

З. Л. МОРГЕНШТЕРН

О ЗАПАСАНИИ СВЕТОВОЙ СУММЫ В ФОСФОРАХ,
ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ К ИНФРАКРАСНЫМ ЛУЧАМ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 28 V 1947)

Эллипсоном⁽¹⁾ и нами⁽²⁾ было показано, что в новых щелочно-земельных фосфорах, активированных двумя редкими элементами, отдача запасенной световой суммы (св. с.) зависит от способа ее реализации. Оказалось, что для $\text{CaS} \cdot \text{SrS} + \text{Ce, Sm}$ высвеченная инфракрасными (и. к.) лучами св. с. всегда в ~ 5 раз больше св. с. L_T , высвеченной термически.

В настоящей работе величины L_T измерялись при равномерной (с точностью до 5%) скорости нагревания*, начиная от комнатной до температуры полного высвечивания. Отсутствие вспышки в конце каждого такого опыта указывало на то, что фосфор действительно оказывался полностью высвеченным. Различия в скорости и равномерности нагрева влияют только на форму кривой термического высвечивания, но не на величину L_T (площадь под кривыми), что указывало, в пределах ошибок измерения ($\sim 10\%$), на отсутствие тушения.

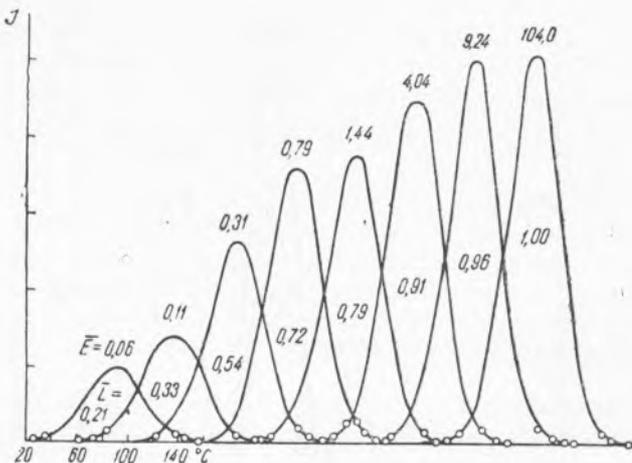


Рис. 1

Результаты изменений зависимости L_T от интенсивности E возбуждающего света (от ртутной лампы через ультрафиолетовый фильтр) при полном возбуждении, когда достигается равновесие между поглощением и излучением, представлены на рис. 1. Как следует из рисунка, L_T сначала быстро увеличивается (как \sqrt{E}) с возрастанием E , а затем медленно подходит к некоторому пределу $L_{T\infty}$.

Возникает естественный вопрос: что останавливает дальнейший рост L_T ? Предположение о том, что это обусловлено достижением

* Фосфор предварительно выдерживался в течение нескольких минут, чтобы дать заметно спасть начальному яркому послесвечению. За это время фосфор высвечивает лишь несколько процентов запасенной св. с.

полной ионизации всех центров свечения*, или каким-либо тушащим действием самого возбуждающего света, несостоятельно по той причине, что во время полного возбуждения яркость свечения I пропорциональна E .

В таком случае представляются следующие возможности**: 1 — предел световой суммы L_T обуславливается заполнением электронами всех (глубоких) локальных уровней. 2 — наличие такого предела вызвано тем, что возбуждающий свет не только возбуждает фосфор, но и одновременно, как „красный“, ускоряет высвечивание.

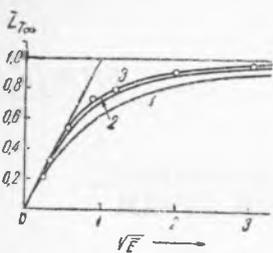


Рис. 2

Теоретические кривые (4) 1 и 2, выведенные в первом приближении и соответствующие этим двум возможностям, представлены в нормированных координатах на рис. 2. Там же представлены экспериментальные данные, нормированные, как и теоретические, так, чтобы предельное $L_{T\infty} = 1$, а при малых E , когда L_T пропорционально \sqrt{E} , коэффициент пропорциональности равнялся бы единице. Экспериментальные точки ложатся так, что в пределах ошибок опыта ($\sim 10\%$) они могут соответствовать только второму случаю (кривая 2), предполагающему наличие ускоряющего действия возбуждающего света.

