

И. Я. БРУСИН, Г. С. ГОРЕЛИК и С. А. ПИКОВСКИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ, ВЕСЬМА МАЛЫХ ПО СРАВНЕНИЮ С ДЛИНОЙ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ, ПОСРЕДСТВОМ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МОДУЛИРОВАННОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЫ**

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 6 II 1952)

1. При исследовании механических колебаний, в которых амплитуда смещения порядка или меньше длины световой волны, используются оптические интерференционные методы. При этом образуется модулированная интерференционная картина; частота модуляции равна частоте исследуемого колебания. Модулированная интерференционная картина может быть двухлучевой (<sup>1-3</sup>) или многолучевой (<sup>4</sup>).

До сих пор применялись следующие два способа исследования периодических смещений с помощью модулированной интерференционной картины.

А. Наблюдается усредненная во времени модулированная интерференционная картина (<sup>1-4</sup>). Степень ее размытости — известная функция амплитуды смещения.

Б. Следят стробоскопически за движением интерференционных полос.

Но возможен и такой способ: производится (например, с помощью фотоэлемента и резонансного фильтра) гармонический анализ освещенности в определенном месте интерференционной картины. Этот способ позволяет в принципе обнаруживать при заданном интерференционном устройстве сколь угодно малые периодические смещения, лишь бы полоса пропускания гармонического анализатора была достаточно узкой. Это следует из общих соображений, высказанных одним из нас, относительно оптических модуляционно-интерференционных экспериментов (<sup>5</sup>).

Ниже описываются опыты, поставленные с целью продемонстрировать на простом примере возможности предлагаемого метода.

Легко усмотреть аналогию между нашими опытами и модуляционно-интерференционными радиофизическими опытами И. Л. Берштейна, в которых им были измерены флуктуации лампового генератора (<sup>6</sup>) и обнаружен эффект Саньяка на радиоволнах (<sup>7</sup>).

2. Принципиальная схема опыта показана на рис. 1. Линии равной толщины, получаемые в интерферометре Майкельсона, состоящем из двух зеркал  $P$  и  $Q$  и двух плоско-параллельных стеклянных пластин  $K_1$  и  $K_2$ , проектируются при помощи линзы  $L$  на диафрагму  $D$ . Лучи от небольшого участка увеличенного изображения интерференционной полосы, проходя через щель  $S$  диафрагмы, попадают на фотоумножитель  $F$ . Переменное напряжение с анодной нагрузки  $F$  подается на вход узкополосного фильтра  $\mathcal{E}\Phi$ , на выходе которого стоит измерительный прибор.

Источником света является ртутная лампа *СВД*, свет пропускается через светофильтр *СФ*, выделяющий линию 4358 Å.

Зеркало *P* приклеено к мембране, приводимой в колебания при помощи телефонного электромагнита. Переменное напряжение звуковой частоты амплитуды *V* подается на электромагнит от генератора *Г*.

3. Теория описываемых экспериментов сводится к следующему. Если пренебречь флуктуациями, ток на выходе фотоумножителя имеет вид

$$I = A + B \cos [2k(z_0 + z \cos \omega t)],$$

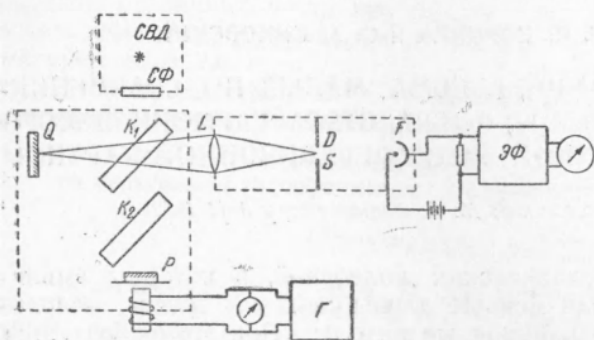


Рис. 1

где *A*, *B* определяются интенсивностями интерферирующих лучей,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  — длина волны света,  $2z_0$  — разность хода на щели *S'* при покоящемся зеркале, *z* — амплитуда смещения зеркала. Если *A*, *B*,  $z_0$ , *z* постоянны, *I* является периодической функцией времени *t*; ее разложение в ряд Фурье таково:

$$I = A + B \cos(2kz_0) J_0(2kz) - 2B \sin(2kz_0) J_1(2kz) \sin \omega t + \dots,$$

где  $J_0, J_1, \dots$  — бесселевы функции 0-го, 1-го, ... порядков. Амплитуда первой гармоники тока *I* равна

$$I_1 = 2B \sin(2kz_0) J_1(2kz).$$

При достаточно узкой полосе фильтра и достаточной стабильности всей установки показание  $\alpha$  выходного прибора пропорционально  $|I_1|$ , и мы можем написать

$$\alpha = b |J_1(2kz)|,$$

где *b* — аппаратурная константа, включающая в себя множитель  $|\sin 2kz_0|$ . Она максимальна тогда, когда он равен 1.

