

П. П. ФЕОФИЛОВ

## К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ И ПОЛЯРИЗАЦИИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 19 X 1946)

С. И. Вавиловым было показано<sup>(1)</sup>, что характер мультипольности элементарных поглощающих и излучающих систем в случае сложных люминесцирующих молекул может быть установлен на основании изучения зависимости поглощения и излучения от направления. С. И. Вавилов рассчитал поляризационные диаграммы (зависимость поляризации люминесценции от направления наблюдения и положения возбуждающего электрического вектора) для четырех возможных комбинаций электрических диполей и квадрупольей и показал, что исследование поляризационных диаграмм позволяет дать однозначное заключение о мультипольности элементарных излучателей. В настоящей работе соображения С. И. Вавилова распространяются на случай магнитного диполя.

Излучение магнитного диполя характеризуется поперечным электромагнитным полем<sup>(2)</sup>

$$\vec{H}_m = -\frac{1}{c^2 r_0} \ddot{m}_\perp, \quad \vec{E}_m = -[\vec{r}_0 \times \dot{\vec{H}}_m],$$

появляющимся в классической теории излучения, наряду с квадрупольным излучением, как второе приближение при разложении потенциала движущегося электрического заряда.

Как показывает сравнение этих выражений с выражениями для электромагнитного поля излучения электрического диполя, пространственное распределение излучения не отличается от распределения излучения электрического диполя, если ось последнего заменена осью магнитного диполя  $\vec{m}$ . Плоскость поляризации излучения будет повернута на  $\pi/2$ . Вероятность возбуждения магнитного диполя зависит от взаимного направления оси диполя и магнитного вектора возбуждающего света так же, как вероятность возбуждения электрического диполя зависит от взаимной ориентации его и возбуждающего электрического вектора, и пропорциональна  $\vec{m} \cdot \vec{H}$ . Этих простых представлений об анизотропии магнитного диполя, нашедших себе подтверждение в ряде экспериментов<sup>(3)</sup>, достаточно для построения поляризационных диаграмм люминесцирующих систем, включающих магнитные диполи\*.

\* В связи с этим следует указать на необходимость пересмотра понятия о действующем—„световом“ векторе электромагнитного поля. Общепринятое представление об электрическом векторе как „световом“ основано на экспериментах, в которых система, подвергающаяся действию, представляла собой совокупность электрических диполей (опыты Друде и Нернста с флуоресценцией) или свободных электронов (опыты Винера с фотографическими слоями и Айвса с фотозффектом). Если бы в этих экспериментах мы имели дело с магнитными диполями, то „световым“ вектором оказался бы магнитный. Вопрос о действующем векторе световой волны не может рассматриваться вне связи с системой, подвергаемой действию света.

1. Магнитный диполь — магнитный диполь ( $\vec{m} \rightarrow \vec{m}$ ). Этот случай может быть рассчитан вполне аналогично рассмотренному С. И. Вавиловым случаю, когда и поглощающая и излучающая системы являются электрическими диполями. Так как возбуждающим вектором здесь является магнитный, то в формулах (12) и (13) (1) угол  $\eta$  должен быть заменен углом  $\frac{\pi}{2} - \eta$ . Таким образом, вертикальная и горизонтальная компоненты магнитного вектора в поле излучения будут равны:

$$\Sigma z'^2 = \frac{2\pi}{15} [\cos^2 \eta + 3 \sin^2 \eta] = \frac{2\pi}{15} [1 + 2 \sin^2 \eta],$$

$$\Sigma y'^2 = \frac{2\pi}{15} [\cos^2 \eta (1 + 2 \cos^2 \chi) + \sin^2 \eta].$$

Для перехода к общепринятому определению степени поляризации через электрический вектор знак получающегося выражения должен быть заменен на обратный. Тогда, при совпадении направления поглощающего и излучающего диполей, степень поляризации будет равна

$$P_{m \rightarrow m} = \frac{\cos^2 \chi \cos^2 \eta - \sin^2 \eta}{2 - \sin^2 \chi \cos^2 \eta}.$$

Если оси поглощающего и излучающего осцилляторов перпендикулярны друг другу, характер зависимости остается тем же самым — меняется лишь знак и предельное значение поляризации (при  $\chi = 0$  и  $\eta = 0$  предельная поляризация равна не  $1/2$ , а  $-1/3$ ). Поляризационные диаграммы „чисто магнитной“ люминесценции приведены во втором столбце рисунка. Сплошной линией вычерчены кривые для случая параллельного расположения осей диполей; пунктиром — для случая взаимно перпендикулярных осей.

2. Магнитный диполь — электрический диполь ( $\vec{m} \rightarrow \vec{e}$ ). Если поглощающей системой является магнитный, а излучающей — электрический диполь, то анизотропия распределения возбужденных осцилляторов будет, очевидно, такой же, как и в случае „чисто магнитной“ люминесценции. Если ось излучающего электрического диполя параллельна оси поглощающего магнитного, то распределение электрического вектора в поле излучения будет таким же, как распределение магнитного вектора в предыдущем случае, и выражение для степени поляризации света люминесценции будет отличаться только знаком

$$P_{m \rightarrow e} = \frac{\sin^2 \eta - \cos^2 \chi \cos^2 \eta}{2 - \sin^2 \chi \cos^2 \eta}.$$

Соответствующие поляризационные диаграммы приведены в третьем столбце на рисунке.