Более строго наличие ускоряющего действия возбуждающего света было показано следующим образом. Измерялась св. с. L_T^λ при возбуждении отдельными линиями ртутного спектра. Так как при ослаблении E в 2 раза значения L_T^λ оставались неизменными, то (по опре-

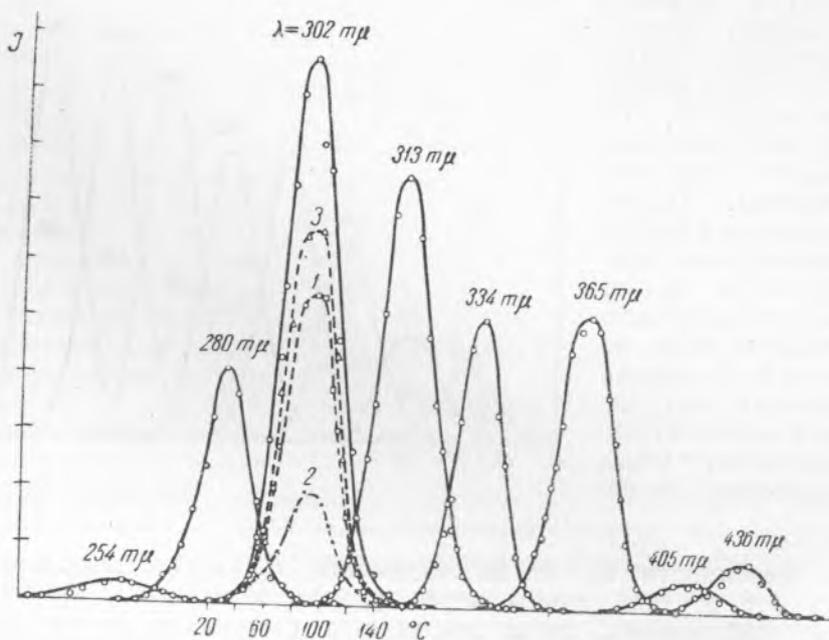


Рис. 3

делению) они являлись предельными $L_{T\infty}$. Кривые для определения $L_{T\infty}^\lambda$ при возбуждении различными λ представлены на рис. 3 сплошными кривыми. Из рисунка следует, что для каждого λ имеется свой

* Механизм свечения этих фосфоров является рекомбинационным (3).

** Более подробно об этом см. в статье Антонова-Романовского (4).

предел запасаения св. с., что само по себе может служить своеобразной спектральной характеристикой фосфора. Зависимость $L_{T\infty}^{\lambda}$ от λ указывает на несостоятельность предположения о том, что предел запасаения св. с. обусловлен заполнением электронами всех локальных уровней, так как их число, очевидно, не может зависеть от λ .

Если фосфор был полностью возбужден линией 302 $m\mu$, дающей наибольшую св. с. (рис. 3), а затем длительно облучался дополнительно 365 $m\mu$, то его св. с. оказывалась равной $L_{T\infty}$, соответствующей не 302 $m\mu$, а 365 $m\mu$ (см. пунктирную кривую 1). Такой же опыт с 435 $m\mu$ привел к аналогичным результатам* (см. пунктирную кривую 2). Отсюда следует, что каждая длина волны λ_1 не только возбуждает до своего предела $L_{T\infty}^{\lambda_1}$, но, в соответствии с наличием ускоряющего действия, снижает св. с. до $L_{T\infty}^{\lambda_2}$, если действует на фосфор, возбужденный λ_2 , у которого $L_{T\infty}^{\lambda_2} > L_{T\infty}^{\lambda_1}$ ** . Однако, если после возбуждения 302 $m\mu$ подействовать 254 $m\mu$, то результирующая св. с. снижается не до уровня 254 $m\mu$ ***, а до значительно более высокого (см. пунктирную кривую 3); это кажущееся противоречие объясняется тем, что 254 $m\mu$ поглощается в более тонком слое****, чем 302 $m\mu$, и вследствие этого действует только на верхний слой возбужденного фосфора, в результате чего св. с. снижается только частично.

Уменьшение св. с. вследствие естественного затухания не может объяснить снижения $L_{T\infty}^{\lambda}$, так как даже за 18 час. естественного затухания L_T^{302} снижается только на 19%, в то время как при облучении 365 $m\mu$ в течение 3,5 час. L_T^{302} снижается на 42% и при облучении 436 $m\mu$ в течение 2 час. на 80%.

Полученные результаты показывают, что предельная св. с. является функцией только длины волны возбуждающего света. На рис. 4 представлена эта зависимость — кривая $L_{T\infty}^{\lambda}$, а также зависимость яркости свечения во время возбуждения, рассчитанная на единицу падающей энергии***** — кривая I_{∞} . Ход кривых совершенно различен. Интересно отметить, что кривая предельных св. с. имеет ясно выраженную структуру.

