

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

535.41

ДЕМОНСТРАЦИЯ ПОЛОС МНОГОЛУЧЕВОЙ
ИНТЕРФЕРЕНЦИИ НИЗКИХ ПОРЯДКОВ

Описываемая ниже интерференционная схема позволяет получить картину многолучевой интерференции при своеобразных условиях опыта.

Сходящийся пучок света от осветителя O (рис. 1а), проходя поляризатор P и, если необходимо, светофильтр Φ , падает на прибор Π , имеющий тонкую плоско-параллельную воздушную прослойку и представляющий собой совокупность сложенных вместе и скрепленных при помощи упругого крепления двух стеклянных призм 1 и 2 . Толщина d воздушной прослойки между гранями AC и $A'C'$ этих призм задается специальными тонкими прокладками.

Для получения картины в отраженном свете можно применить совокупность двух одинаковых оборотных призм, располагая приборы по схеме рис. 1б.

Ход световых лучей в приборе виден на рис. 1а и 1б.

Пройдя через грань AB призмы 1 , световые лучи падают на грань AC под сравнительно большими углами. Те лучи, для которых углы падения i близки к i_0 ($i_0 = \arcsin \frac{1}{n}$),

преломляются в прослойку под углами r , близкими к 90° . В этой области значений угла r коэффициент отражения ρ от граней прослойки близок к единице, и следовательно, эти грани без специальной обработки их поверхности обладают свойствами зеркала, подходящего для многолучевой интерференции.

В результате многократных отражений от поверхностей прослойки каждый луч, входящий в нее под достаточно большим углом, образует на выходе из призмы 2 соответствующий пучок параллельных лучей. Объектив L фокусирует эти пучки в своей фокальной плоскости, где и наблюдается интерференционная картина. В проходящем свете разность хода Δ между соседними лучами интерферирующего пучка может быть выражена по формуле

$$\Delta = 2d \cos r + \frac{\lambda}{2\pi} (\gamma_1 + \gamma_2). \quad (1)$$

Здесь γ_1 и γ_2 — скачки фаз, возникающие при отражении от границ воздух — стекло. В случае больших r $\gamma_1 = \gamma_2 = \pi$. Поэтому

$$\Delta = 2d \cos r + \lambda. \quad (1a)$$

В интересующей нас области достаточно больших значений угла r $\cos r$ мал, поэтому можно получить систему интерференционных полос низких порядков при толщине прослойки $d \gg \lambda$.

Условие возникновения максимумов интенсивности можно записать в виде

$$2d \cos r_k = k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots). \quad (2)$$

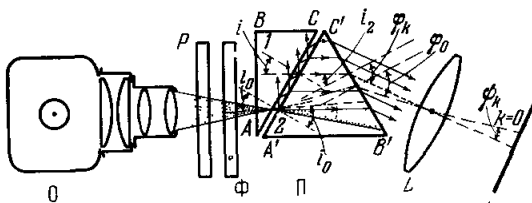


Рис. 1а.

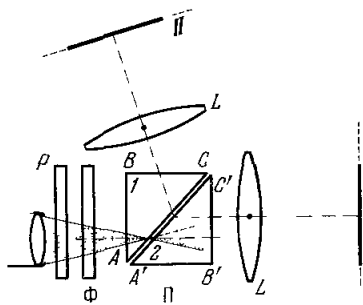


Рис. 1б.

Максимум нулевого порядка ($k = 0$), который соответствовал бы границе области полного внутреннего отражения ($i = i_0$; $r = 90^\circ$; $\varphi = \varphi_0$), в картине отсутствует, поскольку интенсивность светового потока, преломленного в прослойку, стремится к нулю при $r \rightarrow 90^\circ$.

Расчет углового смещения ψ_k максимумов низких порядков k относительно «границы» полного внутреннего отражения, а также углового расстояния $\Delta\psi_k$ между соседними максимумами k -го и $(k + 1)$ -го порядков, приводит к формулам

$$\psi_k = \frac{1}{2} \frac{\cos i_2}{\cos \varphi \cdot \cos i_0} k^2 \left(\frac{\lambda}{2d} \right)^2, \quad (3)$$

$$\Delta\psi_k = \frac{1}{2} \frac{\cos i_2}{\cos \varphi \cdot \cos i_0} (2k + 1) \left(\frac{\lambda}{2d} \right)^2. \quad (3a)$$

Своеобразие интерференционной картины, возникающей в рассматриваемом расположении, проявляется в том, что характер интерференционных полос претерпевает существенное изменение при возрастании k . Полосы низких порядков оказываются очень узкими и резкими. По мере увеличения порядка k наблюдается существенное расширение и размывание полос, обусловленное быстрым уменьшением коэффициента отражения ρ , при уменьшении углов i и соответственно r .

Особенно отчетливо влияние величины ρ на характер распределения освещенности в интерференционной картине можно обнаружить, используя поляризованный свет. В этом случае наблюдается весьма существенное изменение контрастности картины, особенно средней ее части, при переходе от p -колебаний к s -колебаниям.

Использование в нашей установке низких значений k обуславливает большую величину ее спектральной области дисперсии $\Delta\lambda = \frac{\lambda}{k}$. Поэтому оказывается возможным наблюдать картину не только в монохроматическом, но и в белом свете.

В заключение отметим еще одну особенность описываемого опыта. Поскольку в рассматриваемом случае толщина прослойки d входит в выражение разности хода Δ с малым множителем $\cos r$, влияние отклонений прослойки от плоскопараллельности оказывается существенно ослабленным. Это позволяет получить устойчивую интерференционную картину удовлетворительного качества, используя простое упругое крепление прибора и не прибегая к специальным методам его юстировки.

