

Н. А. ТОЛСТОЙ и П. П. ФЕОФИЛОВ

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ С ПОМОЩЬЮ КАТОДНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 13 III 1947)

Получающий в последние годы все большее распространение катодный осциллограф является чрезвычайно удобным орудием для изучения процессов, интересующих не только радио- и электрофизика, но и оптика. В настоящей заметке указываются некоторые методы количественного исследования затухания люминесцирующих веществ с временами затухания, лежащими в пределах  $10^{-1}$ — $10^{-5}$  сек., т. е. в интервале применимости фосфороскопа Беккереля.

Непосредственные измерения с помощью фосфороскопа Беккереля связаны, помимо больших затрат времени, с некоторыми принципиальными трудностями, из которых мы укажем на следующие: 1) сложность разделения мгновенного ( $10^{-8}$ — $10^{-9}$  сек.) и длительного ( $> 10^{-5}$  сек.) свечения, имеющих у некоторых люминофоров; 2) неудобство изучения законов разгорания свечения; 3) некоторое несоответствие опытной кривой затухания с истинной кривой, происходящее вследствие конечного времени прекращения светового возбуждения образца, в результате чего опытная кривая представляет собой наложение бесконечного числа истинных кривых, сдвинутых во времени. Как показал С. И. Вавилов (1), теория фосфороскопа Беккереля, развивавшаяся в работах Видемана (2) и Перрена и Делорма (3), охватывает только экспоненциально затухающие люминофоры, приводя в более общем случае к пока непреодоленным математическим трудностям; 4) наконец, сама длительность измерений практически препятствует широкому изучению влияний внешних факторов (температуры, давления, полей и т. д.) на характер затухания люминофоров.

Применение объективного метода, состоящего в сочетании механического obtюратора (зубчатого диска), фотоэлемента или фотоэлектронного умножителя и катодного осциллографа, открывает ряд возможностей для устранения перечисленных недостатков. Следует заметить, что катодный осциллограф уже использовался для наблюдения хода затухания и разгорания люминофоров (4, 5), однако авторы ограничивались получением качественных картин.

§ 1. Простейшая схема, свободная от недостатков 1) и 2) и в достаточной мере от 4), приведена на рис. 1. Здесь  $D_1$  — зубчатый диск, попеременно закрывающий и открывающий доступ возбуждающего света (лампа СВД, питаемая сетевым постоянным током через дроссель, сглаживающий случайные колебания напряжения) к образцу  $M$ . Свечение последнего попадает на фотоэлемент (или умножитель)  $Ph$ . Добавочный зуб  $Z$ , укреплённый на диске между  $M$  и  $Ph$ , время от времени полностью закрывает доступ света к фотоэлементу, что позволяет установить „нуль“ интенсивности. На катодном осциллографе

К. О. получаются фотографируемые кривые, вид которых приведен на том же рисунке. Луч на экране осциллографа перемещается в горизонтальном направлении с постоянной скоростью. Скрещенные светофильтры  $F_1$  и  $F_2$  защищают фотоэлемент от прямых лучей возбуждающего источника. Сопротивление  $R$  выбирается так, чтобы постоянная времени  $RC$  ( $C$  — емкость входа осциллографа) была гораздо меньше времени затухания люминофора.

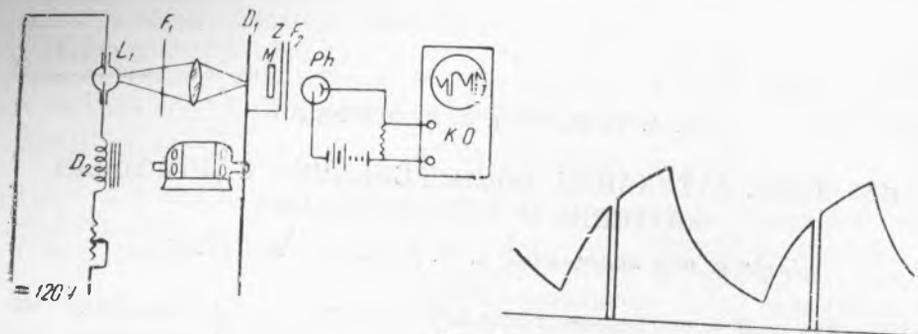


Рис. 1

Измерение затухания люминесценции ряда стекол с марганцем, самарием и ураном в качестве активаторов и некоторых кристаллофосфоров показало полную пригодность подобной установки для количественного изучения законов затухания. Полученные результаты с точностью до нескольких процентов совпадают со старыми данными, полученными визуальным методом (6, 7). При этом у одного из марганцевых стекол удалось обнаружить наличие «мгновенного» свечения, интенсивность которого сравнима по порядку величины с интенсивностью фосфоресценции.

