

Московский физико-технический институт
(государственный университет)
Факультет общей и прикладной физики

Вопрос по выбору в 4 семестре
(Общая физика: оптика)

Модовый состав лазерного излучения

Работу выполнил:
Иванов Кирилл, 625 группа

г. Долгопрудный
2018 год

1. Введение

Лазер — источник квазимонохроматического и узконаправленного высококогерентного потока излучения, работающий за счёт квантово-механического эффекта вынужденного (индуцированного) излучения.

Главными элементами лазера являются **оптический резонатор** и расположенная в нём **активная среда**, способная усиливать проходящее через неё излучение.

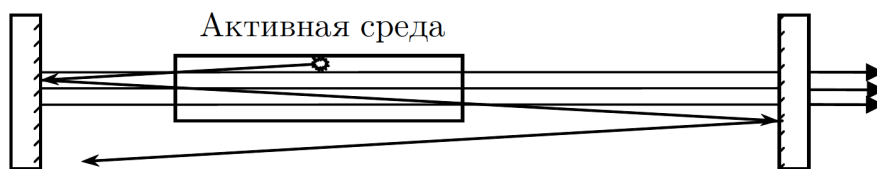


Рис. 1: Схема лазера

1.1 Квантово-механическое введение

В силу выхода квантовой физики и связанных с ней явлений за рамки нашего курса мы не будем подробно останавливаться на квантово-механических принципах работы лазера.

Если вкратце, то из-за **спонтанного** (самопроизвольного) излучения электронами фотонов с энергией $E = \hbar\omega$ появившиеся частицы света возбуждают атомы, заставляя их переходить на следующий энергетический уровень $E_1 = E_0 + \hbar\omega$. После взаимодействия других фотонов с уже возбужденными электронами происходит **вынужденное** излучение, после чего атом возвращается в основное состояние. В результате этих процессов возникает электромагнитная волна с частотой $\omega = \frac{E_1 - E_0}{\hbar}$, которая усиливается за счёт взаимодействия с активной средой.

Конечно, нужно понимать, что в реальности такие волны являются не монохроматическими с бесконечно узкой линией поглощения/излучения ω , а обладают конечной шириной $\Delta\omega$, которая называется шириной спектра усиления активной среды лазера (**спектра генерации**). Она определяется из квантовых и иных характеристик атомов и активной среды.

1.2 Роль резонатора

Простейший резонатор представляет собой **интерферометр Фабри–Перо**, состоящий из двух плоских зеркал с высокими коэффициентами отражения, размещённых параллельно друг другу на фиксированном расстоянии. Благодаря наличию активной среды, в резонаторе многократно усиливаются волны, распространяющиеся вдоль оси системы и набирающие за один полный проход резонатора фазу, кратную 2π (т.е. на оптической длине резонатора укладывается целое число полуволн, в системе при этом образуются **стоячие волны**). Таким образом, резонатор обеспечивает создание положительной обратной связи в лазере и превращает его в генератор излучения. Также в резонаторе происходит накопление энергии излучения и отбор

узких резонансных линий из спектра излучения, рождающегося в среде. Одно из зеркал резонатора обычно имеет несколько меньший коэффициент отражения, что позволяет выпускать через него часть излучения в виде узконаправленного высокомонохроматического пучка.

2. Модовый состав лазерного излучения

Модами называют стационарные типы колебаний электромагнитного поля в резонаторе, различающиеся частотой и пространственным распределением амплитуды поля.

Рассмотрим моды в открытом резонаторе Фабри–Перо с плоскими зеркалами, расстояние между которыми равно L . Будем считать, для простоты, что активная среда заполняет весь резонатор и имеет показатель преломления $n = 1$.

2.1 Продольные моды

Будем рассматривать **продольные моды**, т.е. волны, бегущие вдоль оси системы (пусть это будет x). В результате отражения от зеркал мы получаем стоячие волны (см. рис. 2). Они задаются формулой $E \propto \sin \omega t \sin kx$.

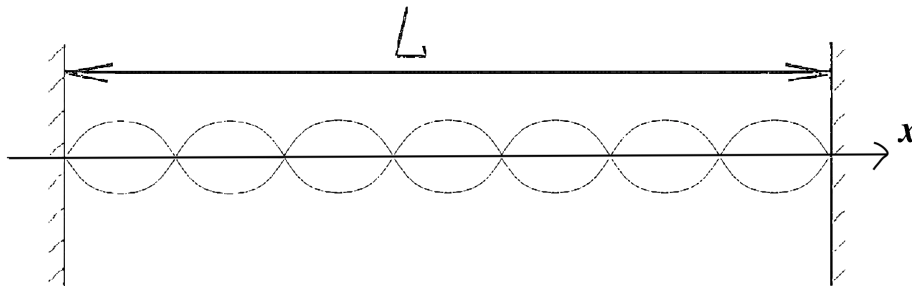


Рис. 2: Стоячие волны в плоскопараллельном резонаторе Фабри-Перо

В случае металлических (проводящих) зеркал, электрическое поле на них (т.е. на границе системы, в точках $x = 0, x = L$) обращается в ноль. Из этого условия и формулы выше мы получаем $\sin kx = 0 \Rightarrow kL = \pi m$, где m , конечно же, пробегает значения $m = 1, 2, 3, \dots$. Подставляя волновое число $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, мы получаем условие на длину волны:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{L}{m} \quad (1)$$

Тогда нетрудно найти частоты, удовлетворяющие (1). Так как частота световой волны $\omega = 2\pi\nu = 2\pi\frac{c}{\lambda}$, получаем

$$\omega_m = m \frac{\pi c}{L} \quad (2)$$

Таким образом, мы получаем, что из всей ширины спектра генераций резонатор выделяет дискретный набор узких спектральных линий ω_m , соответствующих колебаниям продольных мод. Эти частоты также называются **собственными**.

3. Экспериментальный подсчет числа мод

4. Селекция продольных мод

5. Заключение

Использованная литература

- Звелто «Принципы лазеров
- Лабник