

ТРЕХЩЕЛЕВОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

В ряде случаев возникает потребность в определении фазового сдвига, величина которого отличается от данной лишь на малую долю длины световой волны. Как известно, двухлучевые интерферометры позволяют измерять фазовый сдвиг с точностью, не превышающей примерно $\frac{1}{20}$

длины волны. Несравненно меньшие величины — до $\frac{1}{1000}$ длины волны — возможно измерять с помощью многолучевых устройств, например типа интерферометра Фабри-Перо. Однако такое увеличение точности измерения достигается в этих устройствах, по существу, путём последовательного многократного накопления фазового сдвига так, что сдвиг фазы между крайними лучами, эффективно участвующими в образовании интерференционной картины, достигает весьма значительной величины. Поэтому применение многолучевой техники возможно лишь в тех случаях, когда измеряемый фазовый сдвиг поддаётся умножению, что имеет

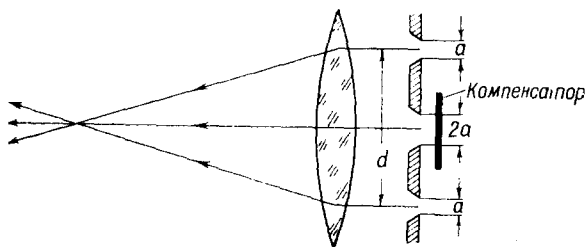


Рис. 1.

место далеко не во всех случаях, представляющих практический интерес. С этой точки зрения описываемый ниже трехщелевой интерферометр¹, обеспечивающий измерение фазового сдвига с точностью порядка $\frac{1}{200}$ длины волны без необходимости его накопления, представляет существенный вклад в интерференционную технику. Идея метода состоит в следующем.

Интерференционная картина, создаваемая тремя равноотстоящими щелями (рис. 1), может рассматриваться как результат наложения интерференционной картины от двух крайних щелей на когерентное световое поле, создаваемое средней щелью и ослабляющее или усиливающее эту картину в зависимости от соотношения фаз. В случае, если излучение, выходящее из всех трёх щелей, синфазно и если ширина средней щели равна суммарной ширине крайних (одинаковых) щелей, то все нечётные максимумы будут погашены, а чётные усилены (рис. 2, а), т. е. получится интерференционная картина с вдвое большим периодом, чем в случае двух щелей. Однако если луч, проходящий через среднюю щель, имеет (относительно лучей, проходящих через крайние щели) сдвиг фазы $\pm \frac{\pi}{2}$ (например, на его пути введён компенсатор — см. рис. 1), то как чётные, так и нечётные максимумы будут усилены в равной мере (см. рис. 2, б). Если же сдвиг фазы среднего луча (относительно крайних)

