

Road to IPhO

Интерферометр Фабри-Перо

Интерферометр Фабри-Перо (рис. 1) состоит из двух стеклянных пластин с высоко-отражающими покрытиями внутренних сторон, параллельных друг другу. В пространстве между пластинами свет может многократно переотражаться. Внешние стороны пластин не вполне параллельны внутренним, отражением от них можно пренебречь. Интерферометр можно использовать, например, для измерения плотности воздуха, который в него нагнетают. Свет от натриевой лампы, расположенной в фокусе линзы (коллиматоре), проходит через интерферометр. Пропускная способность интерферометра для пучка параллельных лучей:

$$T = \frac{1}{1 + F \sin^2(\delta/2)},$$

где $F = 4R/(1 - R)^2$, R — коэффициент отражения внутренних поверхностей, $\delta = 4\pi n t \cos \theta / \lambda$, n — коэффициент преломления воздуха в интерферометре, t — расстояние между отражающими поверхностями, θ — расстояние между отражающими поверхностями, λ — длина волны.

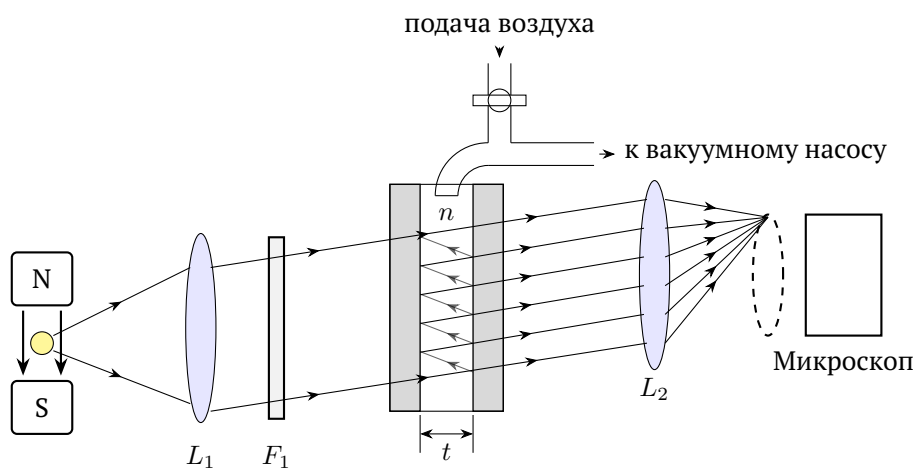


Рис. 1

Натриевая лампа испускает две спектральные линии D1 ($\lambda = 589.6$ нм) и D2 ($\lambda = 589.0$ нм) и расположена между полюсами электромагнита, который вначале выключен. Оптический фильтр F1 пропускает только линию D1. В микроскоп, настроенный на фокальную плоскость линзы L2, фокусное расстояние которой $f = 30$ см, наблюдаются интерференционные кольца. Положим коэффициент отражения $R = 90\%$ и расстояние $t = 10$ мм.

Физические константы: $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ кг, $c = 3.0 \cdot 10^8$ м/с.

A1 Рассчитайте для линии D1 ($\lambda = 589.6$ нм) в случае вакуума ($n = 1.0$) порядок интерференции m_i , угол падения θ_i и диаметр D_i для первых трёх светлых колец $i = 1, 2, 3$. **1.5**

A2 Как показано на рис. 2, ширина ε спектральной линии определяется на половине высоты графика зависимости пропускающей способности от фазового сдвига δ . Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо определяется так: спектральные линии λ и $\lambda + \Delta\lambda$ считаются разрешёнными, если разница $\Delta\delta$ между фазовыми сдвигами, соответствующих максимумам спектральных линий, больше ε (рис. 2). Таким образом разрешающая способность интерферометра равна $\lambda/\Delta\lambda$ при $\Delta\delta = \varepsilon$. Для вакуумированного интерферометра, линии D1 ($\lambda = 589.6$ нм) и угла падения $\theta = 0$ рассчитайте ширину спектральной линии ε и разрешающую способность $\lambda/\Delta\lambda$ интерферометра. **1.5**

Road to IPhO

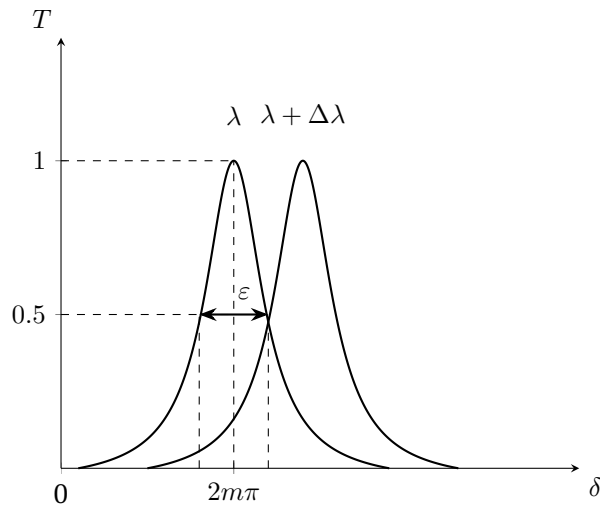


Рис. 2

A3 Пусть в начальный момент давление воздуха в интерферометре равно нулю, т.е. между пластинами интерферометра вакуум ($n = 1.0$). Вентиль (рис. 1) медленно открывают, и воздух постепенно заполняет интерферометр, достигая в итоге атмосферного давления. При этом из центра фокальной плоскости линзы L2 «вырастают» 10 новых интерференционных колец. Основываясь на этом факте, рассчитайте коэффициент преломления воздуха n_{air} при атмосферном давлении. **0.5**

