

Лабораторная работа 4.4.4.
ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО

Хайдари Фарид, Б01-901

7 апреля 2021 г.

Содержание

1	Теоретические сведения	3
1.1	Измерение длин волн λ 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
2	Экспериментальная установка	7
3	Ход работы	7

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,

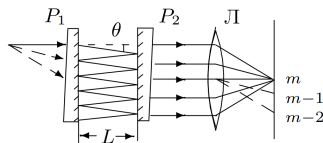


Рис. 1.1: Интерферометр Фабри-Перо

распространяющихся между зеркалами интерферометра под углом θ , 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 : $\Delta = 2Ln \cos \psi$; ψ — 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 λ и расстояний $d\lambda$ между спектральными линиями

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

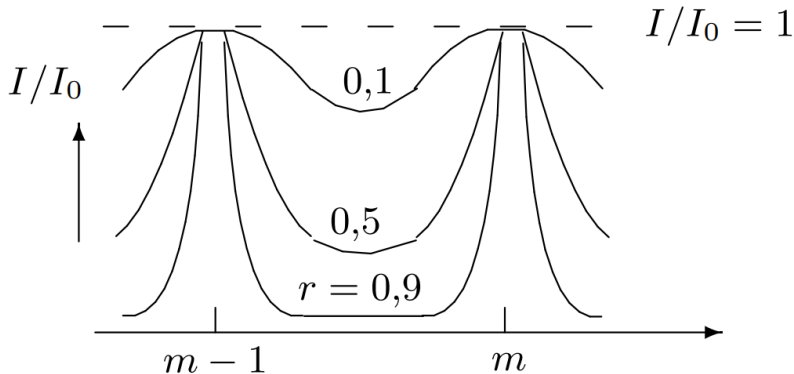


Рис. 1.2: Распределение интенсивности в проходящем свете в зависимости от порядка интерференции $\frac{\Delta}{\lambda}$

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 θ .

При малых θ 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 λ .

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

1.4 Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо

2 Экспериментальная установка

3 Ход работы