

Интерферометры, их назначение и принцип действия

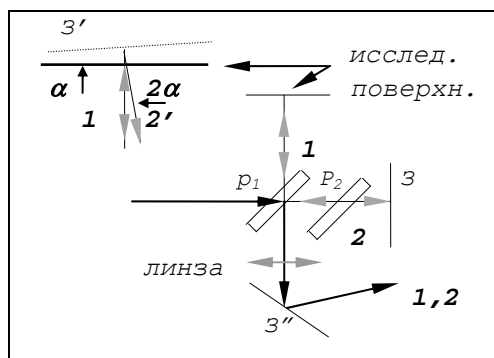
ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	2
1. Интерферометр Линника.....	2
2. Интерферометр Рэлея.....	3
3. Звездный интерферометр Майкельсона.....	5
Литература.....	6

Введение

Сложение в пространстве волн, при котором образуется постоянное во времени распределение амплитуд результирующих колебаний, называется интерференцией. Применения явления интерференции света очень обширны и важны. Для осуществления этого существуют специальные приборы – интерферометры, действие которых основано на явлении интерференции. Назначение их может быть различным: точное измерение длин световых волн, измерение показателя преломления газов и других веществ. Имеются также интерферометры специального назначения, например, для определения качества обработки поверхности, просветления оптики и т.д.

1. Интерферометр Линника



Основу интерферометра составляют две стеклянные пластины p_1 и p_2 и два зеркала, одним из которых служит исследуемая поверхность.

Нижняя поверхность первой пластины представляет собой *полупрозрачное* зеркало,

на котором происходит разделение лучей: часть света (луч 1) отражается вверх, отражается от исследуемой поверхности и после отражения от нижнего зеркала $3''$ направляется в окуляр (на рисунке не показан), через который и наблюдается интерференционная картина.

После прохождения пластины p_1 луч 2 направляется к зеркалу 3 , отражается от него, затем от полупрозрачного зеркала и вместе с лучом 1 направляется к наблюдателю.

Луч 1 после отражения от полупрозрачного зеркала и на обратном пути дважды проходит через пластину p_1 , “набирая” тем самым некоторую “лишнюю” разность хода. Для ее компенсации служит пластина p_2 , изготовленная

из того же материала, что и первая. Разумеется, эту “лишнюю разность хода” можно было бы легко скомпенсировать простым перемещением зеркала, если бы не было дисперсии, зависимости коэффициента преломления от длины волны $n(\lambda)$. Применение компенсирующей пластины p_1 позволяет осуществить такую компенсацию сразу для всех длин волн.

Почему образуется интерференционная картина и как она выглядит помогает понять укрупненный фрагмент рисунка слева вверху. Реальный луч 2 и его отражение от зеркала 3 можно заменить лучом $2'$ и его “отражением” от изображения зеркала 3 в полупрозрачном зеркале - $3'$. Это изображение и исследуемая поверхность образуют клин, пластину изменяющейся толщины. Соответственно, через окуляр наблюдаются интерференционные линии равной толщины - прямые, направленные перпендикулярно плоскости рисунка. И эти линии видны искривленными, если исследуемая поверхность не вполне плоская. При “идеально” плоской поверхности это прямые линии.

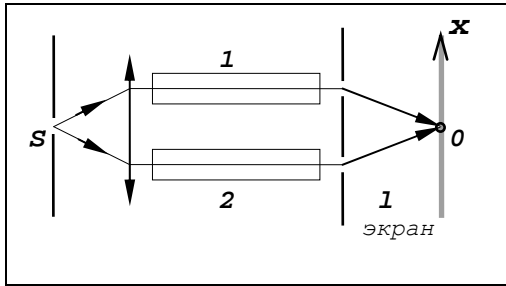
Ту же мысль можно сформулировать и иначе. При отражении от идеально плоских поверхностей волны остаются плоскими, и фронты волн 1 и 2 составляют между собой угол 2α , если угол между исследуемой поверхностью и изображением зеркала $3'$ равен α . Если исследуемая поверхность обработана некачественно, волна 1 уже не будет плоской, интерференционная картина исказится.

Чрезвычайно простой в эксплуатации, такой интерферометр позволяет обнаружить весьма небольшие неровности на исследуемой поверхности - порядка долей длины волны.

2. Интерферометр Рэлея

Показатель преломления воздуха, как и других газов, при условиях, близких к “нормальным”, мало отличается от единицы. Должно быть понятным, что для измерения такой величины показателя преломления необходим

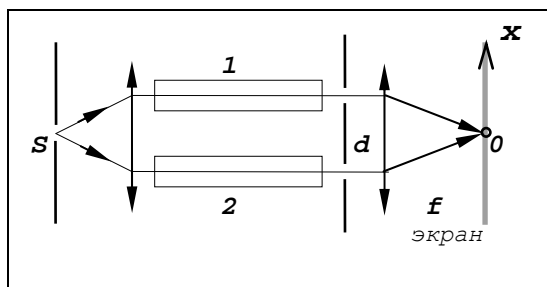
достаточно точный метод. Такого рода измерения могут быть произведены с помощью интерферометра Рэлея.



По существу схема получения интерференционной картины в этом случае сильно отличается от классического опыта Юнга. Источником света служит освещаемая достаточно удаленным источником щель S, от которой распространяется цилиндрическая волна. С помощью линзы волна преобразуется в плоскую волну: лучи 1 и 2 становятся параллельными. Они проходят через кюветы, длины которых l могут быть достаточно велики.

