

П. А. ЧЕРЕНКОВ

**ВИДИМОЕ СВЕЧЕНИЕ ЧИСТЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ  
ЖЕСТКИХ  $\beta$ -ЛУЧЕЙ**

*(Представлено академиком С. И. Вавиловым 28 XII 1936)*

Известно <sup>(1)</sup>, что под действием  $\gamma$ -лучей в чистых жидкостях возникает видимое свечение, несомненно отличное от люминесценции в обычном смысле слова, обладающее резкой анизотропией, необычной поляризацией и рядом других особых свойств. Опыты с магнитным полем <sup>(2)</sup> подтвердили ранее высказанную гипотезу <sup>(3)</sup>, что истинными возбудителями этого свечения являются не первичные  $\gamma$ -кванты, а производимые ими в поглощающей среде быстрые комптоновские электроны. В связи с этим представляется интересным воспроизвести эффект свечения жидкостей, действуя на них непосредственно быстрыми электронами, ибо в некоторых случаях, например, когда желательны полное поглощение и меньшая расходимость возбуждающего пучка, применение электронов является предпочтительным. Полное поглощение электронов в сравнительно тонких слоях жидкости должно сильно повысить яркость свечения. Кроме того при использовании электронов имеется возможность экспериментировать с относительно монохроматическим первичным пучком.

В данной работе в качестве быстрых электронов были использованы  $\beta$ -лучи. Их источником являлся препарат радия в 20 мг, дополнительно к которому в отдельных опытах добавлялись ампулы с эманацией радия. Толщина стеклянных стенок ампул, а также стенок трубки, содержащей радий (тоже стекло), составляла примерно 80—100  $\mu$ . Сосуды для жидкости со стороны входа  $\beta$ -лучей имели слюдяные оконца толщиной в 20—25  $\mu$ . Для устранения свечения самого источника между ним и сосудом с жидкостью помещалась непрозрачная для видимого света алюминиевая фольга толщиной около 5  $\mu$ . Таким образом общая толщина упаковки  $\beta$ -источника, стенок сосуда и фольги достигала 0.035 г/см<sup>2</sup>, т. е. была достаточной, чтобы пропустить еще относительно медленные электроны, задерживая лишь самые медленные. Толщина слоя жидкости в направлении пучка  $\beta$ -лучей бралась равной 1 см. Этого было достаточно для практически полного поглощения всех  $\beta$ -частиц, попадающих в жидкость. Излишнее увеличение толщины слоя жидкости было бы не желательным, ибо оно повлекло бы возрастание свечения, возникающего под действием  $\gamma$ -лучей, которые также излучаются применяемым источником  $\beta$ -частиц. В сравнительно же тонких слоях жидкости фон, вызываемый  $\gamma$ -лучами, вследствие незначительного поглощения этих лучей, исчезающе мал.

Как и ожидалось, опыты показали, что во всех подвергавшихся исследованию жидкостях  $\beta$ -лучами действительно вызывается видимое свечение. Яркость этого свечения весьма заметно превосходит ту яркость, которая наблюдается при действии на жидкости  $\gamma$ -лучей. Очень грубая оценка позволяет заключить, что для одной и той же жидкости, независимо от характера поглощаемой энергии ( $\gamma$ - или  $\beta$ -лучи), по видимому, имеет место пропорциональность между наблюдаемой яркостью (в определенном направлении) и величиной поглощенной энергии.

Дальнейшими исследованиями относительно этого свечения установлено следующее:

а) Оно не тушится растворением в жидкостях активных тушителей флуоресценции (это было проверено опытами с растворением KI в воде).

б) Наблюдается резко выраженная асимметрия в распределении интенсивности свечения под разными углами к направлению первичного пучка  $\beta$ -лучей. В условиях опыта, когда пучок  $\beta$ -лучей имел расходимость  $20^\circ$ , основная часть светового потока, выходящего из жидкости, имела направление в сторону движения электронов и сосредоточена в конусе с раствором приблизительно  $90^\circ$ . Ось этого конуса совпадает с направлением движения  $\beta$ -частиц. Излучения в направлении, обратном движению электронов, не наблюдается.

в) Свечение поляризовано. Характер поляризации таков же, как и у свечения, возбуждаемого  $\gamma$ -лучами, т. е. преимущественное направление колебаний электрического вектора совпадает с направлением движения электронов. Эти опыты производились в условиях, когда пучок  $\beta$ -лучей падал под углом  $45^\circ$  на тонкую (20—25 микрон) слюдяную стенку сосуда, содержащего жидкость, а измерения поляризации свечения производились в направлении, составляющем  $60^\circ$  с осью первичного пучка. Наблюдение поляризации под углом  $90^\circ$  к этому пучку оказалось невозможным вследствие крайней слабости свечения в данном направлении. Тем не менее, как показывают ориентировочные наблюдения, степень поляризации даже при таких заведомо несовершенных условиях оказалась довольно значительной (около 50%).