§ 2. Вид истинной кривой затухания можно установить, изучая производных по времени от опытной кривой. Пусть  $I(t)$  — опытная кривая затухания люминофора,  $f(t)$  — истинный закон затухания и  $\theta$  — время, в течение которого линейно закрывается возбуждающий свет. Будем считать, что люминофор практически полностью высвечивается и полностью разгорается за периоды обтюрации. Кроме того, будем исходить из эквивалентности двух процессов: процесса линейного наползания полной тени на образец и процесса линейного убывания общей освещенности образца. Тогда для  $0 < t < \theta$

$$I = I_0 \frac{\theta - t}{\theta} = \frac{I_0}{\theta} \int_0^t f(t) dt, \quad (1)$$

а для  $\theta < t < \infty$

$$I = \frac{I_0}{\theta} \int_0^{\theta} f(t-x) dx. \quad (2)$$

Дифференцируя (1), получаем

$$f(t) = 1 + \frac{I'\theta}{I_0} \quad (0 < t < \theta). \quad (3)$$

Зная  $\theta$  и ход  $I'(t)$  в интервале  $0 < t < \theta$ , можно определить  $f(t)$ . При заданном  $f(t)$  измеряемое изменение  $I'(t)$  будет расти при сокращении  $\theta$ , т. е. при увеличении скорости обтюрации. При этом, однако, мы будем изучать  $f(t)$  во все более узкой начальной стадии затухания. Очевидно, это может представить особый интерес в случаях кратковременных процессов, когда  $f(t)$  существенно изменяется за ми-

нимальное время  $\theta$ , еще осуществимое в механических фосфороскопах, а также в тех случаях, когда люминесценция затухает в начальных и последующих стадиях по различному закону. Метод позволяет, таким образом, изучать процесс затухания еще до момента полного прекращения возбуждения, хотя при этом накладываются строгие требования на линейность закона убывания возбуждающего света.

Дифференцируя уравнение (2), получаем

$$I'(t) = \frac{I_0}{\theta} [f(t) - f(t - \theta)]. \quad (4)$$

Придавая  $t$  значения  $t + \theta, t + 2\theta, \dots, t + k\theta, \dots$  и суммируя полученные выражения, имеем  $\sum_{k=0}^n I'(t + k\theta) = \frac{I_0}{\theta} [f(t + n\theta) - f(t - \theta)]$ .

Если свечение затухает за время обтюрации полностью, то при  $n \rightarrow \infty$   $f(t + n\theta) \rightarrow 0$ , и

$$f(t - \theta) = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} I'(t + k\theta)}{I_0} \theta. \quad (5)$$

Таким образом, беря ординаты графика  $I'(t)$  через интервалы времени  $\theta$ , начиная с времени  $t$ , и складывая их, получаем (с точностью до коэффициентов) точку на кривой затухания, соответствующую моменту  $(t - \theta)$ .

Дифференцирование кривой затухания может быть произведено непосредственно путем включения дифференцирующего устройства (конденсатора малой емкости) перед катодным осциллографом, на экране которого наблюдается сама  $I'(t)$ . Метод дифференцирования свободен от недостатка 2), являясь, однако, довольно сложным. В случае веществ с экспоненциальным законом затухания свечения необходимость в этом методе отпадает, так как  $I(t)$  (при  $t > \theta$ ) также является экспонентой. Очевидно, область применения этого метода — быстро и неэкспоненциально затухающие вещества. В частности, он может быть, повидимому, применен для выяснения начальной стадии закона затухания кристаллофосфоров, где гиперболическая формула перестает быть справедливой.

§ 3. Постоянная затухания экспоненциально затухающей люминесценции может определяться особенно быстро и удобно при замене линейной горизонтальной развертки осциллографа экспоненциальной с переменным показателем экспоненты\*.

