

4. В данной задаче вам необходимо построить модель явления *светоиндуцированного дрейфа* в газах. В некоторых условиях возможно медленное смещение одной из компонент смеси газов под действием света. Причем этот дрейф может быть направлен как в направлении распространения света, так и в противоположном направлении.

Мы рассмотрим этот эффект в смеси, состоящей из атомарного водорода и гелия, причем концентрация водорода значительно меньше концентрации гелия (который используется в качестве буферного газа). Температура смеси  $T=100\text{K}$ , давление  $p = 1,0 \cdot 10^4 \text{ Па}$ .

Смесь облучается плоской монохроматической световой волной.

4.1 Используя полуклассическую теорию атома водорода Бора, найдите зависимость радиуса атома водорода (в качестве радиуса атома рассматривается радиус боровской орбиты) от главного квантового числа  $n$ . Рассчитайте радиус атома в основном и первом возбужденном состоянии. Чему равен радиус атома при  $n=1000$ ?

Напоминаем. Согласно правилу квантования Бора, стационарными являются орбиты, для которых выполняется условие  $mvr = n\hbar$  ( $m$  - масса электрона,  $v$  - его орбитальная скорость,  $r$  - радиус орбиты,  $n$  - главное квантовое число).

4.2 Получите формулу для оценки средней длины свободного пробега  $\Lambda$  атома водорода. Приведите численную оценку длины свободного пробега атома водорода, находящегося в основном состоянии, в рассматриваемой смеси. Во сколько раз изменится длина свободного пробега при переходе атома в первое возбужденное состояние?

*Диаметр атома гелия примите равным 0,2 нм.*

4.3 Рассчитайте частоту электромагнитного излучения  $\nu_0$ , поглощаемого атомом водорода при переходе из основного в первое возбужденное состояние.

4.4 Покажите, что частота излучения, воспринимаемая атомом, движущимся со скоростью  $V$  навстречу электромагнитной волне частоты  $\nu_0$ , может быть

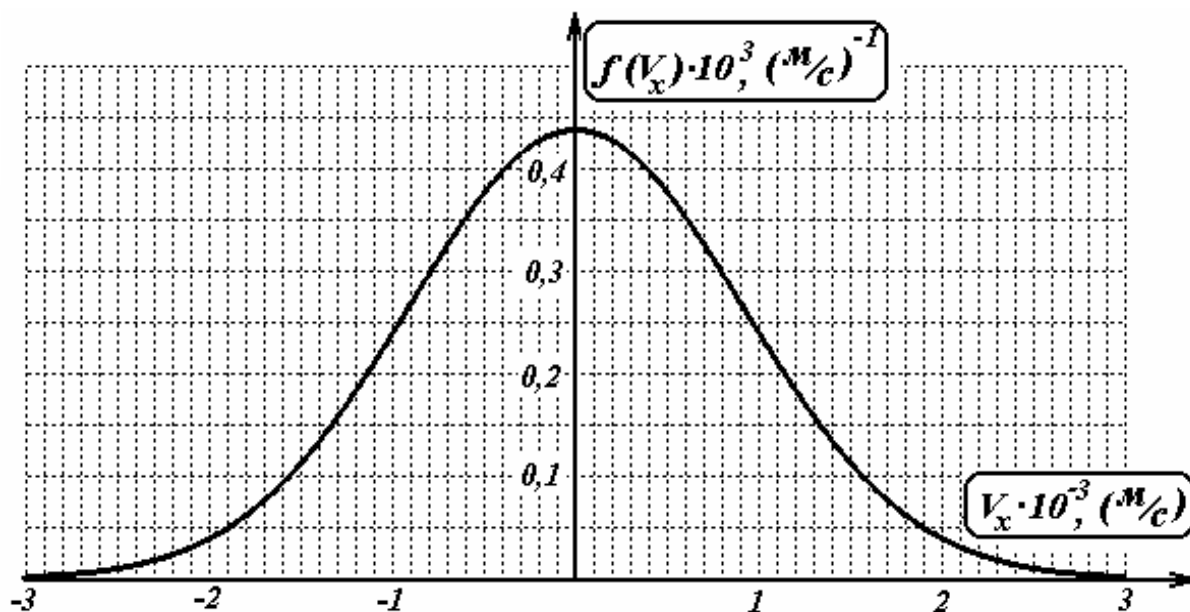
рассчитана по приближенной формуле  $\nu = \nu_0 \left( 1 + \frac{V}{c} \right)$ , где  $c$  - скорость света.

4.5 Частота падающего излучения превышает частоту перехода из основного в первое возбужденное состояние атома водорода на  $\Delta\nu \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ . С какой скоростью  $V^*$  должен двигаться атом водорода, чтобы он мог поглотить квант падающего излучения?

4.6 Линии поглощения атомов имеют конечную ширину, то есть атом поглощает излучение не только строго резонансной частоты  $\nu_0$  (определяемой разностью уровней энергии), но и частот, которые отличаются от частоты  $\nu_0$  на некоторую малую величину  $\delta\nu$  (эта величина называется шириной линии поглощения). Для перехода атома водорода из основного в первое возбужденное состояние эта величина составляет  $\delta\nu \approx 2 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ . Учитывая, что в рассматриваемой газовой смеси, скорости атомов водорода различаются, определите долю атомов водорода, которые поглощают излучение, частота которого превышает  $\nu_0$  на величину  $\Delta\nu \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ . Считайте, что интенсивность излучения такова, что  $\eta \approx 1\%$  атомов, для которого выполняются условия поглощения, переходит в возбужденное состояние.

Функция распределения  $f(v_x)$  атомов водорода по величине проекции скорости  $v_x$  при температуре  $T=100\text{K}$  показана на рисунке.

Напоминаем. Величина  $f(v_x)\Delta v_x$  равна относительной доле молекул, компоненты скорости  $v_x$  которых лежат в интервале  $[v_x, v_x + \Delta v_x]$ .



4.7 Оцените среднюю скорость дрейфа водорода в рассматриваемой смеси при ее облучении электромагнитной волной, описанной в предыдущем разделе.

Для оценки, считайте, что для возбужденных молекул длина свободного пробега пренебрежимо мала. При столкновении возбужденного атома он переходит в основное состояние.

4.8 Получите формулу для зависимости скорости дрейфа от величины  $\Delta\nu$  отстройки частоты падающего излучения от резонансной частоты поглощения  $\nu_0$ , в рамках рассматриваемой модели. Постройте схематический график этой зависимости.

заряд электрона	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
масса электрона	$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
скорость света	$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м / с}$
постоянная Планка	$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
постоянная Больцмана	$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ Дж / К}$
газовая постоянная	$R = 8,314 \text{ Дж / (К} \cdot \text{моль)}$
электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф / м}$