

Лабораторная работа № 4.2.4 "Интерферометр Майкельсона"

Шевцов Кирилл

3 февраля 2026 г.

1 Явление интерференции света

Рассмотрим две волны (монохроматические), имеющие одну частоту и амплитуды a_1 и a_2 . Пусть в некоторой точке они имеют фазы φ_1 и φ_2 . В силу принципа суперпозиции результирующее колебание в некоторой точке будет равно сумме колебаний, которое задает каждая волна по отдельности. Если направление волны интерпретировать как вектор, длина которого равна амплитуде этой волны, то амплитуду результирующего колебания можно найти с помощью теоремы косинусов:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\Delta\varphi) \quad (1)$$

Где введены обозначения: $I_1 = a_1^2$, $I_2 = a_2^2$, $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$. Для двух одинаковых волн формула приобретает вид:

$$I = 2I_0 (1 + \cos(\Delta\varphi)) \quad (2)$$

Из формул видно, что если косинус угла $\Delta\varphi$ положительный, то результирующая интенсивность больше суммы интенсивностей слагаемых волн, если отрицательный - то меньше. В первом случае говорят, что слагаемые волны друг друга усиливают, во втором - ослабляют. Это явление и называется явлением интерференции. В интерферометре волна от одного источника проходит путь до экрана по двум разным путям z_1 , z_2 , тогда изменение фазы:

$$\Delta\varphi = \frac{\omega}{c} (n_2 z_2 - n_1 z_1) = \frac{\omega}{c} \Delta \quad (3)$$

Величина Δ называется оптической разностью хода. Функция косинуса принимает максимальное значение при условии:

$$\Delta \frac{\omega}{c} = 2\pi m \Rightarrow \Delta = cTm = \lambda m, \quad \lambda = cT = \frac{2\pi c}{\omega} \quad (4)$$

и минимальное при условии:

$$\Delta \frac{\omega}{c} = \pi (2m + 1) \Rightarrow \Delta = \frac{\lambda}{2} (2m + 1), \quad \lambda = cT = \frac{2\pi c}{\omega} \quad (5)$$

Отсюда получаем *условие интерференционного максимума*: максимум интерференционной картины наблюдается в том случае, если оптическая разность хода равна целому числу волн. И *условие интерференционного минимума*: минимум интерференционной картины наблюдается, если оптическая разность хода равна полу-целому числу длин волн (нечетному числу длин полуволн).

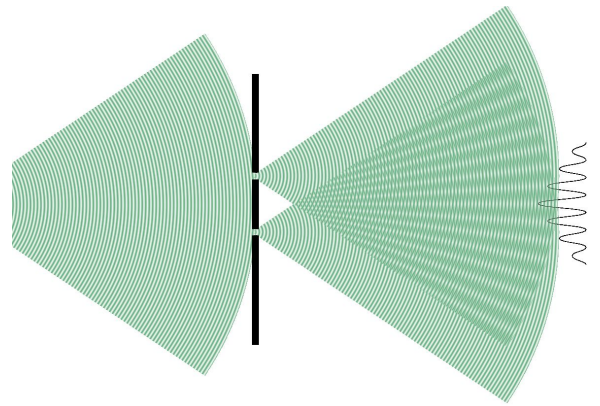


Рис. 1: Интерференция света

2 Интерферометр Майкельсона

Интерферометр Майкельсона - это устройство, состоящее из системы двух линз и двух зеркал: волна, излучаемая источником, разделяется на два отдельных пучка с помощью полупрозрачного зеркала, и с помощью системы двух зеркал, расположенных на пути преломленного и отраженного луча, а затем собранные с помощью полупрозрачного зеркала пучки попадают на экран - детектор, который помогает регистрировать картину интерференции. Линзами, стоящими на пути хода пучков, можно сделать картину интерференции более четкой. Если положить $n_1 = n_2 = 1$, то: $r_2 - r_1 = \text{const}$ (следует из условий минимума и максимума

