

Т. В. ТИМОФЕЕВА

**ВЫХОД ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЕРНИСТОГО ЦИНКА ПРИ
ВОЗБУЖДЕНИИ α - И γ -ЛУЧАМИ**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 14 V 1949)

1. В нашем первом сообщении ⁽¹⁾ об определении абсолютного выхода люминесценции при возбуждении α -лучами было отмечено, что абсолютный выход α -радиолюминесценции имеет величину порядка нескольких процентов. Значения выхода, полученные другими авторами, если учесть их ошибки ⁽²⁾, колеблются в пределах 4—12%. Особняком стоят данные Рия ⁽³⁾, нашедшего, что выход равен 80% для особо чувствительного образца ZnS, однако подробностей эксперимента автор не приводит. Ввиду принципиальной важности значения выхода для выяснения механизма радиолюминесценции и для практических целей мы произвели измерения на большом числе образцов сернистого цинка.

Для определения выхода, т. е. отношения энергии люминесценции к поглощенной возбуждающей энергии, мы воспользовались прежней методикой ⁽¹⁾. Примененные экраны сернистого цинка толщиной в 0,2—0,5 мм обеспечивали полное поглощение в них α -частиц и позволяли считать, что весь световой поток люминесценции испускается в сторону источника возбуждения. Энергия люминесценции E_λ определялась из сравнения яркости люминесцирующего экрана B с яркостью самосвечения кристаллов сернистого уранил-калия B_0 ⁽⁴⁾, излучаемая которым энергия с квадратного сантиметра известна (E_0). Экспериментально было установлено, что наблюдаемая яркость для экранов из сернистого цинка и сернистого уранил-калия не зависит от угла наблюдения. Поэтому мы принимали, что обе поверхности излучают по одному закону и, следовательно, отношение яркостей дает отношение общих световых потоков, т. е. $E_\lambda = \frac{B}{B_0} E_0$.

Таким методом было промерено 16 образцов различным образом изготовленных сернистых цинков из разных организаций. Полученные значения их выхода менялись от 0,5 до 2,6%.

Если учесть ошибки радиометрических измерений (25—35%), фотометрических измерений при малых интенсивностях ($\sim 10\%$), абсолютную ошибку градуировки эталона (15—20%) и небольшую поправку на различие в спектральном распределении энергии излучения ZnS и эталона, то в худшем случае ошибка определения выхода может достигать почти 100%. Но и тогда значения выхода достигают нескольких процентов, а не десятков процентов, как следует из данных Рия, т. е. имеют тот же порядок величины, что и для катодолюминесценции, значения выхода для которой колеблются от 4 до 6%, в редких случаях повышаясь до 10% ⁽⁵⁾.

2. Перейдем теперь к вопросу о выходе при возбуждении γ -лучами. Определение этого выхода было сделано Г. Борном, Н. Рилем и К. Циммером ⁽⁶⁾, получившими значение выхода, равное 71%. Так как авторы не указывают способа измерения поглощенной энергии и ввиду расхождения наших данных для α -радиолюминесценции с данными Рила, мы произвели измерения выхода при возбуждении γ -лучами.

Источником γ -лучей служил препарат радия-мезотория (10 мг), находящийся на расстоянии 1,5 см от экрана. Отсутствие β -лучей проверялось выполнимостью закона обратных квадратов.

Энергия, падающая на 1 см² экрана из сернистого цинка, определялась из γ -эквивалента, считая, что 1 г Ra в равновесии со своими продуктами распада излучает в час в виде γ -излучений 40 джоулей ⁽⁷⁾. Энергия, поглощенная в слое, определялась расчетом для двух наиболее жестких излучений ThC'' (2,6 MeV) и Ra(B + C) (1,8 MeV). Поглощение за счет комптон-эффекта и фотоэффекта на один атом Zn и S рассчитывалось на основании данных для свинца, учитывая, что фотоэффект пропорционален Z^5 , а комптон-эффект пропорционален Z , где Z — заряд ядра. Отсюда коэффициент поглощения на 1 см пути в ZnS мы нашли равным 0,08.

