

Лабораторная работа 4.4.4.  
ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО

Хайдари Фарид, Б01-901

12 апреля 2021 г.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Теоретические сведения</b>	<b>3</b>
1.1	Измерение длин волн $\lambda$ и расстояний $d\lambda$ между спектральными линиями . . . . .	5
1.2	Дисперсия интерферометра . . . . .	7
1.3	Дисперсионная область . . . . .	7
1.4	Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо	7
<b>2</b>	<b>Экспериментальная установка</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Ход работы</b>	<b>7</b>

**Цель работы:** Изучение интерферометра Фабри-Перо и определение его характеристик, как спектрального прибора.

**В работе используются:** Интерферометры Фабри-Перо, линзы, светофильтр, ртутная лампа ПРК-2, высокочастотная натриевая лампа, катетометры КМ-6.

## 1 Теоретические сведения

Интерферометр Фабри-Перо как спектральный прибор высокой разрешающей силы находит широкое применение в лабораторной практике. Он предназначен главным образом для исследования тонкой структуры спектральных линий, а также является неотъемлемым элементом любого лазера, где выполняет роль оптического резонатора.

Интерферометр Фабри-Перо состоит из двух стеклянных (или кварцевых) пластин  $P_1$  и  $P_2$  (рис. 1.1), внутренние плоские поверхности которых хорошо отполированы (с точностью до  $10^{-2}\lambda$ ) и установлены параллельно друг другу. На эти поверхности наносятся хорошо отражающие покрытия. Наряду с металлическими покрытиями ( $Ag$ ,  $Al$ ), для которых коэффициент отражения  $r \simeq 0.9$ , в настоящее время широко применяются диэлектрические многослойные интерференционные покрытия, для которых  $r \simeq 0.99$  и даже выше. Наружные поверхности пластин обычно составляют небольшой угол с внутренними, чтобы световой блик, отражённый от наружных поверхностей, не мешал наблюдениям.

Интерферометр Фабри-Перо можно рассматривать как плоскопараллельную воздушную пластину, на которой происходят многократные отражения и интерференция световых лучей. Интерференционная картина, наблюдаемая в фокальной плоскости линзы  $L$ , состоит из концентрических колец равного наклона. Для двух соседних лучей,

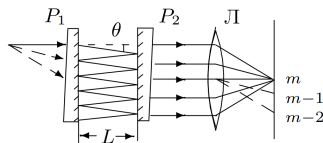


Рис. 1.1: Интерферометр Фабри-Перо

распространяющихся между зеркалами интерферометра под углом  $\theta$ , разность хода определяется соотношением

$$\Delta = 2L \cos \theta, \quad (1)$$

где  $L$  — расстояние между зеркалами интерферометра. Равенство (1) — частный случай известной формулы для плоскопараллельной пластины с показателем преломления  $n$ :  $\Delta = 2Ln \cos \psi$ ;  $\psi$  — угол преломления луча в пластине.

Пусть  $r$  и  $t$  — коэффициенты отражения и пропускания зеркал интерферометра (по интенсивности). Если амплитуду падающей волны обозначить через  $A_0$ , то амплитуда первого луча, прошедшего через интерферометр, равна  $A_0 t$ , второго  $A_0 t r$ , третьего  $A_0 t r^2$  и т. д. В комплексном представлении амплитуды этих лучей составляют бесконечную геометрическую прогрессию

$$A_0 t, A_0 t r e^{ik\Delta}, A_0 t r^2 e^{i2k\Delta}, A_0 t r^3 e^{i3k\Delta}, \dots, \quad (2)$$

где  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  — волновое число для света. Знаменатель прогрессии равен  $r e^{ik\Delta}$ . В фокальной плоскости линзы происходит сложение всех лучей. Результирующая амплитуда равна

$$A = \frac{A_0 t}{1 - r e^{ik\Delta}}. \quad (3)$$

Найдём интенсивность  $I$  прошедшего света:

$$I = AA^* = \frac{I_0 t^2}{1 + r^2 - 2r \cos k\Delta}, \quad (4)$$

где  $I_0 = A_0^2$  — интенсивность падающей волны. На рис. 1.2 представлена зависимость отношения  $\frac{I}{I_0}$  от порядка интерференции  $\frac{\Delta}{\lambda}$  для разных значений коэффициента отражения. Как видно из (4), максимумы этого распределения достигаются при целых значениях  $\frac{\Delta}{\lambda}$ . При этом  $I_{max} = I_0$ , т. е. интерферометр в этом случае является идеально прозрачной системой. Разумеется, этот результат справедлив только в отсутствие поглощения света в зеркалах. При достаточно больших значениях коэффициента отражения ( $r \gtrsim 0.9$ ) интерференционная картина состоит из узких светлых колец, разделённых широкими тёмными промежутками. Это является следствием интерференции большого

числа лучей (многолучевая интерференция). При  $r \lesssim 0.1$  наблюдается плавное чередование слабо выраженных максимумов и минимумов, характерное для интерференции двух лучей, сильно различающихся по амплитуде.

