%-ном содержании  $Mn$  силикат цинка чувствителен к обеим резонансным линиям ртути 1850 Å и 2537 Å. К такому же результату приходит Биз, исследовавший более подробно чувствительность люминофоров в Шумановской области спектра. Тем не менее Рютенауер <sup>(1)</sup>, Рослер и Шонхер <sup>(1)</sup>, исследуя возбуждение люминофоров в ртутных лампах низкого давления, пришли к заключению, что люминофоры возбуждаются только одной линией 2537 Å, и на долю возбуждения линией 1850 Å приходится не более 10% интенсивности люминесценции. Сопоставление этих результатов привело к выводу, что в ртутном разряде низкого давления интенсивность линии 1850 Å весьма мала.

Все остальные авторы (Марден, Биз, Мейстер, Одей, Дженкинс и др.), не производя специальных исследований разряда, считают также, что в ртутных лампах низкого давления люминофоры могут возбуждаться только линией 2537 Å.

Однако расчет излучения ртутного разряда, произведенный В. А. Фабрикантом <sup>(3)</sup> на основании атомных констант и результатов зондовых измерений, показал, что в условиях разряда низкого давления линия 1850 Å должна обладать большой интенсивностью. При давлениях порядка  $10^{-4}$  мм Hg почти вся энергия должна быть сосредоточена в линии 1850 Å; при  $10^{-2}$  мм Hg энергии и линий 1850 и 2537 Å сравнимы и только при  $10^{-1}$  мм Hg линия 1850 Å должна быть гораздо слабее, чем линия 2537 Å. Этот результат непосредственно вытекает из большой величины вероятности возбуждения в разряде уровня  $6^1P_1$ , с которого начинается линия 1850 Å. Тот же расчет показал, что тушение ударами второго рода при давлениях порядка  $10^{-2}$  мм Hg должно быть еще мало.

Содержание настоящей работы составляет описание ряда фактов, качественно подтверждающих основной результат указанного расчета.

Нами измерялись интенсивности полос эмиссии люминофоров в виде проб, освещаемых кварцевыми лампами. Эти пробы состояли из силикатов

цинка: № 1  $\text{ZnSiO}_3 \cdot \text{Mn} 1\%$  — зеленого цвета, № 2  $\text{ZnSiO}_3 + 15\% \text{Be} \cdot \text{Mn} 1\%$  желтого цвета, № 3  $\text{ZnSiO}_3 + 15\% \text{Be} \cdot \text{Mn} 2\%$  — оранжевого цвета.

Люминофоры изготовлялись в нашей лаборатории В. И. Долгополовым. Схема для измерений состояла из трех основных частей: источник излучения, возбуждающего люминесценцию, проба люминофора и прибор для измерений интенсивности люминесценций. В качестве источников возбуждения мы применили кварцевые лампы двух типов: низкого и высокого давления. Высоковольтные кварцевые лампы низкого давления были изготовлены из кварцевых трубок, полученных с завода им. Ломоносова диаметром 25 и 28 мм и длиной 350 и 250 мм, с холодными катодами. Режим и наполнение газом подбирались такими же, как у высоковольтных ламп с люминофорами: ток 60 мА, давление инертного газа 4—5 мм. Такие кварцевые лампы диаметром 25 и 28 мм обладали распределением энергии, близким к тому, какое имеет излучение, падающее на люминофор в лампах низкого давления. Капиллярная кварцевая лампа при той же силе тока нагревалась сильнее, что соответствовало более высокому давлению, чем у широких ламп. Кварцевая лампа высокого давления давала возможность благодаря большой интенсивности выделить монохроматором линию 2537 Å и освещать пробу только этой линией.

Проба люминофора, освещаемая кварцевой лампой, находилась в виде порошка в металлической коробке размером  $40 \times 15 \times 1,5$  мм. Порошок в коробке прижимался шлифованной кварцевой пластинкой. Измерения интенсивности производились спектрофотометром Кениг-Мартенса.