Толщина слоя экрана определялась взвешиванием. Предварительно определенная насыпная плотность ZnS равна 1,69 г/см³. Слои изготовлялись осаждением из спирта и были достаточно тонки (40—70 μ), чтобы могли пренебречь поглощением и рассеянием света в них и считать, что в сторону наблюдателя выходит половина всего образуемого в люминесцирующем слое света. Энергия люминесценции определялась аналогично ее определению при возбуждении α -лучами (см. выше), т. е. $E_\lambda = 2 \frac{B}{B_0} E_\alpha$.

Полученные таким образом значения для выхода γ -радиолюминесценции 8 образцов сернистых цинков колеблются от 0,4 до 1,0%. Так как ошибки измерений такие же, как при определении выхода α -радиолюминесценции, то полученные значения могут в крайнем случае удвоиться.

Отношение выходов при возбуждении α - и γ -лучами меняется для разных образцов от 2 до 6. Такие же отношения приводятся и другими авторами ⁽⁸⁾, но их значения абсолютных выходов резко отличаются.

Таким образом, значения выхода α - и γ -радиолюминесценции сернистых цинков составляют несколько процентов, так же как и выход катодолюминесценции. Выход α -радиолюминесценции в несколько раз больше выхода γ -радиолюминесценции.

Небольшое значение выхода катодолюминесценции связывается с малой глубиной проникновения катодных лучей в кристалл (0,5—1 μ), т. е. с поверхностным характером явления ⁽⁹⁾.

Так как при возбуждении как катодным, так и α - и γ -лучами образуются каскады вторичных электронов, то, в силу общности процесса торможения, вероятность возникновения возбужденных состояний должна быть одного порядка.

Глубина проникновения α - и, тем более, γ -лучей значительно больше, чем у катодных лучей. Однако для α - и γ -лучей квантовый выход на 1—2 порядка выше, чем выход для катодных лучей, который равняется 10^2 квант/частицу. При таком многоквантовом размене энергии небольшое значение выхода вполне естественно.

Кроме того, здесь велика вероятность тушения, т. е. переходов без излучения, которые пропорциональны высокой степени температуры, интенсивности возбуждения и высоте возбуждаемого энергетического уровня ⁽¹⁰⁾.

При возбуждении γ -лучами возникает каскад быстрых электронов, в случае α -лучей такой же энергии — каскад медленных электронов (¹¹). В первом случае вероятность безизлучательных переходов больше, так как больше длительность жизни возбужденного состояния и энергетически оно выше, чем, возможно, и объясняется меньший выход γ -радиолюминесценции по сравнению с α -радиолюминесценцией. Зависимость выхода от энергии и интенсивности возбуждения известна и для фотовозбуждения (¹²).

3. Если считать, что абсолютная величина выхода определяется процессом подведения возбуждающей энергии и связанной с этим различной вероятностью тушащих процессов, то выход при разных видах возбуждения может неодинаково зависеть от концентрации активатора. Для выяснения этого были произведены измерения яркости толстых экранов из сернистых цинков, отличающихся только по концентрации активатора при возбуждении их α -лучами полония, $\beta + \gamma$ - и γ -лучами препарата радия-мезотория и ультрафиолетовым излучением ртутной кварцевой лампы, профильтрованным через „черное“ стекло с максимумом пропускания 313 м μ .

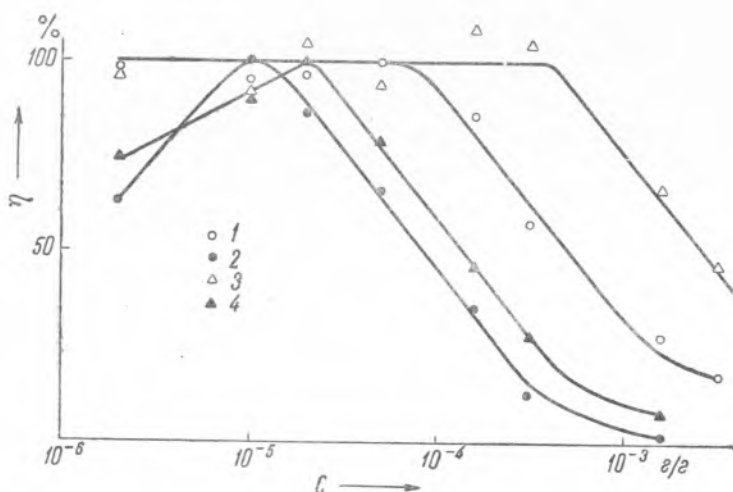


Рис. 1. Зависимость выхода от концентрации активатора при разных видах возбуждения. 1 — ультрафиолетовые лучи, 2 — α -лучи, 3 — γ -лучи, 4 — $\beta + \gamma$ -лучи