Если показатели преломления газов в кюветах одинаковы, интерференционная полоса (максимум) с нулевой разностью хода помещается в центре экрана при $x=0$. Заметим - выше ее (на рисунке) расположатся линии (максимумы), для которых оптическая длина пути нижнего луча больше.

Если верхняя кювета заполняется газом с несколько большим показателем преломления, оптическая длина пути луча 1 на протяжении кюветы станет больше и линия с нулевой разностью хода (“центральная”) сместится



вверх.

Изображенная на предыдущем рисунке схема интерферометра Рэлея заимствована из задачника Иродова.

При такой схеме ширина интерференционной полосы определяется выражением

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\theta}; \quad \theta = \frac{d}{l}.$$

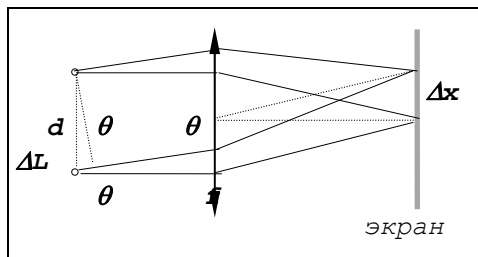
Реальный интерферометр Рэлея устроен несколько иначе: за диафрагмой устанавливается линза, в фокальной плоскости которой и наблюдается интерференционные полосы (с помощью окуляра с достаточным увеличением).

Но тогда угловое расстояние между источниками становится нулевым, интерферировать должны параллельные лучи. Причина образования интерференционной картины становится не очень понятной, непонятно, чем определяется ширина полосы.

Но все это не так загадочно, как может показаться. Два точечных источника представляют собой частный случай периодического расположения источников, рассмотренный нами раньше. Заметив, что мы ограничимся лишь малыми значениями углов θ , повторим для пары источников проведенные ранее рассуждения.

При $\theta=0$, естественно, будет наблюдаться максимум. Следующий максимум будет при значении θ , которое определяется условием

$$\Delta L = d \cdot \theta = \lambda ; \quad \theta = \frac{\lambda}{d}$$



и ширина полосы на экране

$$\Delta x = f \theta .$$

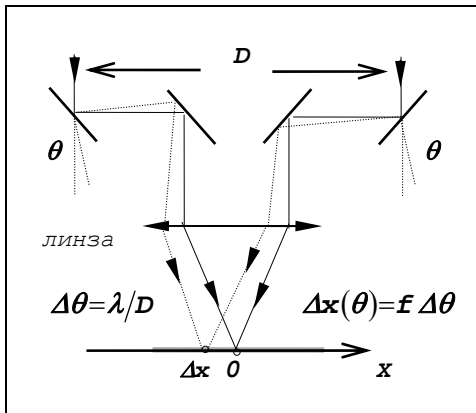
Эти уточнения и расчеты помогут нам понять принцип работы другого интерферометра, о котором речь пойдет ниже. Но обратите внимание на то, что ширина максимума на экране определяется их угловой шириной, которую надо умножить на фокусное расстояние линзы.

3. Звездный интерферометр Майкельсона

Если угловое расстояние между двумя звездами очень мало, в телескоп они видны как одна звезда. В таком случае говорят о двойных звездах и надо провести специальное наблюдение, чтобы отличить их от звезд одиночных. Для этого используется звездный интерферометр Майкельсона, который позволяет к тому же определить угловое расстояние между звездами.

Устройство звездного интерферометра Майкельсона показано на рисунке. Лучи света, пришедшего от удаленной звезды, отражается от зеркал, разнесенных на достаточно большое расстояние D , затем от двух других зер-

кал и собираются линзой на экране, помещенном в фокальной плоскости. Разнесенные на расстояние D зеркала можно рассматривать как точечные источники, расстояние между которыми и равно D .



Воспользуемся полученным ранее выражением для углового распределения максимумов излучения света

$$D \sin(\theta) \approx D\theta = k\lambda;$$

Иначе говоря,

$$D \Delta\theta = \lambda; \quad \Delta\theta = \frac{\lambda}{D}.$$

На экране будут наблюдаться максимумы на расстояниях $\Delta x(\theta) = f \Delta\theta = f \lambda / D$ друг от друга.

Если наблюдаются две близкие звезды, лучи света от которых приходят под малым углом φ , то на экране будут наблюдаться две интерференционные картины, сдвинутые по отношению друг к другу на расстояние $\Delta x(\varphi) = f \varphi$. Измерение углового расстояния φ между звездами производится следующим образом.

При изменении величины D изменяется $\Delta x(\Delta\theta)$. Несложно догадаться, что при $\Delta x(\theta)/2 = \Delta x(\varphi)$ видимость интерференционной картины ухудшится или она вообще не будет наблюдаться. Это позволяет определить угловое расстояние между звездами: $\frac{1}{2} f \frac{\lambda}{D} = f \varphi; \quad \varphi = \frac{\lambda}{2D}$. При изменении расстояния между зеркалами изменяется величина $\Delta\theta$. Таким способом можно определить весьма малые угловые расстояния φ .

Литература

1. Резников Л. И. Физическая оптика. – М.: Просвещение, 1971.
2. Элиот Л., Уилкоккс У. Физика. – М.: Наука, 1975.
2. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. М, 1978.