

Г. ГОРЕЛИК

## О ВОЗМОЖНОСТИ МАЛОИНЕРЦИОННОГО ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ И ДЕМОДУЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА СВЕТА

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 24 IV 1947)

1. Привычное для оптиков требование когерентности, которому должны удовлетворять источники света при интерференционных опытах, связано, как хорошо известно, с двумя обстоятельствами:

1) Вследствие быстрых и независимых изменений фаз колебаний, излучаемых отдельными независимыми источниками (атомами), результирующая интенсивность, создаваемая в месте наблюдения совокупностью таких источников, быстро колеблется около среднего значения, равного сумме интенсивностей, создаваемых отдельными атомами.

2) Говоря словами Релея (1), „только с этой средней интенсивностью мы имеем дело в обычной фотометрии“ вследствие инерции глаза, фотоаппарата и т. п.

Слово „обычной“ позволяет думать, что уже Релей не считал принципиально невозможными такие методы фотометрирования — назовем их малоинерционными — которые позволили бы обнаружить быстрые колебания интенсивности около ее среднего значения и при которых, следовательно, отпадает ограничение, накладываемое на интерференционные опыты требованием когерентности.

Цель этой заметки — обратить внимание на то, что малоинерционное фотометрирование, несмотря на ряд практических трудностей, повидимому, может быть осуществлено теми средствами, которыми в настоящее время располагает радиофизика, и на некоторые, связанные с этим, новые возможности исследования света\*.

2. В случае спектральной линии, не обладающей тонкой структурой, колебания интенсивности, о которых шла речь выше, носят беспорядочный характер, причем, как подчеркивает Релей, существует — как бы ни было велико число атомов источника — „заметная вероятность значительных относительных флуктуаций интенсивности“. Говоря языком радио: происходит глубокая беспорядочная модуляция интенсивности\*\*. „Средняя частота“ этой естественной модуляции, т. е. величина, обратная среднему времени, отделяющему два ближайших статистически независимых значения интенсивности, равна ширине спектральной линии и может быть порядка  $10^8$ — $10^{10}$  герц. При освещении такой линией безинерционного фотоэлемента фототок будет пульсировать в такт с беспорядочной естественной модуляцией. (Это утверждение вряд ли может вызвать сомнение: фототок хорошо вос-

\* При малоинерционном фотометрировании отпадают исчерпывающе разъясненные Л. И. Мандельштамом (2), связанные с различными временными масштабами отличия между интерференционными опытами в оптике, с одной стороны, в акустике и радио — с другой.

\*\* А также, разумеется, модуляция фазы, которая нас будет интересовать дальше.

производит, как известно, модуляцию интенсивности света с частотой порядка  $10^8$  герц, осуществляемую, например, конденсатором Керра, и нет оснований ожидать, что фотоэлемент не будет следить за модуляцией, имеющей частоту на 1—2 порядка больше. Правда, при таких частотах модуляции света возникают трудности радиотехнического порядка в согласовании фотоэлемента с входом электрической усилительно-анализирующей системы, но эти трудности не носят принципиального характера). Таким образом, получится демодуляция света. Исследование статистики фототока путем осциллографирования или исследования его спектрального распределения с помощью электрического резонансного устройства (спектр фототока простирается от 0 до частот порядка  $\Delta\omega$ , где  $\Delta\omega$  — полуширина оптической линии) сможет дать ценные сведения о статистике источника света.

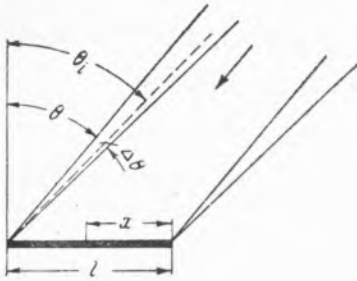


Рис. 1

(рис. 1);  $x$  — координата точки на ней;  $(\theta, \theta + \Delta\theta)$  — угол, в котором с нее виден источник света (бесконечно удаленный или находящийся в главном фокусе освещающей оптической системы);  $\theta_i$  — направление на  $i$ -й атом источника;  $\alpha_i$  — фаза колебания, создаваемого им в точке  $x=0$ ;  $\omega$  — частота колебаний;  $k$  — соответствующее ей волновое число. Пусть, кроме того, амплитуда колебания, создаваемого отдельным атомом в каждой точке светочувствительной поверхности, равна 1. Тогда поле в точке  $x$ :

$$E(x, t) = \sum_i \cos(\omega t - \alpha_i - kx \sin \theta_i);$$

$\alpha_i$  можно считать постоянным на протяжении промежутка времени, достаточного для срабатывания малоинерционного фотометрического устройства.