При подборе смеси люминофоров для ламп белого света использовались кривые распределения энергии в полосах люминесценции отдельных люминофоров. Результаты измерений для двух люминофоров № 2 и № 3 при освещении их тремя различными лампами показали, что соотношение яркостей этих люминофоров зависит от условий возбуждения. При возбуждении сквозь монохроматор линией 2537 Å максимум интенсивности люминофора № 2 ниже, чем у № 3. При освещении люминофоров неразложенным светом широкой кварцевой лампы низкого давления максимум люминофора № 2 значительно выше, чем у № 3. При освещении порошка капиллярной лампой с режимом, промежуточным между указанными лампами, максимумы почти равны. Важно отметить, что измерения с лампами низкого давления производились при близких расстояниях между лампой и пробой.

Различие в поведении исследуемых люминофоров в зависимости от условий эксперимента на первый взгляд можно было объяснить возможностью насыщения интенсивности люминофора № 3 при больших освещенностях. Но проверка при помощи нейтральных сеток показала, что в условиях наших измерений насыщения нет. Это обстоятельство подтверждается также тем, что при возбуждении широкой и капиллярной лампами мы производили спектрофотометрические измерения примерно в одних и тех же углах при одинаковых яркостях люминофоров. Яркости люминесценции проб регулировались изменением расстояний от освещающей лампы в небольших пределах.

Оставалось объяснить это расхождение в поведении люминофоров влиянием линии 1850 Å. Естественно было ожидать, что в широкой лампе низкого давления интенсивность линии 1850 Å будет наибольшей (по отношению к линии 2537 Å), затем меньшая интенсивность в капиллярной лампе и, наконец, полное отсутствие линии 1850 Å при измерениях с монохроматором.

Для объяснения различий между люминофорами № 2 и 3 необходимо было предположить, что линия 1850 Å играет существенную роль в возбуждении и что люминофор № 2 сильнее возбуждается линией 1850 Å, чем

люминофор № 3. Второе предположение находится в согласии с установленным Рютенауером сдвигом полосы возбуждения при увеличении содержания активатора.

Для проверки и уточнения высказанных выше предположений о роли линии 1850 Å мы провели ряд контрольных экспериментов. Все эти эксперименты сводились к отфильтровыванию линии 1850 Å.

Известно, что ртутные пары при комнатной температуре и при толщине слоя в 2—3 см полностью поглощают линию 1850 Å и пропускают процентов 30 от излучения линии 2537 Å (\*). Мы поставили на пути между освещающей лампой и люминофором такой ртутный фильтр. Определялось отношение яркостей люминофоров с фильтром и без фильтра. Отношение яркостей для люминофора № 1 оказалось равным 0,24, для № 2—0,28 и для № 3—0,39. Мы видим прежде всего, что ртутный фильтр сильнее ослабляет интенсивность люминофора № 2, чем № 3. Кроме того мы видим, что яркость люминофора № 1 снижается еще больше, чем № 2.

Во втором контрольном эксперименте в качестве фильтра был использован воздух, как известно, сильно поглощающий линию 1850 Å. Мы устанавливали на различных расстояниях от лампы пробы и оказалось, что при удалении на расстояние до 10—15 мм яркости всех люминофоров меняются одинаково, а при расстоянии 200 мм яркость люминофора № 1 ослабевает в 8,5 раза, в то время как яркость люминофора № 3 ослабевает только в 4,8 раза. Таким образом яркость силиката цинка почти в два раза быстрее ослабевает, чем яркость цинк-бериллий силиката.

И, наконец, мы при помощи люминофоров измерили коэффициент пропускания пластинки толщиной 2 мм из увиолиевого стекла, изготовленного Ф. П. Ощипковым. Коэффициент пропускания этого стекла для линии 2537 Å предварительно был определен на установке с монохроматором при помощи термостолбика Всесоюзного электротехнического института. Коэффициент пропускания оказался равным 37%. Линия 1850 Å, очевидно, поглощается полностью. Коэффициенты пропускания, измеренные на установке с ртутной лампой низкого давления и с тремя люминофорами при небольших расстояниях между лампой и люминофорами, оказались равными: 0,18 для люминофора № 1, 0,26 для № 2 и 0,36 для № 3.