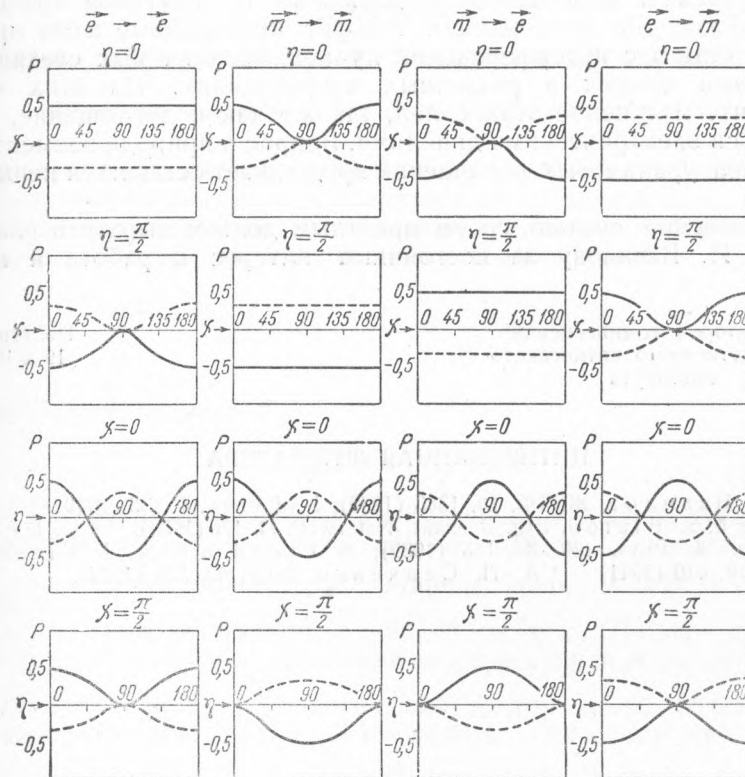
3. Электрический диполь — магнитный диполь ( $\vec{e} \rightarrow \vec{m}$ ). Аналогичные рассуждения позволяют утверждать, что в этом случае поляризационные диаграммы будут отличаться лишь знаком от рассчитанных С. И. Вавиловым поляризационных диаграмм для фотолюминесценции, связанной с поглощением и излучением электрических диполей. В самом деле, распределение возбужденных осцилляторов будет таково же, как и в случае, рассмотренном С. И. Вавиловым. Таким же будет, в случае совпадения направления осей, распределение излучающих магнитных осцилляторов. Для перехода к поляриза-

ции света, выраженной через электрический вектор, в полученном выражении следует изменить знак. Таким образом,

$$P_{e \rightarrow m} = \frac{\cos^2 \eta - \cos^2 \chi \sin^2 \eta}{2 - \sin^2 \chi \sin^2 \eta}.$$

Поляризационные диаграммы для этого случая изображены в последнем столбце на рисунке.

Сопоставление поляризационных диаграмм, изображенных на рисунке, в первом столбце которого приведены диаграммы, полученные С. И. Вавиловым для того случая, когда и поглощение и излучение



Поляризационные диаграммы дипольного излучения. Сплошные линии — осциллятор излучения параллелен осциллятору поглощения; пунктирные линии — осциллятор излучения перпендикулярен осциллятору поглощения;  $e$  — электрический диполь,  $m$  — магнитный диполь

описываются электрическими диполями, показывает, что если наблюдаемая степень поляризации близка к  $1/2$ , то характер мультипольности может быть установлен вполне однозначно. Если же наблюдаемая поляризация не превышает по абсолютной величине  $1/3$ , то однозначное заключение можно сделать только о поглощающей системе. Излучающий осциллятор может быть в этом случае как электрическим, так и магнитным диполем. Такая неопределенность имеет место в представляющем большой интерес случае люминесценции ураниловых соединений. Как известно, относительно большая длительность свечения этих соединений при экспоненциальном характере затухания, свидетельствующем о спонтанности процесса, дает основания предполагать, что в этом случае мы имеем дело с излучением магнитных диполей. Поляризационные диаграммы люминесценции уранового стекла имеют, однако, вид, характерный для

излучения электрических диполей (<sup>4</sup>). В то же время из рисунка видно, что случай параллельных электрических диполей не отличим от того случая, когда излучающий магнитный диполь перпендикулярен поглощающему электрическому диполю, если наблюдаемая поляризация не превышает  $\frac{1}{3}$ . Максимальное значение поляризации люминесценции уранилового стекла, наблюдавшееся А. Н. Севченко, составляет около 0,26. Таким образом, не исключена возможность, что излучателем в случае ураниловых соединений является магнитный диполь, образующий прямой угол с поглощающим электрическим диполем. Это означает, что в процессе перестройки молекулы после акта поглощения прямолинейное колебательное движение электрона преобразуется в колебательное движение по круговой траектории. Против указанной возможности говорят проделанные нами ориентировочные опыты с интерференцией пучков, испускаемых светящимися ураниловыми солями в различных направлениях. Из этих опытов следует, что излучение этих солей, так же как и поглощение, может описываться электрическими диполями. Вопрос о природе элементарных излучателей ураниловых соединений продолжает оставаться невыясненным.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить благодарность С. И. Вавилову за постоянный интерес к работе и ценные указания.

Лаборатория люминесценции  
Государственного оптического  
института

Поступило  
19 X 1946

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. И. Вавилов, ЖЭТФ, **10**, 1363 (1940); J. of Phys., **3**, 433 (1940). <sup>2</sup> A. Rubinowicz u. J. Blaton, Erg. d. exakt. Naturwiss. **11**, 176 (1932). <sup>3</sup> O. Deutschbein, Ann. d. Phys. (5), **35**, 183 (1939); S. Freed and S. J. Wiessmann, Phys. Rev. **60**, 410 (1941). <sup>4</sup> А. Н. Севченко, ДАН, **42**, 349 (1944).