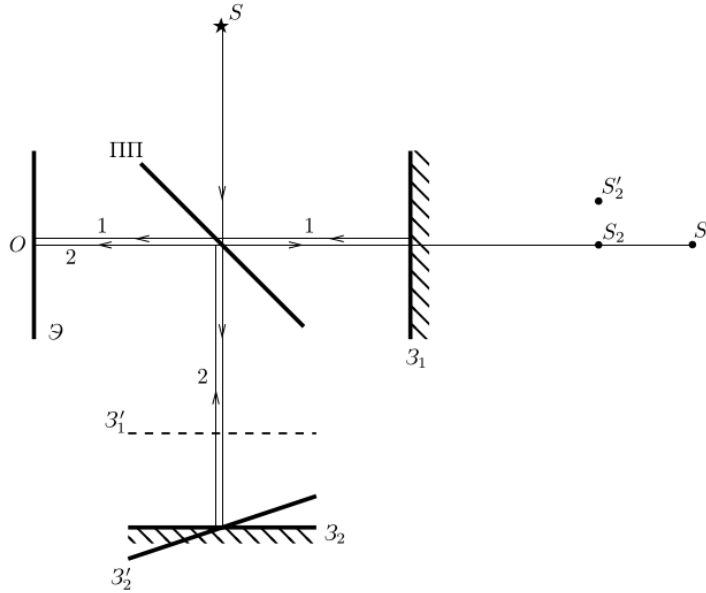
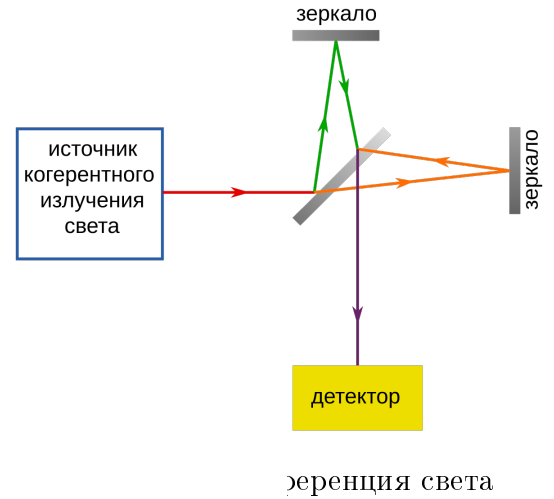


Рис. 3: Интерферометр Майкельсона

интерференции). В таком случае, если a - это расстояние между изображениями источника, L - расстояние между изображением S_1 и экраном, то:

$$\Delta(r) = r_2 - r_1 = \sqrt{L^2 + r_n^2} + \sqrt{(L - a)^2 + r_n^2} \approx a - \frac{ar_n^2}{2L(L - a)} = \text{const} \quad (6)$$

В центре кольца: $r = 0$, $C = \lambda m_0 = a$ - нулевой порядок интерференции. Тогда:

$$a - C = \frac{ar_n^2}{2L(L - a)} = \lambda n \Rightarrow r_n^2 = \frac{2nL(L - a)}{m_0} \quad (7)$$

Эта формула имеет применение в этой работе для измерения длины волны гелий - неоновый лазер. При небольшом смещении второго зеркала относительно падающего пучка на малый угол δ на экране будут видны вертикальные полосы. Причем соседние полосы являются равноотстоящими.

3 Экспериментальная установка

Лабораторная установка состоит из интерферометра Майкельсона, две линзы Л1 и Л2 помогают усилить интерференционную картину. Луч света от источника преломляется через треугольную призму П, проходит через стеклянный куб, разделяясь на два пучка, которые с помощью плеч интерференционной схемы могут при правильном совмещении попасть на экран, образуя картинку интерференции.

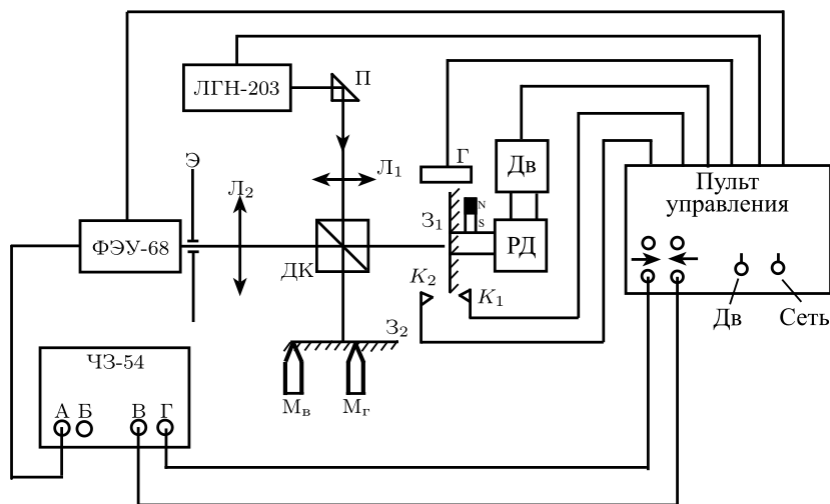


Рис. 4: Экспериментальная установка

Установка имеет подвижное зеркало $З_1$, соединенное с шаговым механизмом. При изменении положения зеркала $З_1$ интерференционная картина сменяется минимумом или максимумом. Частотомер ЧЗ-54 может работать в режиме счетчика, который будет фиксировать смену максимума и минимума картинки интерференции. Для расчетов учтем, что полное перемещение подвижного зеркала составляет $l = 32$ мм. Зеркало $З_2$ не может перемещаться, но может быть наклонено под некоторым углом по отношению к лучу. Для регистрации изменения интенсивности света используется фотоэлектронный умножитель, расположенный за экраном, световой пучок попадает на ФЭУ через небольшое отверстие в экране.