1953 г. Апрель *Т. XLIX, вып. 4*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

К ОБЗОРУ „МОДУЛЯЦИОННАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ"

В выпуске 4 тома XLVII УФН помещён обзор Г. Розенберга под указанным названием *). В этом обзоре, в частности, идёт речь об опыте, поставленном Брусиным, Гореликом и Пиковским [1], в котором наблюдались колебательные смещения мембраны. Авторы указывают, что минимально обнаружимые смещения мембраны на их, весьма несовершенной, аппаратуре были равны примерно 1 Å.

Быть может, не лишено интереса привести в качестве дополнения к указанному обзору теоретическую оценку минимально обнаружимых механических смещений (общее: изменений длины хода светового пучка) при использовании двухлучевой интерференции и фотоумножителя с соответствующей радиоаппаратурой.

Пусть одно из интерферирующих колебаний будет $\sqrt{2A_1}\sin\omega t$, а второе — $\sqrt{2A_2}\sin\left[\omega t+\frac{\omega}{c}(L+l)\right]$. Здесь c — скорость света, L — разность хода обоих световых пучков, а l — её весьма малое (по сравнению с длиной волны) изменение. Пусть $l=l_0\sin\Omega t$ ($\Omega\ll\omega$).

Интенсивность результирующего колебания равна

$$A_1+A_2+2\sqrt{A_1A_2}\cos\left[\frac{\omega}{c}(L+l)\right]. \qquad 1)$$

Величину фототока получим, умножив интенсивность света на некоторый коэффициент α.

Подберём параметры установки так, чтобы

$$\frac{\omega L}{c}=2\pi\left(n+\frac{1}{4}\right),\quad |n|=0,\ 1,\ 2,\ldots$$

При этом среднее значение фототока будет

$$I_0=\alpha A_1+\alpha A_2=I_1+I_2, \qquad (2)$$

где I_1 и I_2 — фототоки, даваемые каждым световым пучком в отдельности.

Амплитуда переменной составляющей фототока при этом равна

$$(\Delta I)_{\text{макс}}=2\sqrt{I_1I_2}\cdot\frac{\omega}{c}l_0. \qquad (3)$$

---

*) В названном обзоре по недосмотру автора оказалась искажённой фамилия тов. И. Л. Берштейна, в чём редакция приносит извинения.

Интенсивность полезного эффекта, таким образом, пропорциональна величине

$$\overline{(\Delta I)^2} = \frac{(\Delta I)^2_{\text{макс}}}{2} = 2 I_1 I_2 \left(\frac{\omega l_0}{c}\right)^2. \qquad (4)$$

Рассмотрим, как изменится эффект в результате немонохроматичности света. Положим для простоты, что спектральная плотность постоянна в полосе частот $\Delta\omega$, при средней частоте ω_0, а вне пределов этой полосы — равна нулю. Элементарные выкладки показывают, что при этом интенсивность результирующего колебания будет вместо (1) определяться выражением

$$A_1 + A_2 + 2\sqrt{A_1 A_2}\,\frac{\sin\dfrac{\Delta\omega(L+l)}{2c}}{\dfrac{\Delta\omega(L+l)}{2c}}\cos\left[\frac{\omega_0}{c}(L+l)\right], \qquad (5)$$

A_1 и A_2 — попрежнему интенсивности каждого из интерферирующих пучков света.

При соблюдении равенства $\frac{\omega_0 L}{c} = 2\pi\left(n + \frac{1}{4}\right)$ и в предположении, что чувствительность фотокатода (т. е. величина α) постоянна в пределах $\Delta\omega$, получим для среднего значения фототока прежнее выражение (2), а для амплитуды переменной составляющей фототока, вместо (3),

$$(\Delta I)_{\text{макс}} = 2\sqrt{I_1 I_2}\,\frac{\sin\dfrac{\Delta\omega L}{2c}}{\dfrac{\Delta\omega L}{2c}}\cdot\frac{\omega_0}{c}\,l_0. \qquad (6)$$

Если обеспечить $\frac{\Delta\omega L}{2c} \ll \pi$ (условие «интерференции в белом свете»), то (6) практически совпадёт с (3).

Минимальная величина l_0, доступная наблюдению, определяется уровнем флуктуаций в схеме. Этот уровень в усилительных схемах с фотоумножителем на входе, может быть рассчитан (см., например, обзор [2]) по формуле

$$\overline{I^2_{\text{ш}}} = 2(1+B)\,eI_0\,\Delta f. \qquad (7)$$

Здесь $I_{\text{ш}}$ — флуктуация тока фотокатода, e — заряд электрона, I_0 — среднее значение тока фотокатода, Δf — полоса пропускания усилителя, B — величина, которая может быть принята равной 1,5. Темновым током мы пренебрегли.

Приравнивая полезный эффект, определяемый выражением (4), интенсивности флуктуаций (7), найдём минимально обнаружимую величину l_0. Проделав это, подставив значение заряда электрона, а также введя длину волны $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega_0}$, получим:

$$l_{0\,\text{мин}} = 10^{-10}\sqrt{\frac{I_0\Delta f}{I_1 I_2}}\cdot\lambda. \qquad (8)$$

Положив для простоты $I_1 = I_2 = \frac{1}{2} I_0$, будем иметь:

$$l_{0\,\text{мин}} = 2\cdot 10^{-10}\sqrt{\frac{\Delta f}{I_0}}\cdot\lambda. \qquad (9)$$

Минимально обнаружимое изменение разности хода интерферирующих пучков зависит от их интенсивности. При помощи обычной оптической аппаратуры и современных фотокатодов не представляет затруднений получить величину I_0 порядка 10^{-8} *а* (и даже больше).

Если на выходе радиоаппаратуры применить однозвенную апериодическую цепь (в качестве таковой может служить выходной стрелочный прибор) с постоянной времени 1 сек., то этому будет соответствовать эффективная полоса частот $\Delta f = 0{,}25$ *гц*.

Подставив для примера в (9) $I_0 = 10^{-8}$ *а*, $\Delta f = 0{,}25$ *гц* и $\lambda = 5000$ Å, получим:

$$l_{0\,\text{мин}} = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{Å}.$$

При обычной постановке интерференционных опытов, смещение зеркала на некоторую величину вызывает изменение хода пучка света на удвоенную величину. Поэтому минимально обнаружимое смещение зеркала будет вдвое меньше величины, определённой выше.

И. Л. Берштейн

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. И. Я. Брусин, Г. С. Горелик, С. А. Пиковский, ДАН **83**, 4, 553 (1952).
2. Н. О. Чечик, УФН **37**, вып. 1, 74 (1949).