



# Кубок ЛФИ

10.s01.e06

Hint 2



## Hint 2

**ВАЖНО!** Задача является одновременно и хинтом, и альтернативой к основной задаче. Три важных момента:

1. Вы можете продолжать присылать решение основной задачи.
2. В любой момент до финального дедлайна вы можете перейти на решение *альтернативной задачи*. Если вы это делаете, то в самом начале решения напишите: *Я перехожу на решение альтернативной задачи!*. В этом случае вы получаете дополнительный коэффициент в 0,7 единиц, который умножается на старый коэффициент, и решения основной задачи с этого момента не проверяются. Будьте внимательными!
3. Задача состоит из нескольких пунктов. Штрафной множитель, заработанный **до этого** применяется ко всем пунктам. В дальнейшем каждый пункт оценивается как отдельная задача. Если вы присылаете решение без какого-либо пункта, то его решение считается Incorrect. Более подробно о начислении баллов для составных задач смотрите в Правилах проведения Кубка.

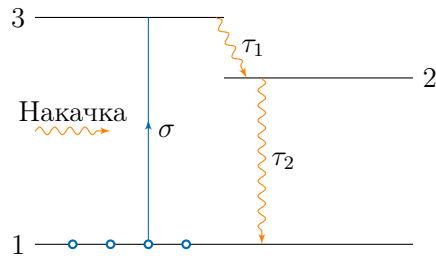
## Альтернативная задача

Рассмотрим активную среду, для которой верны наши рассуждения из основной задачи об энергетических уровнях и переходах между ними. Если в некотором процессе получилось так, что на более высоколежащем уровне число электронов больше, чем на более низком энергетическом уровне, и между этими уровнями возможны излучательные переходы, то говорят, что в системе реализована *инверсия населенностей уровней*. Если такой режим реализован, то в том случае, если в систему попадает фотон, частота которого равна резонансной частоте перехода, то вероятность того, что произойдет вынужденное излучение выше, чем вероятность того, что фотон поглотится. Другими словами, вероятность усиления электромагнитного излучения больше, чем вероятность его ослабления. Такая ситуация реализуется в активной среде лазера при генерации лазерного излучения. Есть две стандартные системы уровней, в которых такая ситуация возможна: трехуровневая и четырехуровневая. Рассмотрим их более подробно.

## Трехуровневая схема

На рисунке представлена система из трех уровней. Уровень 1 будем называть основным, уровни 2 и 3 будем называть возбужденными. Накачкой будем называть некоторый процесс, который переводит электроны с первого уровня на третий (это может быть излучение лампы, неупругие удары и т.д.). Будем считать, что накачка характеризуется сечением поглощения  $\sigma$ .

С третьего уровня на второй осуществляется очень быстрый безызлучательный переход с характерным временем  $\tau_1$ . Будем считать, что со второго уровня на первый есть безызлучательные переходы и переходы, обусловленные спонтанным излучением. Оба этих перехода мы будем характеризовать временем жизни второго уровня  $\tau_2$ .

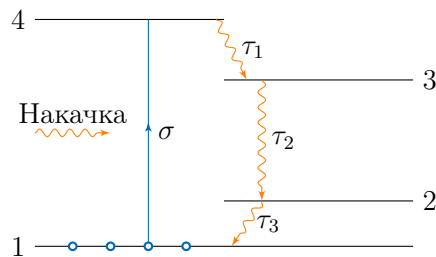


1. Найдите в стационарном приближении зависимости населенностей первого и второго уровней  $n_1(F)$  и  $n_2(F)$ , где  $F$  — величина, аналогичная плотности потока фотонов из основной задачи. Изобразите их на одном графике. (2 балла)
2. При какой величине  $F$  реализуется инверсия населенностей? (0,5 балла)
3. При каких условиях населённость третьего уровня при больших значениях  $F$  становится нулевой? (0,5 балла)

Суммарная концентрация электронов известна и равна  $N$ , сечение поглощения  $\sigma$  и характерные времена  $\tau_1$  и  $\tau_2$  также считать известными.

### Четырехуровневая система

Четырехуровневая система похожа на предыдущую, только лазерная генерация происходит при переходах с третьего на второй уровень (см.рис.). При этом релаксация со второго уровня на первый происходит за пренебрежимо малое время, т.е. можно считать, что электроны, попадая на второй уровень, не задерживаются на нём и мгновенно попадают на основной (первый) уровень.



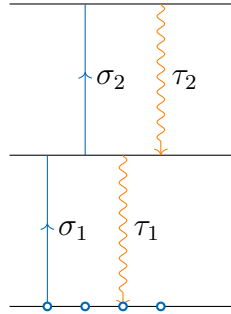
1. Найдите в стационарном приближении зависимость от  $F$  населенности третьего уровня  $n_3(F)$  и постройте для нее график. (1,5 балла)
2. При какой величине  $F$  реализуется инверсия населенностей? (0,5 балла)

Суммарная концентрация электронов известна и равна  $N$ , сечение поглощения  $\sigma$  и характерные времена  $\tau_1$  и  $\tau_2$  также считать известными.

### Явление затемнения

Рассмотрим трехуровневую систему, изображенную на рисунке. На среду действует излучение с плотностью потока фотонов  $F$ , в результате чего электроны начинают перераспределяться по уровням энергии. Считайте, что возможны 4 типа переходов: переход электрона нижнего уровня на средний с сечением поглощения фотона  $\sigma_1$ , переход электрона со среднего уровня на верхний с сечением поглощения фотона  $\sigma_2$ , а также два

безызлучательных перехода с характерными временами релаксации  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . При увеличении величины  $F$  может произойти так, что электрон, попадая на второй уровень, не успеет вернуться на первый, и совершит переход на более высокий уровень, после чего никогда не вернётся на первый. В этом и заключается явление затемнения.



1. Найдите в стационарном приближении зависимость населенностей первого и второго уровней  $n_1(F)$  и  $n_2(F)$  от плотности потока фотонов  $F$  (величина, аналогичная плотности потока фотонов из основной задачи) и изобразите их на одном графике. (2 балла)
2. Найдите зависимость коэффициента поглощения  $\alpha$  от  $F$  (в стационарном приближении). Постройте график зависимости. (2 балла)
3. При какой величине  $F$  реализуется явление затемнения? (0,5 балла)
4. При каких условиях населённость первого уровня становится нулевой? (0,5 балла)

Суммарная концентрация электронов известна и равна  $N$ , сечения поглощения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  и характерные времена  $\tau_1$  и  $\tau_2$  также считать известными.