На основании изложенного можно считать несомненным, что свечение чистых жидкостей, вызываемое  $\beta$ -лучами, тождественно с подобным же эффектом, наблюдающимся при действии на жидкость  $\gamma$ -излучения.

Ранее<sup>(1)</sup> нами уже отмечалась независимость (постоянство) яркости вызываемого  $\gamma$ -лучами свечения от физико-химических свойств жидкостей. Указанное постоянство яркости было впоследствии проверено на значительно большем числе жидкостей методом фотометрирования с полями сравнения\*. Отклонения измеряемой яркости свечения отдельных жидкостей от среднего для всех жидкостей по данным этих более точных опытов не превышают 10—12%, что почти не выходило за пределы ошибок наблюдений. Так как ослабление пучка  $\gamma$ -лучей в первом приближении может быть (при равных прочих условиях) принято пропорциональным плотности жидкости, то из только что изложенных результатов следует, что если возбуждать свечение быстрыми электронами и при условии их полного поглощения (что экспериментально легко осуществимо) яркость наблюдаемого свечения  $I$  должна удовлетворять соотношению:

$$\frac{1}{I} = kd, \quad (1)$$

\* Полное изложение этих опытов будет опубликовано в другом месте.

где  $d$  — плотность жидкости,  $k$  — коэффициент пропорциональности. Это означает пропорциональность между яркостью свечения жидкости и пробегом электрона в ней, потому что, как известно (4), сам пробег обратно пропорционален плотности.

Сделанные выводы подтвердились на опыте. Сосуды, применявшиеся в этих опытах, имели форму цилиндров с высотой в 1 см; слюдяные оконца приклеивались к основаниям цилиндра. Вплотную к одному из оконек помещался обернутый в алюминиевую фольгу источник  $\beta$ -частиц, который состоял из трубки в 20 мг радия и нескольких капилляров с радием. Общее количество последнего по  $\gamma$ -излучению было эквивалентно 64 мг радия. Фотометрировалось свечение через второе оконцо посредством фотометра с кубиком Луммера-Бродхуна. Ось цилиндрического сосуда, содержащего жидкость, при этих опытах занимала горизонтальное положение. На фон, создаваемый свечением слюдяного оконца со стороны входа электронов и свечением жидкости под действием  $\gamma$ -лучей, вводилась постоянная для всех жидкостей поправка. Эта небольшая поправка определялась экспериментально как половина яркости свечения пустого сосуда при облучении его  $\beta$ -частицами плюс полная яркость свечения какой-либо жидкости под действием  $\gamma$ -лучей от применяемого источника, заэкранированного 2 мм свинца.

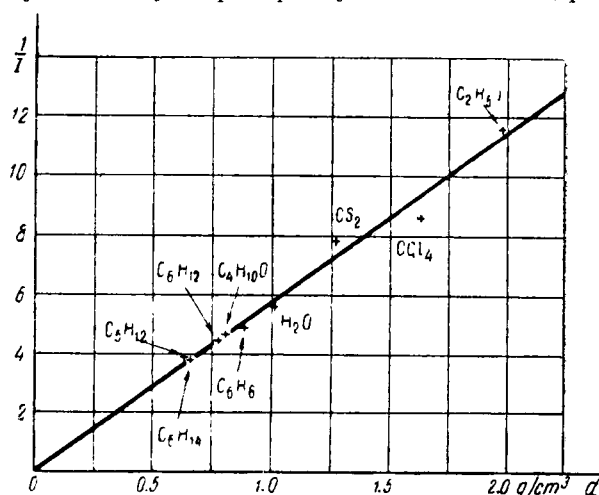
В таблице (см. след. стр.) приводятся цифровые результаты указанных опытов (5-й столбец). На фигуре, где по оси абсцисс отложены плотности, а по оси ординат  $\frac{1}{I}$ , эти результаты представлены графически. Все экспериментальные точки\* достаточно хорошо укладываются на общую прямую, что и служит подтверждением правильности соотношения (1).

