

Условие

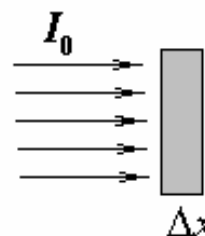
Задание 3. «Гиперболоид инженера Гарина»

В данной задаче рассматривается достаточно простая модель, демонстрирующая принципы работы оптического квантового генератора.

Согласно квантовой теории атомы и молекулы могут находиться в дискретном наборе состояний, энергии которых имеют строго определенные значения. Невозбужденные молекулы находятся в основном состоянии с минимально возможным значением энергии. При поглощении кванта света, энергия которого равна разности энергий возбужденного и основного состояний, молекула переходит в возбужденное состояние. Поглощательная способность молекулы характеризуется так называемым сечением поглощения σ .

Часть 1. Поглощение и испускание.

1.1 Пусть световой поток малой плотности I_0 (число фотонов пересекающих площадку единичной площади в единицу времени) падает на тонкий слой вещества толщиной Δx , концентрация поглощающих молекул в котором равна γ , причем среднее расстояние между молекулами значительно превышает их размеры. Определите плотность светового потока I на выходе из этого слоя. Относительное изменение плотности потока $p = \frac{I}{I_0}$ при прохождении поглощающего слоя назовем коэффициентом пропускания.



Поглощающие молекулы можно представить в виде шариков с площадью поперечного сечения равной сечению поглощения σ .

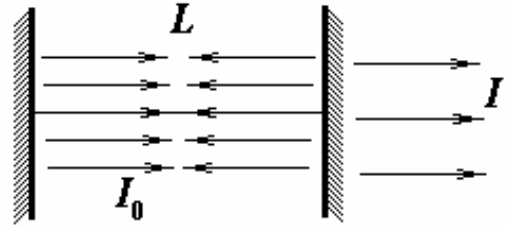
1.2 Теперь будем считать, что толщина слоя очень велика. Оцените среднюю длину пробега фотонов в этом веществе.

1.3 Если молекула находится в возбужденном состоянии, то она самопроизвольно переходит в основное состояние с испусканием кванта света. Этот процесс является случайным, подобным радиоактивному распаду. Если число возбужденных молекул равно N_0 , то за малый промежуток времени Δt в основное состояние перейдут $\Delta N = AN_0\Delta t$ молекул, где A - постоянный коэффициент, называемый коэффициентом Эйнштейна для спонтанного испускания. Оцените среднее время жизни молекулы в возбужденном состоянии.

1.4 Если молекула находится в возбужденном состоянии, то при ее взаимодействии с квантом света, энергия которого равна разности энергий возбужденного и основного состояний, молекула может испустить квант света, аналогичный исходному. Этот процесс называется вынужденным испусканием. Для такого процесса также определяется сечение вынужденного испускания σ_1 . При переходах молекулы между одной и той же парой энергетических уровней сечения поглощения (переход «вверх») и сечение вынужденного испускания (переход «вниз») равны. Определите зависимость пропускания слоя, описанного в пункте **1.1**, от плотности падающего потока.

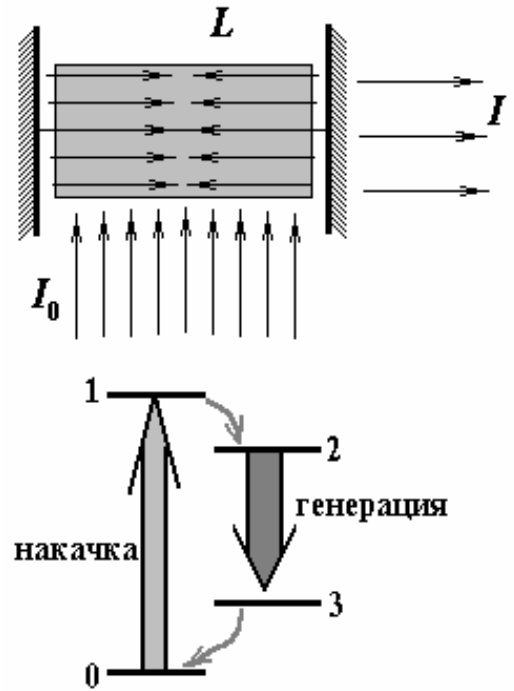
Часть 2. Резонатор.

2.1 Оптический резонатор образован двумя плоскими зеркалами, направленными друг на друга и расположенными на расстоянии L друг от друга. Одно зеркало является идеальным, то есть его коэффициент отражения равен 1. Коэффициент отражения второго зеркала незначительно меньше единицы и равен ρ , поэтому часть излучения выходит из резонатора. Поглощением излучения внутри резонатора и в зеркалах можно пренебречь. Пусть поток фотонов распространяется внутри резонатора параллельно его оси. Оцените время жизни фотона в резонаторе.



Часть 3. Лазер.

Резонатор, описанный выше, полностью заполнен веществом – раствором, содержащим активные молекулы, концентрация которых равна γ . Раствор непрерывно освещается сбоку световым потоком плотности I_0 (плотность накачки). Частота этого излучения такова, что под его действием молекулы вещества переходят из основного (0) в возбужденное состояние (1). Сечение поглощения молекул при этом переходе равно σ_0 . Далее молекулы практически мгновенно переходят в промежуточное состояние (2). Коэффициент Эйнштейна для спонтанного перехода из этого состояния во все нижележащие равен A . При определенных условиях возможна генерация излучения, благодаря вынужденным переходам молекул из состояния (2) в промежуточное состояние (3). Сечение испускания этого перехода равно σ_1 . Из промежуточного состояния (3) молекула практически мгновенно переходит в основное состояние (0). Генерируемый поток распространяется вдоль оси резонатора. Так как переходы с поглощением и испусканием происходят между различными парами уровней, то излучение накачки не поглощается и не вызывает вынужденного испускания в канале (3)–(2), а излучение генерации не поглощается и не вызывает вынужденного испускания в канале (0)–(1). Концентрация активных молекул достаточно мала, так что длины пробега фотонов заметно превышают размеры резонатора.



3.1 Определите минимальную плотность потока накачки (пороговое значение), при которой возможна генерация излучения.

3.2 Найдите зависимость интенсивности генерированного излучения лазера после выхода из резонатора, постройте схематический график этой зависимости.