Световую сумму можно определить еще по нарастанию свечения во время возбуждения. Эта св. с., которую обозначим через L_E , измеряется, как известно, площадью, заключенной между кривой нарастания свечения и прямой $I = I_{\infty}$, где I_{∞} — яркость свечения по достижении равновесного состояния, так что $L_E = \int_0^{\infty} (I_{\infty} - I_0) d\theta$, где I_0 —

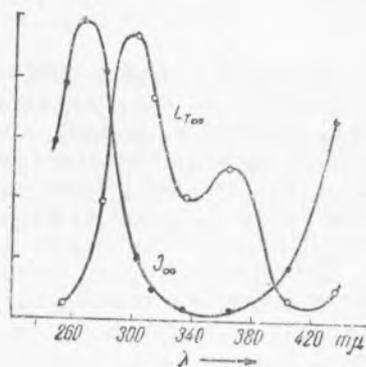


Рис. 4

* Снижение оказалось неполным вследствие недостаточного времени облучения.

** Трапезниковой (5) была обнаружена вспышка непосредственно под действием возбуждающего света на фосфорах SrS+Eu, Sm; качественно такое же явление наблюдалось на нашем фосфоре.

*** Вследствие сильного поглощения 254 $m\mu$ возбуждается только верхний слой, поэтому в случае равномерного возбуждения по всей толщине световая сумма была бы больше, чем представленная на рис. 3.

**** Качественные измерения показали, что сильный рост абсорбции этих же фосфоров начинается от $\sim 300 m\mu$. Фосфоры имели вид пластинок, толщиной 0,08 мм.

***** По нашим грубым измерениям, с возможной ошибкой в 2 раза, рассеяние от длины волны не зависит.

яркость свечения в момент времени θ после включения возбуждающего света. Значения L_r , L_T и L_E для различных длин волн возбуждающего света представлены в табл. 1.

Таблица 1

Световая сумма	В о з б у ж д а ю щ и й с в е т							
	254 м μ	280 м μ	302 м μ	313 м μ	334 м μ	365 м μ	415 м μ	436 м μ
Термическая L_T	2,0	15,5	37,5	29,5	16,0	20,0	2,6	3,8
Инфракрасная L_r	9,2	—	159,0	—	—	96,4	—	—
По нарастанию L_E	6,2	—	104,0	—	—	46,0	—	—
L_r/L_T	4,6	—	4,3	—	—	4,8	—	—
L_r/L_E	1,48	—	1,53	—	—	2,1	—	—

В соответствии с прежними данными⁽²⁾ оказалось, что попрежнему отношение L_r к L_T порядка 5. Отношение же L_r к L_E , против ожидания, оказалось равным не 1, а 1,5—2. Таким образом, хотя и существует пропорциональность между соответственными значениями L_r , L_T и L_E , но коэффициент пропорциональности зависит от способа измерения световой суммы. Здесь, быть может, играет роль различное соотношение оптических и термических электронов*.

Вторым фактором, влияющим на запасание св. с. для данного фосфора, является температура возбуждения. На кривой температурного высвечивания фосфора, возбужденного при температуре — 130° С, помимо быстро затухающей фосфоресценции и основного высокотемпературного максимума⁽²⁾, обнаруживается весьма интенсивный максимум при температуре около — 30° С. Таким образом, для запасания св. с. в случае возбуждения при низкой температуре, наличие мелких локальных уровней⁽⁶⁾ играет существенную роль. Интересно, что при этом запасание св. с. в высокотемпературном максимуме оказывается примерно на порядок меньшим.

Приношу глубокую благодарность В. В. Антонову-Романовскому за живой интерес к работе и ценные советы, а также Е. Е. Букке за помощь в работе.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева
Академии Наук СССР

Поступило
28 V 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. T. Ellickson, JOSA, **36**, 264 (1946). ² З. Л. Моргенштерн, ДАН, **54**, 791 (1946). ³ В. В. Антонов-Романовский, Изв. АН СССР, сер. физ., **9**, 369 (1945). ⁴ В. В. Антонов-Романовский, ДАН, **58**, № 5 (1947). ⁵ З. А. Трапезникова, ДАН, **58**, № 5 (1947). ⁶ В. Л. Левшин, ДАН, **58**, № 5 (1947).

* На это обстоятельство указал Антонов-Романовский⁽⁴⁾.