В магнитном поле уровни энергии атома натрия расщепляются. Это явление называется эффектом Зеемана. Сдвиг уровня энергии:

$$\Delta E = m_j g_k \mu_B B,$$

где магнитное квантовое число m_j может принимать значения $J, J - 1, \dots, -J + 1, -J$, (J — орбитальное квантовое число), g_k — множитель Ландау, $\mu_B = \frac{h e}{4\pi m_e}$, h — постоянная Планка, e — элементарный заряд, m_e — масса электрона, B — индукция магнитного поля. Как показано на рис. 3, линия D1 излучается при переходе атома натрия с уровня ${}^2P_{1/2}$ на ${}^2S_{1/2}$, для которых $J = 1/2$. Таким образом, в магнитном поле каждый из уровней расщепляется на два подуровня (рис. 3). Обозначим расстояния между расщепившимися подуровнями энергий ΔE_1 для уровня ${}^2P_{1/2}$ и ΔE_2 для уровня ${}^2S_{1/2}$ ($\Delta E_1 < \Delta E_2$). В результате линия D1 расщепляется на 4 спектральных линии (a, b, c, d) как показано на рис. 3.

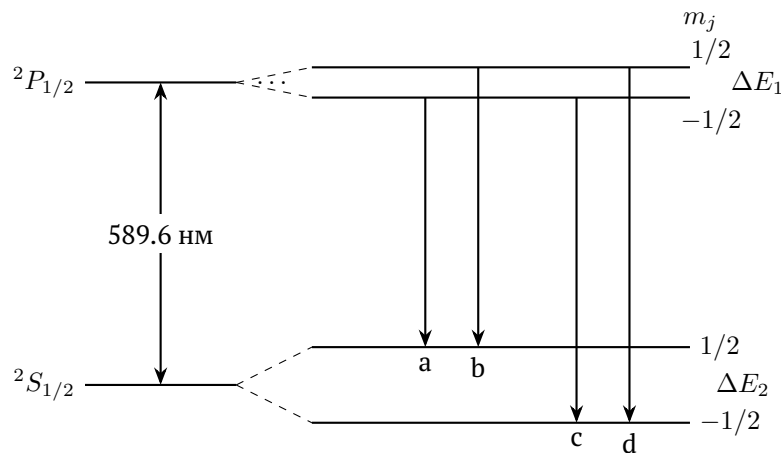


Рис. 3

A4 Запишите выражения для частот (ν) всех четырёх линий.

1.0

Road to IPhO

A5 После включения магнитного поля, каждое интерференционное кольцо линии D1 расщепляется на 4 кольца: 1, 2, 3, 4 (см. рис. 4). Диаметры колец, произошедших от самого маленького интерференционного кольца, равны D_1 , D_2 , D_3 и D_4 . Получите выражения для расстояний между подуровнями ΔE_1 уровня $^2P_{1/2}$ и ΔE_2 уровня $^2S_{1/2}$. **1.5**

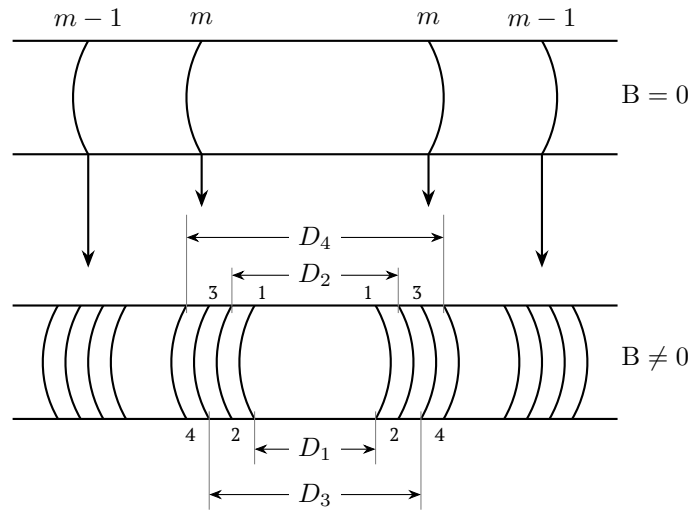


Рис. 4.

Рис. 4

A6 Для магнитного поля $B = 0.1$ Тл, диаметры расщепившихся колец равны: $D_1 = 3.88$ мм, $D_2 = 4.05$ мм, $D_3 = 4.35$ мм, $D_4 = 4.51$ мм. Рассчитайте множители Ландау g_{k1} для уровня $^2P_{1/2}$ и g_{k2} для уровня $^2S_{1/2}$. **1.5**

A7 Магнитное поле солнца можно определить по измерению расщеплению Зеемана натриевой линии D1 солнца. При наблюдении спектра солнца было установлено, что разница длин волн между самой коротковолновой и самой длинноволновой линиями в расщеплении равна 0.012 нм. Определите магнитное поле B солнца. **1.0**

A8 Излучение полупроводникового лазера с длиной волны $\lambda = 650$ нм и спектральной шириной $\Delta\lambda = 20$ нм попадает в вакуумированный интерферометр Фабри-Перо под углом $\theta = 0$. Рассчитайте количество спектральных линий и их спектральную ширину $\Delta\nu$ на выходе из интерферометра. **1.5**