Для α -лучей имеет место полное поглощение и яркость пропорциональна выходу. Для γ - и $\beta + \gamma$ -лучей мы тоже можем с некоторым приближением считать, что поглощаемая энергия в разных образцах одинакова, так как плотность и толщина слоя одинаковы (ошибка 10—15%). Следовательно, и здесь мы можем считать яркость пропорциональной выходу. Для фотовозбуждения мы имеем полное поглощение для 313 м μ (99%). Рассеяние же как возбуждающего, так и излучаемого света должно быть одного порядка для изготовленных в одинаковых условиях образцов сернистого цинка (приблизительно одинаковая крупность кристаллов). Линейность зависимости яркости люминесценции от интенсивности возбуждения была проверена опытом и, следовательно, относительный выход также будет пропорционален яркости.

Полученные таким образом значения относительного выхода представлены на рис. 1, где по оси абсцисс отложена концентрация активатора (медь) в граммах на грамм ZnS, а по оси ординат — относительные выходы при максимальном выходе, принятом для каждого вида возбуждения за 100%.

Как видно из рис. 1, спад кривых, указывающий на концентрационное тушение, имеет одинаковый ход, однако начинается при разных концентрациях для разных видов возбуждения, а именно, при концентрации тем более высокой, чем меньше энергия образуемых вторичных электронов и, соответственно, больше выход, как это можно видеть из табл. 1, где приведены абсолютные выходы η и концентрации активатора, соответствующие началу концентрационного тушения.

Таблица 1

Вид возбудителя	Ультрафиолетовое излучение	α -лучи	γ -лучи	$\beta + \gamma$ -лучи
$C \cdot 10^5$, г/г	50	8	3	1
η , %	50	2	0,7	—

Так как механизм концентрационного тушения в светосоставах не установлен, то сделать отсюда какие-нибудь заключения затруднительно. Во всяком случае, можно сказать, что с уменьшением выхода, т. е. с увеличением участия тушащих процессов, концентрационное тушение начинается при меньших концентрациях активатора. До наступления спада кривой для α - и фотолюминесценции в исследованном нами диапазоне концентраций наблюдается постоянное выход.

Вид кривой при возбуждении $\beta + \gamma$ - и γ -лучами совпадает с наблюдаемым в растворах ⁽¹³⁾ в случае, когда активной является только энергия, поглощенная на атомах активатора. Если учесть зависимость поглощенной энергии от концентрации активатора, то выход и в случае возбуждения γ -лучами остается постоянным в сторону малых концентраций от максимума.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить благодарность акад. С. И. Вавилову, под руководством которого проводилась настоящая работа, и кандидату физических наук Г. В. Горшкову за консультацию и помощь при производстве радиометрических измерений и расчетов.

Поступило
21 II 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Т. В. Тимофеева, Изв. АН СССР, сер. физ., 13, № 1, 135 (1949).
² H. A. Klasens, Trans. Farad. Soc., 42, Part II, 666 (1946). ³ P. Wolf u. N. Riehl, Ann. Phys., Folge 5, 11, 103 (1931). ⁴ Т. В. Тимофеева, ДАН, 47, 575 (1945). ⁵ А. В. Москвин, Изв. АН СССР, сер. физ., 9, № 4—5, 453 (1945).
⁶ Г. Борн, Н. Риль и К. Циммер, ДАН, 59, № 7 (1948). ⁷ Техническая энциклопедия, Справочник, 2, стр. 25. ⁸ J. Broser u. H. Kallmann, Z. f. Naturf., 2a, 642 (1947). ⁹ А. В. Москвин, Катодолюминесценция, 1948. ¹⁰ Н. Риль, Люминесценция, 1946. ¹¹ F. Möglich u. R. Roptre, Z. techn. Phys., 21, 304 (1940). ¹² G. Fonda, Journ. Phys. Chem., 43, 575 (1939). ¹³ П. А. Черенков, Тр. Физ. ин-та, 1, в. 1, 41 (1936).