Требуется независимость амплитуды функции  $E(x, t)$  от  $x$ , т. е. независимость от  $x$  всех разностей фаз

$$(\alpha_i + kx \sin \theta_i) - (\alpha_j + kx \sin \theta_j), \quad \theta < (\theta_i, \theta_j) < \theta + \Delta\theta.$$

Взяв для  $x$  его наибольшее значение, мы получаем в качестве практического условия такой независимости

$$kl [\sin(\theta + \Delta\theta) - \sin \theta] \ll \pi,$$

или, если  $\Delta\theta$  мало,

$$l \Delta\theta \ll \frac{\lambda}{\cos \theta},$$

где  $\lambda$  — длина волны.

4. Тонкая или сверхтонкая структура линий соответствует, как известно, некоторой регулярной модуляции интенсивности и фазы, в отличие от той хаотической модуляции, о которой шла речь\*. Так, в

\* Эквивалентность расщепления линий и модуляции особенно подчеркивалась Л. И. Мандельштамом в связи с комбинационным рассеянием света (1). Ряд теорем, касающихся связи между различными типами модуляции и амплитудно-фазовыми соотношениями в соответствующем спектре, содержится в диссертации С. М. Рытова (2).

случае дублега  $\omega, \omega + \Omega$  происходит модуляция интенсивности с частотой  $\Omega$ . Конечная ширина  $\Delta\omega$  линий, образующих тонкую структуру ( $\Delta\omega \ll \Omega$ ), приводит к тому, что эти регулярные пульсации, в свою очередь, хаотически промодулированы с меньшей средней частотой  $\Delta\omega$ . Это легко показать. Пусть

$$E = \sum_{i=1}^{N_1} \cos(\omega t - \alpha_i) + \sum_{i=1}^{N_2} \cos[(\omega + \Omega)t - \alpha_i] = \\ = A(t) \cos[\omega t - \varphi(t)] + B(t) \cos[\omega t + \Omega t - \psi(t)],$$

где  $\alpha_i$ , а следовательно  $A, B, \varphi, \psi$  заметно изменяются за промежутки времени по крайней мере порядка  $2\pi/\Delta\omega$ . Тогда

$$E^2 = \frac{A^2(t)}{2} + \frac{B^2(t)}{2} + \underline{A(t)B(t) \cos[\Omega t - \psi(t) - \varphi(t)]} + \\ + \frac{A^2}{2} \cos 2(\omega t - \varphi) + \frac{B^2}{2} \cos 2(\omega t - \Omega t - \psi) + AB \cos(2\omega t - \varphi + \Omega t - \psi).$$

Фототок, в случае если выполнены условия, упомянутые выше, будет следовать за колебаниями интенсивности, т. е. за той частью  $E^2$ , которая записана в первой строке; в ней подчеркнутый член есть регулярное колебание частоты  $\Omega$ , хаотически модулированное со средней частотой  $\Delta\omega$ . Если, как это имеет место для многих свертонких структур,  $\Omega$  порядка радиочастот\*, это колебание в принципе можно осциллографировать, но проще его выделить с помощью резонансного радиоприемного устройства. (Здесь демодуляция света вполне аналогична образованию комбинационного тока или гетеродинированию; разумеется, все рассмотрение применимо не только к случаю тонкой структуры линии одного источника, но и близких по частоте линий от двух источников.)

5. Итак, наряду с анализом по Фурье (оптический спектральный анализ, радиоспектроскопия), принципиально возможен и, повидимому, не лежит за пределами практически осуществимого, другой метод анализа излучения атомов и молекул, который можно назвать демодуляционным. Необходимо подчеркнуть, что демодуляционный анализ света тем легче осуществить, чем меньше модуляционные частоты, т. е. расщепление и ширина линий, т. е. чем труднее применение обычных в оптике спектральных методов.

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

Поступило  
24 IV 1947

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Релей, Волновая теория света, М.—Л., 1940, стр. 12. <sup>2</sup> Л. И. Мандельштам, Изв. АН СССР, сер. физ., № 4, 525 (1938). <sup>3</sup> Л. И. Мандельштам, Усп. физ. наук, 13, 161 (1933). <sup>4</sup> С. М. Рытов, Тр. ФИАН, 2, 41 (1940). <sup>5</sup> P. Kush, S. Millman, I. Rabi, Phys. Rev., 57, 352 (1940); 57, 756 (1940); 58, 438 (1940).

\* Работы Раби и его сотрудников (5) показали экспериментально, что несущие частоты многих излучений атомов и молекул лежат в области радиочастот. Связь этого факта со свертонкой структурой оптических линий указывает на то, что в области радиочастот лежат модуляционные частоты многих излучений, несущие частоты которых расположены в обычном оптическом диапазоне.