ДЕМОНСТРАЦИЯ ОПЫТОВ

Основной частью демонстрационной установки является прибор, состоящий из двух призм: вспомогательной призмы 1 ($\angle A = 31^\circ$, $\angle B = 90^\circ$, $AC = 4,8$ см) и призмы 2 ($A'C' = C'B'$, $\angle C = 62^\circ$). Перед скреплением этих призм на грань $A'C'$ призмы 2 вблизи противоположных ее краев накладывались две полоски тонкой алюминевой фольги толщиной 6 мк. Важно, чтобы эти прокладки располагались ровно, без изгибов, и их поверхности не имели шероховатостей. После этого на призму 2 соответствующим образом накладывалась призма 1. Призмы 1 и 2 плотно прижимались одна к другой и затем скреплялись при помощи двух резиновых колец подходящей упругости, охватывавших прибор вблизи противоположных его оснований. Прибор П устанавливался на подъемном столике, и необходимое его положение и ориентация относительно светового пучка достигались соответствующим поворотом столика. При выполнении опытов в монохроматическом свете использовался осветитель ОИ-18 с лампой СВД-120, а также светофильтры для выделения отдельных линий ртутного спектра. Источником белого света служил осветитель от оптической скамьи с конденсором, объективом и кинопроекционной лампой мощностью 300 вт. Объектив L , применявшийся в наших опытах, имел фокусное расстояние $F = 140$ см.

Из формул (3) и (3a) следует, что величины угловых смещений ψ_k и $\Delta\psi_k$ пропорциональны $1/d^2$. Поэтому для увеличения ψ_k и $\Delta\psi_k$ необходимо уменьшать d . С этой целью в опытах использовался также и другой прибор П₁, изготовленный из двух призм более крупного размера. Последний подобен прибору П, но не имеет специальных разделительных прокладок между призмами. Воздушная прослойка в нем создавалась за счет разделяющих призмы пылинок и имела толщину порядка 1 мк.

Расположение рис. 1а использовалось при выполнении опытов в проходящем свете. Расположение рис. 1б позволяет получить картину как в проходящем, так и в отраженном свете (при соответственной меньшей величине угловой области дисперсии).

При демонстрации опытов большой аудитории целесообразно, не прибегая к помощи линз, показать интерференционную картину на удаленном экране. В одном из таких опытов установка была расположена на расстоянии $l = 5$ м от экрана размером $2,7 \times 1,9$ м², а интерференционная картина покрывала полностью или частично

этот экран по ширине, захватывая часть стены аудитории по высоте. Фотографии нескольких картин такого рода приведены на рис. 2, а, б, в, г.

Картинки рис. 2, а, б получены при освещении установки линейчатым спектром ртутной лампы ОИ-18 (без светофильтра). В качестве поляризатора использовался поляроид. На фотографиях хорошо видны те резкие изменения в распределении освещенности, которые по отмеченной выше причине возникают при переходе от s -колебаний (рис. 2, а) к p -колебаниям (рис. 2, б).

Картинки рис. 2, в, г получены при работе с прослойкой меньшей толщины ($d \approx 1-2 \text{ мк}$). Первая из них наблюдалась при освещении установки светом зеленой линии ртутного спектра ($\lambda = 5460,7 \text{ Å}$), а вторая — в свете лампы накаливания, но с красным светофильтром. Ориентация плоскости поляризации в обоих опытах была

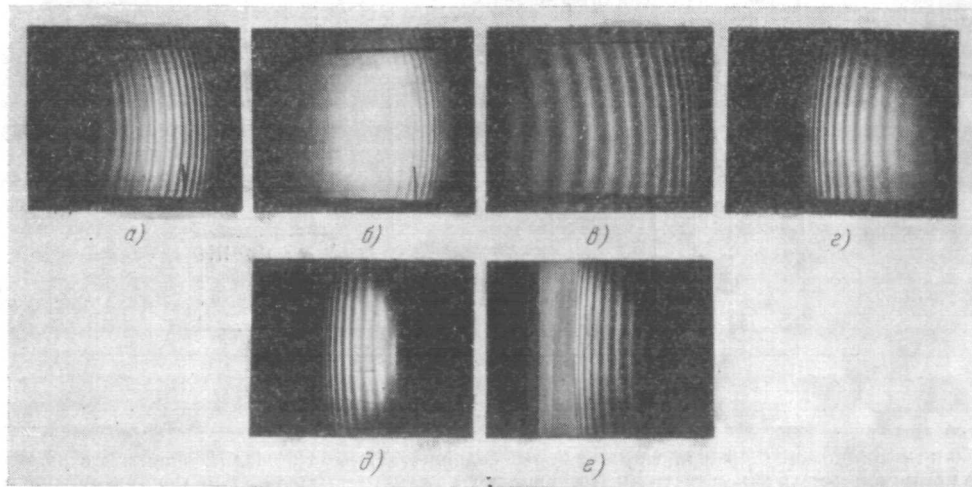


Рис. 2.

одинаковой (s -колебания). В белом свете картина представляет собой систему цветных полос — спектров низких порядков, цвета которых в случае s -колебаний оказываются весьма насыщенными.

Фотографии рис. 2, д, е также получены при работе с тонкой прослойкой. В этом случае приборы располагались по схеме рис. 1а, и картины наблюдались в фокальной плоскости объектива L как в проходящих лучах (в плоскости I, рис. 2, д), так и в отраженных лучах (в плоскости II, рис. 2, е). Картинки сфотографированы с малого экрана ($0,8 \times 0,8 \text{ м}^2$) при освещении установки немонахроматическим красным светом, поляризованным в соответствующей плоскости (s -колебания — рис. 2, д, p -колебания — рис. 2, е).

В нижней части фотографий рис. 2, а, б, в, г видны следы картин на краю демонстрационного стола.

Я. Е. Амтиславский