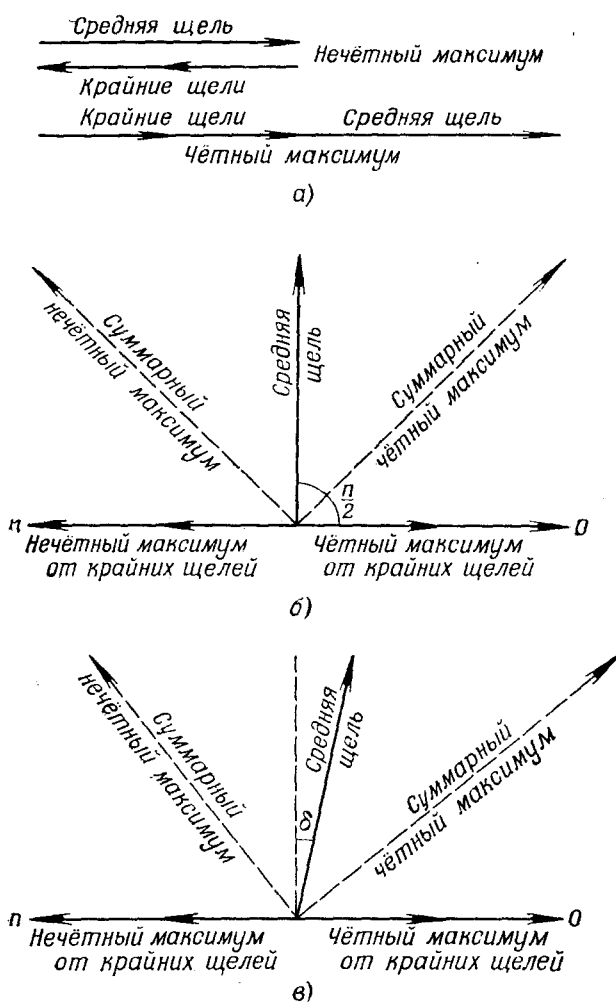


Рис. 2. Векторная схема, иллюстрирующая образование интерференционной картины от трёх щелей: а — синфазное излучение от трёх щелей, б — фаза излучения средней щели сдвинута на $\frac{\pi}{2}$, в — фаза излучения средней щели сдвинута на $\frac{\pi}{2} - \delta$.

равен $\frac{\pi}{2} + \delta$, где $\delta \ll 1$, то интенсивности чётных и нечётных максимумов изменятся в разные стороны, — увеличение интенсивности чётных максимумов будет сопровождаться уменьшением интенсивности нечётных или наоборот, в зависимости от знака δ (рис. 2, в). При этом интенсивности максимумов в случае малых δ определяются выражением

$$I_{\pm} = 2E_0^2(1 \pm \delta), \quad (1)$$

где E_0 — амплитуда волны, приходящей от одной из крайних щелей. Следовательно, относительное различие интенсивности соседних максимумов

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{I_+ - I_-}{2E_0^2} = 2\delta. \quad (2)$$

Глаз в состоянии без труда отметить относительное изменение интенсивности максимумов $\sim 5\%$, что соответствует $\delta \cong 0,025$ радиана, т. е.

около $\frac{1}{200} - \frac{1}{300}$ длины волны.

Далее автор предлагает следующую процедуру измерения фазового сдвига. Оптические пути лучей, идущих от всех трёх щелей, одинаковы только в том случае, если они сходятся в фокусе линзы. Для лучей, сходящихся в точке, расположенной на оптической оси, но отстоящей от фокуса на расстоянии r , оптический путь луча, идущего от средней щели, будет отличаться от оптического пути лучей, идущих от крайних щелей, на величину, равную в первом приближении

$$\Delta l = \frac{1}{2} d^2 \left(\frac{1}{F} - \frac{1}{F+r} \right), \quad (3)$$

где d — расстояние между крайними щелями и F — фокусное расстояние линзы. Поэтому если излучение от всех трёх щелей синфазно, должны наблюдаться два положения окуляра (чётко определяемые на опыте),

соответствующих $\Delta l = \pm \frac{\lambda}{4}$, при которых интенсивности соседних полос одинаковы. Напротив, в фокальной плоскости нечётные максимумы будут погашены. Расстояние между указанными двумя положениями довольно велико. Так, для $\lambda \approx 5 \cdot 10^{-5}$ см (зелёный свет), $F = 45$ см и $d = 0,15$ см оно составляет около 5 см. Если луч, идущий от средней щели, смещён по фазе, то соответственно сдвинутся и положения окуляра, соответствующие равенству интенсивностей соседних максимумов. Измеряя с помощью шкалы эти смещения окуляра, нетрудно определить сдвиг фазы, причём точность установки окуляра соответствует, как сказано выше, примерно $\frac{1}{200} - \frac{1}{300}$ длины волны.

Тот же принцип был использован³ далее для модификации интерферометра Майкельсона, обеспечивающей повышение точности измерений

с последним до той же величины порядка $\frac{1}{200} - \frac{1}{300}$ длины волны. Модификация состоит во введении дополнительной полупрозрачной пластинки и дополнительного зеркала таким образом, чтобы создать ход лучей, аналогичный рассмотренному случаю трёхщелевого интерферометра. Авторы указывают, что практически это может быть достигнуто заменой одного из зеркал интерферометра Майкельсона (эталонного зеркала) зеркалом, покрытым тонким прозрачным клином из диэлектрика, на поверхность которого нанесён полупрозрачный слой серебра. Последний

выполняет в этом случае одновременно и роль дополнительного зеркала и роль дополнительного разделителя лучей. Не подлежит сомнению, что дальнейшая разработка этого принципа применительно к различным типам двухлучевых интерферометров позволит существенно расширить возможности интерференционной техники.

В. Юрьев

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. F. Zernike, J. Opt. Soc. Am. **40**, № 5, 376 (1950).
2. M. Bottema and F. Zernike, J. Opt. Soc. Am. **41**, № 11, 870 (1951).