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 спек-	
		тральными 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	Xoz	ц 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 при-

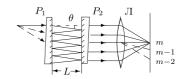


Рис. 1.1: Интерферометр Фабри–Перо

меняются 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 Л, состоит из концентрических колец равного наклона. Для двух соседних лучей, распространяющихся между зеркалами интерферометра под углом θ , разность хода определяется соотношением

$$\Delta = 2L\cos\theta,\tag{1}$$

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_0t , второго A_0tr , третьего A_0tr^2 и т. д. В комплексном представлении амплитуды этих лучей составляют бесконечную геометрическую прогрессию

$$A_0t$$
, $A_0tr e^{ik\Delta}$, $A_0tr^2 e^{i2k\Delta}$, $A_0tr^3 e^{i3k\Delta}$, ..., (2)

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

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

Найдём интенсивность I прошедшего света:

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

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 ($r\gtrsim0.9$) 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-

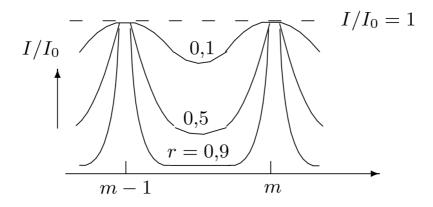


Рис. 1.2: Распределение интенсивности в проходящем свете в зависимости от порядка интерференции $\frac{\Delta}{\lambda}$

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

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

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

При малых θ имеем

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

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

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

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

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

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

Следовательно,

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

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

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

откуда следует:

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

где \overline{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: ∂ исперсию, ∂ исперсионную 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 λ и кольца m-го порядка для длины волны $\lambda + \Delta \lambda$:

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

откуда

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda}{m} \approx \frac{\lambda^2}{2L}.\tag{10}$$

- 1.4 Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо
- 2 Экспериментальная установка
- 3 Ход работы