В публикуемой ниже работе И. Е. Тамма и И. М. Франка, в которой излагается общая теория явления для излучения  $W$ , приходящегося на один электрон, дается выражение:

$$W = Al \left( 1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right) \int \frac{d\omega}{\lambda}, \quad (2)$$

где  $A$  — постоянный коэффициент,  $\omega$  — циклическая частота. Показатель преломления рассматривается приближенно независимым от длины волны. Как видно из этого выражения, яркость свечения жидкостей помимо пропорциональности пробегу  $l$  должна еще заметным образом зависеть от показателя преломления  $n$ . Однако в описанных опытах вследствие скачка яркости при выходе света из жидкости (5), такая

\* Ради четкости чертежа на график не нанесены точки для амилалкоголя и изопрпилалкоголя.



Жидкость	Химич. формула молекулы	Плотность ( $d$ )	Показатель преломления (для $\lambda = 4861,5 \text{ \AA}$ ) $n$	Измеренная яркость свечения ( $I$ )	$\frac{1}{n^2} \left( 1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right)$			
					$\beta = 1$	$\beta = 0,949$	$\beta = 0,9$	$\beta = 0,8$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нодистый этил . . . . .	$C_2H_5J$	1.967	1.5343	8.75	0.244	0.224	0.202	0.143
Четыреххлористый углерод . . . . .	$CCl_4$	1.61	1.4723	11.7	0.248	0.225	0.198	0.128
Сероуглерод . . . . .	$CS_2$	1.266	1.65439	12.9	0.232	0.218	0.201	0.157
Вода . . . . .	$H_2O$	1.00	1.3371	18.3	0.246	0.213	0.173	0.071
Бензол . . . . .	$C_6H_6$	0.879	1.51327	21.0	0.246	0.225	0.201	0.138
Амиловый алкоголь . . . . .	$C_5H_{12}O$	0.814	1.41452	20.6	0.250	0.222	0.192	0.110
Изобутиловый алкоголь . . . . .	$C_4H_{10}O$	0.805	1.4016	22.4	0.250	0.221	0.189	0.104
Изопропиловый алкоголь . . . . .	$C_3H_8O$	0.789	1.38210	21.5	0.250	0.220	0.185	0.095
Циклогексан . . . . .	$C_6H_{12}$	0.787	1.43668	23.0	0.250	0.224	0.194	0.118
Гексан . . . . .	$C_6H_{14}$	0.660	1.37988	25.3	0.249	0.219	0.185	0.094
Пентан . . . . .	$C_5H_{12}$	0.625	1.3610	25.3	0.248	0.217	0.182	0.085

зависимость не должна наблюдаться. Это вызывается тем, что произведение фактора  $\frac{1}{n^2}$ , изменения яркости вследствие скачка, на выражение  $\left( 1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right)$  при больших  $\beta$  практически не зависит от  $n$  (см. 6, 7 и 8-й столбцы таблицы). Если учитывать еще потери на отражение от соприкасающейся с жидкостью поверхности слюды, то в выражение (2) помимо  $\frac{1}{n^2}$  должен быть добавлен множитель  $\left[ 1 - \left( \frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2 \right]$ , где  $n_1$  — показатель преломления слюды. Этот множитель мало отличается от единицы, так что обусловленная им поправка даже в наиболее неблагоприятном случае не превышает 0,5% измеряемой величины.

Из таблицы видно (столбец 9-й), что при  $\beta = 0,8$  выражение  $\frac{1}{n^2} \left( 1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right)$  уже сильно зависит от  $n$ . Это показывает, что свечение в жидкостях вызывается электронами, у которых  $\beta > 0,8$ . В согласии с этим находятся и результаты других наших опытов\*, в которых исследовалось изменение яркости свечения жидкостей в зависимости от толщины свинцового экрана, помещаемого между жидкостью и источником  $\gamma$ -лучей (радий). В этих опытах найдено, что изменение яркости с толщиной фильтра соответствует изменению интенсивности жестких компонент (6)  $\gamma$ -излучения радия и продуктов его распада.

В заключение выражаю глубокую благодарность академику С. И. Вавилову и доктору И. М. Франку за внимание и интерес, проявленные к настоящей работе.

Физический Институт им. П. Н. Лебедева.  
Академия Наук СССР.  
Москва.

Поступило  
28 XII 1936

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> П. А. Черенков, ДАН, II, № 8, 451 (1934). <sup>2</sup> П. А. Черенков, ДАН, III № 9, 404 (1936). <sup>3</sup> С. И. Вавилов, ДАН, II, № 8, 457 (1934). <sup>4</sup> Handb. d. Phys. XXII/2, S. 37 (1933). <sup>5</sup> М. Планк, Введ. в теорет. физ., ч. V, § 10 (1935). <sup>6</sup> Handb. d. Exper. Phys., Bd. 15, S. 64 (1928).

\* Не опубликовано.