Первый максимум функции  $J_1(2kz)$  равен 0,58. Увеличивая постепенно *z* (путем повышения напряжения *V*), отсчитаем первый максимум  $\alpha = \alpha_m$  отклонения выходного прибора. Имеем

$$\alpha_m = b \cdot 0,58$$

и, следовательно, при любом *z*

$$\alpha = \frac{\alpha_m}{0,58} |J_1(2kz)|.$$

Отсчитав  $\alpha$ , мы можем по этой формуле найти *z*\*

\* Неоднозначность функции, обратной  $J_1(2kz)$ , не вызывает затруднений.

4. На рис. 2 показаны результаты нескольких серий измерений зависимости  $\alpha$  от  $V$ . По оси ординат отложена величина  $0,58\alpha/\alpha_m$ , по оси абсцисс — величина  $x = aV$ , где  $a$  — коэффициент пропорциональности, выбранный так, чтобы  $\alpha$  обращалась в нуль при  $x = x_1 = 3,83$  (первый отличный от нуля корень функции  $J_1(x)$ ). Опыт дал для нашей установки  $a = 4,79$ . Наряду с экспериментальными точками нанесен график функции  $|J_1(x)|$ .

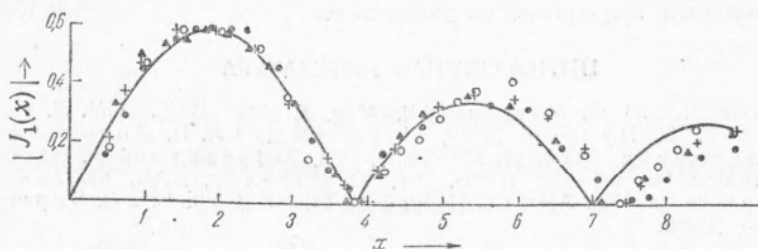


Рис. 2

В области  $x \leq x_1$  экспериментальные точки удовлетворительно ложатся на график  $J_1(x)$ . Отсюда можно заключить, что при

$$V \leq V_1 = \frac{x_1}{a} = 0,80 \text{ в}$$

зависимость между  $z$  и  $V$  не отличается заметно от линейной. При больших  $V$  экспериментальные точки уходят все больше вправо от графика  $J_1(x)$ . Это значит, что при  $V > V_1$  амплитуда  $z$  растет с  $V$  медленнее, чем линейно.

Из соотношения  $x = 2kz$ , принимая во внимание, что  $\lambda = 4358 \text{ \AA}$ , получаем для  $V < V_1$

$$\frac{z}{V} = \frac{a\lambda}{4\pi} = 1663 \text{ \AA/в.}$$

5. При  $V = 0$  показание выходного прибора беспорядочно меняется около  $\alpha = 0$ . Это вызвано различными несовершенствами как оптической, так и электрической части установки. В некоторых наших опытах (не наилучших) положение стрелки выходного прибора было стабильно с точностью около  $\pm 25 \cdot 10^{-4} \alpha_m$ . При этом установка позволяет обнаружить такие  $z$ , для которых

$$\frac{\alpha}{\alpha_m} = \frac{J_1(2kz)}{0,58} \geq 25 \cdot 10^{-4}.$$

Так как при малых  $z$  приближенно

$$J_1(2kz) = kz,$$

то предыдущее неравенство может быть записано так:

$$\frac{z}{\lambda} \geq \frac{0,58}{2\pi} \cdot 25 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-4}.$$

Так как у нас было  $\lambda = 4358 \text{ \AA}$ , то это означает, что при указанных условиях опыта установка позволяет обнаружить амплитуду смещения  $z \geq 1 \text{ \AA}$ .

Подчеркнем, что наши опыты производились на весьма несовершенной в оптическом и электрическом отношении двухлучевой установке. Указанный результат ни в какой степени не является пределом чувствительности метода.

Заметим, что Толанский и Бердсли (4) могли обнаруживать на многолучевой установке амплитуды смещения начиная с десятков Å.

Физико-технический институт  
при Горьковском государственном университете

Поступило  
6 II 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> H. Thomas and G. Warren, *Phil. Mag.*, **5**, 1125 (1928). <sup>2</sup> М. Л. Котляревский и Е. Я. Пумпер, *ЖТФ*, **11**, 843 (1942). <sup>3</sup> Л. Н. Бородовская и А. Е. Соломонович, *ЖТФ*, **21**, 221 (1951). <sup>4</sup> S. Tolansky and W. Bardsley, *Proc. Phys. Soc.*, **B**, **64**, 224 (1951). <sup>5</sup> Г. С. Горелик, *ДАН*, **83**, № 4 (1952). <sup>6</sup> И. Л. Берштейн, *Изв. АН СССР, сер. физ.*, **14**, 145 (1950). <sup>7</sup> И. Л. Берштейн, *ДАН*, **75**, 635 (1950).