Пусть падение напряжения, вызываемое фототоком на сопротивлении, включенном на входе осциллографа, меняется по закону

$$y = y_0 e^{-t/\tau}. \quad (6)$$

На горизонтальную развертку осциллографа подается напряжение от контура, состоящего из емкости  $C$  и сопротивления  $R$  и питаемого фототоком второго фотоэлемента (умножителя); последний освещается светом лампы накаливания, прерываемым с той же частотой и фазой, что и свет, возбуждающий люминесценцию. Это напряжение меняется по закону

$$x = x_0 e^{-t/RC}. \quad (7)$$

Уравнение кривой, наблюдаемой на экране, получается исключением времени из (6) и (7)

$$v = y_0 \left( \frac{x}{x_0} \right)^{RC/\tau}. \quad (8)$$

\* Авторы пользуются случаем сердечно поблагодарить В. Л. Крейцера за советы по этому вопросу.

и представляет собой уравнение параболы. Нетрудно показать, что соответствующая кривая разгорания люминесценции, развертываемая

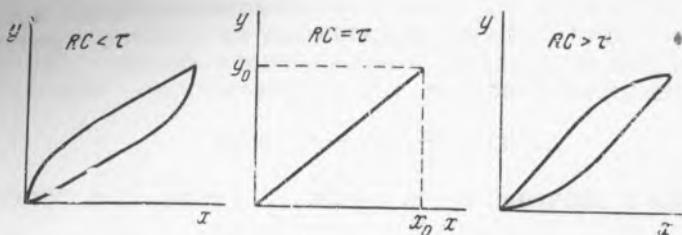


Рис. 2

экспонентой заряжения емкости  $C$  через сопротивление  $R$ , будет представлять собой также параболу, однако обращенную выпуклостью в другую сторону (рис. 2). При  $RC = \tau$  параболы вырождаются в два

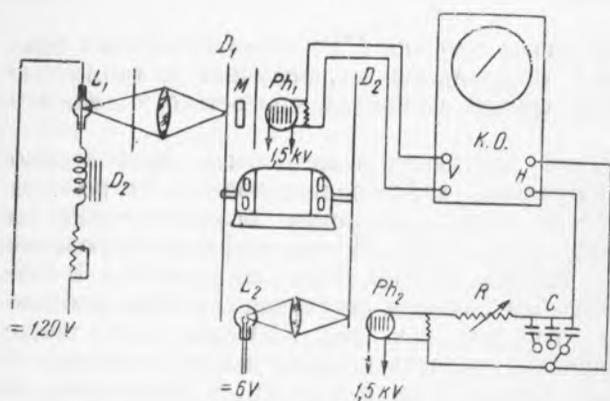


Рис. 3

сливающихся друг с другом отрезка прямых. Для измерения  $\tau$  емкости и сопротивления подбираются таким образом, чтобы наблюдаемая на экране осциллографа петля превращалась в прямую линию.

Схема установки, построенной нами на этом принципе, изображена на рис. 3. Она отличается от изображенной на рис. 1 наличием второго диска  $D_2$ , пре-

рывающего свет лампы накаливания  $L_2$ , падающий на второй умножитель  $Ph_2$ , который с помощью  $R$  и  $C$  вырабатывает экспоненты для горизонтальной развертки.

Определение  $\tau$  этим методом сводится к повороту ручки переменного сопротивления  $R$  и осуществляется практически мгновенно, чем в полной мере устраняется недостаток 4), упомянутый в начале этой заметки. Погрешность отдельного измерения, по предварительным данным, не превышает 2—3% от измеряемой величины.

Метод экспоненциальной развертки может быть распространен и на не чисто экспоненциальные законы затухания. Отклонение законов затухания от экспоненты может быть сразу установлено по невозможности одновременного спрямления кривых по всей их длине.

Лаборатория люминесценции  
Государственного оптического института

Поступило  
4 III 1947

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. И. Вавилов, ДАН, 27, 112 (1940). <sup>2</sup> E. Wiedemann, Ann. d. Phys., 34, 455 (1888). <sup>3</sup> R. Delorme et F. Perrin, J. de phys. et le rad., 10, 177 (1929). <sup>4</sup> De Groot, Physica, 6, 275, 393 (1939); Trans. Farad. Soc., 35, 85 (1939). <sup>5</sup> J. Randall and M. Wilkins, Proc. Roy. Soc., 184, 347 (1945). <sup>6</sup> С. И. Вавилов и А. Н. Севченко, ДАН, 27, 541 (1940). <sup>7</sup> А. Н. Севченко, Изв. АН СССР, сер. физ., 9, 573 (1945).