### 1.1 Измерение длин волн $\lambda$ и расстояний $d\lambda$ между спектральными линиями

Исследуем диаметры интерференционных колец, предполагая для простоты, что углы  $\theta$  достаточно малы. Рассмотрим два интер-

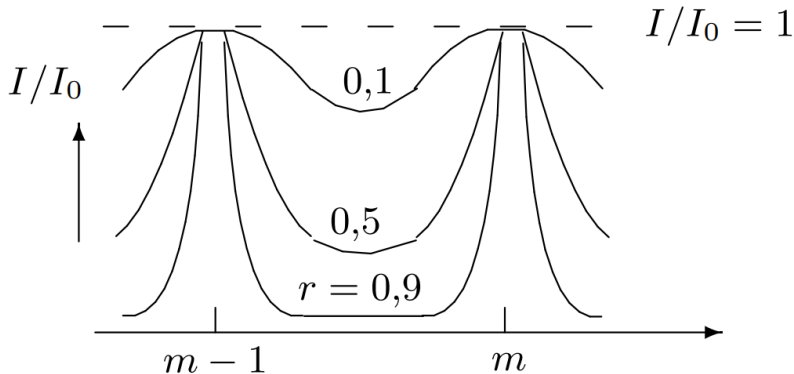


Рис. 1.2: Распределение интенсивности в проходящем свете в зависимости от порядка интерференции  $\frac{\Delta}{\lambda}$

ференционных кольца, для которых порядки интерференции  $\frac{\Delta}{\lambda}$  равны  $m_i$  и  $m_j$ . Из формул (1) и (4) следует, что светлое кольцо порядка  $m$  образуется при

$$\Delta = 2L \cos \theta = m\lambda \quad (m - \text{целое}). \quad (5)$$

Отметим, что порядок интерференции возрастает при переходе к кольцам меньшего диаметра, т. е. при уменьшении угла  $\theta$ .

При малых  $\theta$  имеем

$$2L \left( 1 - \frac{\theta_i^2}{2} \right) = m_i \lambda; \quad 2L \left( 1 - \frac{\theta_j^2}{2} \right) = m_j \lambda. \quad (6)$$

Вычитая второе уравнение из первого и принимая во внимание, что при переходе к соседнему кольцу порядок интерференции меняется на единицу, получим

$$L (\theta_j^2 - \theta_i^2) = (m_i - m_j) \lambda = (j - i) \lambda.$$

В приведённой формуле номера колец  $i$  и  $j$  отсчитываются от центра.

Диаметр  $D$  кольца в фокальной плоскости линзы  $L$  связан с её фокусным расстоянием  $f$  соотношением

$$D = 2f\theta. \quad (7)$$

Следовательно,

$$\lambda = \frac{L}{4f^2} \frac{D_j^2 - D_i^2}{j - i}. \quad (8)$$

Эта формула используется при измерении длины волны света с помощью интерферометра Фабри–Перо или для определения постоянной интерферометра  $L$  по известному значению  $\lambda$ .

Пусть теперь в интерферометре Фабри–Перо наблюдается система колец для двух близких спектральных линий  $\lambda$  и  $\lambda + d\lambda$ . Дифференцируя (5), при малых  $\theta$  найдём

$$-2L\theta d\theta = m d\lambda,$$

откуда следует:

$$d\lambda = -\frac{2L\theta}{m} d\theta \simeq -\lambda \theta d\theta = -\frac{\lambda \bar{D}}{4f^2} dD, \quad (9)$$

где  $\bar{D}$  – средний диаметр колец, а  $dD$  – разность диаметров колец, образующихся для спектральных линий с длинами волн  $\lambda$ , и  $\lambda + d\lambda$  при одинаковом порядке интерференции. С помощью формулы (9) можно определять  $d\lambda$ , не зная постоянной интерферометра  $L$ . Выбирая прибор для исследования спектра, обычно сравнивают три характеристики: *дисперсию, дисперсионную область и разрешающую способность*.

## 1.2 Дисперсия интерферометра

Отношение расстояния  $dl$  между спектральными линиями в плоскости спектра к разности длин волн  $d\lambda$  этих линий называют линейной дисперсией  $D^*$  спектрального прибора ( $D^* = \frac{dl}{d\lambda}$ ) и выражают обычно в миллиметрах на ангстрем. Можно выразить линейную дисперсию  $D^*$  через угловую ( $\frac{d\Theta}{d\lambda}$ ). Как следует из формулы (9), для интерферометра Фабри-Перо

$$D^* = f \frac{d\Theta}{d\lambda} = \frac{dD}{2d\lambda} = \frac{2f^2}{\lambda D}.$$

Высокая дисперсия является основным преимуществом интерферометра Фабри–Перо.

## 1.3 Дисперсионная область

Областью дисперсии спектрального прибора называют максимальный интервал длин волн  $\Delta\lambda$ , при котором ещё не происходит перекрытия интерференционных полос соседних порядков. Ширина этой области определяется из условия наложения кольца  $(m+1)$ -го порядка для длины волны  $\lambda$  и кольца  $m$ -го порядка для длины волны  $\lambda + \Delta\lambda$ :

$$m(\lambda + \Delta\lambda) = (m+1)\lambda,$$

откуда

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m} \approx \frac{\lambda^2}{2L}. \quad (10)$$

## 1.4 Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо

## 2 Экспериментальная установка

## 3 Ход работы