При измерениях с увиолевой пластинкой на расстояниях более 200 мм между лампой и пробой расхождение между коэффициентами было незначительно. В процессе измерений выяснилось, что разمول по-разному влияет на характер возбуждения отдельных люминофоров. Разمول понижает яркость силиката цинка примерно в 2,5 раза. Особенно интересно отметить, что коэффициент пропускания увиолиевого стекла, измеренный с помощью весьма мелко размолотого силиката цинка, повышается до 25%, в то время как для люминофора № 3 коэффициент пропускания стекла не зависит от размола.

Следует также отметить, что предварительные эксперименты не обнаружили резкой зависимости всех наблюдаемых эффектов от силы тока в широких лампах низкого давления. Сила тока изменялась от 10 до 200 мА.

Результаты всех приведенных выше экспериментов находятся в хорошем согласии между собой. Различие в коэффициентах пропускания паров ртути, воздуха и увиолиевого стекла, измеренных при помощи трех разных люминофоров, могут быть объяснены только влиянием линии 1850 Å. Из приведенных данных следует, что наибольшей чувствительностью к этой линии обладает силикат цинка.

Измерения со стеклянным фильтром показывают, что в ртутном разряде низкого давления линия 1850 Å участвует в возбуждении силиката цинка в равной степени с линией 2537 Å. Это свидетельствует о значительной интенсивности линии 1850 Å в ртутных лампах низкого давления.

Цинк-бериллий силикат с тем же содержанием активатора, что и силикат цинка, обладает очевидно меньшей чувствительностью к этой линии. Это свидетельствует об одинаковом характере влияния бериллия и марганца на кривую чувствительности силикатов. Цинк-бериллий силикат с 2% марганца уже практически не реагирует на линию  $1850 \text{ \AA}$ , и поэтому в возбуждении этого силиката в лампах линия  $1850 \text{ \AA}$  не участвует, несмотря на ее значительную интенсивность в разряде.

При испытаниях люминофоров необходимо учитывать влияние линии  $1850 \text{ \AA}$  и подбирать соответствующим образом условия экспериментов.

С практической точки зрения при разработке ламп белого и дневного света следует обратить внимание на возможность увеличения светоотдачи путем очувствления люминофоров к линии  $1850 \text{ \AA}$ . Применение силиката цинка дает возможность изучить влияние условий разряда на интенсивность линии  $1850 \text{ \AA}$  [с применением метода люминесцирующих зондов <sup>(5)</sup>]. Количественную оценку абсолютной интенсивности этой линии можно будет сделать на основании термоэлектрических измерений. Соответствующие работы ведутся в нашей лаборатории.

Выражаю благодарность проф. В. А. Фабриканту за руководство работой и ценные указания.

Всесоюзный электротехнический институт  
Москва

Поступило  
23 III 1940

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Rüttenauer, ETZ, 59, 1158; ZS. f. techn. Phys., 19, 359 (1938).  
Krefft, ZS. f. techn. Phys., 19, 345 (1938); F. Rössler, F. Schönherr;  
Phys. ZS., 39 902 (1938); G. Inman, Trans. YES, 34, 65 (1939); J. Marden,  
N. Beese a. Meister, Trans. YES, 34, 55 (1939); A. Oday a. R. Cissell,  
Trans. YES, 34, 1165 (1939); A. Jenkins a. D. Broun, GEC Journ., IX,  
3 (1938). <sup>2</sup> A. Rüttenauer, ZS. f. techn. Phys., 19, 149 (1938); R. Fonda,  
J. Phys. Chem., 43, 561 (1939), J. Appl. Phys., 10, 408 (1939); N. Beese, J. O. SA,  
29, 278 (1939); H. Leverenz and F. Seitz, J. Appl. Phys., 10, 479 (1939),  
<sup>3</sup> В. Фабрикант, ЖЭТФ, 8, 549 (1938). <sup>4</sup> P. Garrett, Phys. Rev., 40,  
779 (1932). <sup>5</sup> В. Фабрикант, ДАН, XXII, 574 (1939).