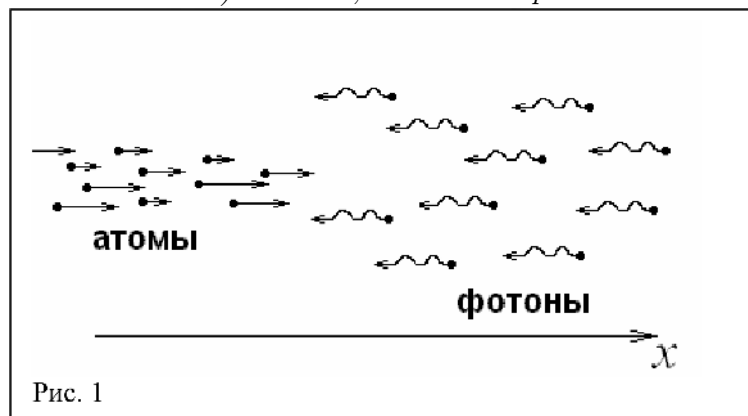


Охлаждение светом

Условие

Задание 3. «Охлаждение светом»

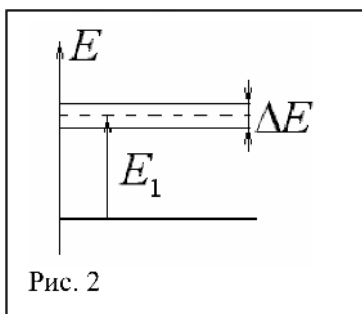
В 1997 году профессору Стивену Чу (Steven Chu), доктору Вильему Д. Филлипсу (William D. Phillips) и профессору Клоди Кохен-Танноуджи (Claude Cohen-Tannoudji) была присуждена Нобелевская премия «за разработку методов охлаждения и удержания атомов при помощи лазерного луча». Реализация такого эксперимента – очень непростая техническая задача. Однако основные теоретические принципы не так уж и сложны. Суть происходящих явлений можно легко понять, если хорошо знать школьную физику. В этой задаче Вам предстоит рассмотреть физические явления, приводящие к торможению (а значит и охлаждению) атомов, а также привести численные оценки основных величин.



Для проведения эксперимента необходима вакуумная камера, пучок атомов и лазер, способный излучать фотоны строго определённой энергии. Тонкий пучок атомов натрия ($m = 23$ а.е.м.) запускается вдоль оси камеры (ось Ox), а навстречу ему направляют лазерный луч (см. рис. 1). Скорости атомов в пучке первоначально направлены вдоль оси камеры. В пучке существует некоторое распределение по скоростям, т.е. скорость некоторых атомов может значительно отличаться от средней скорости в пучке. Кроме того, будем считать пучок достаточно разреженным (т.е. можно пренебречь столкновениями атомов между собой), а интенсивность лазерного луча достаточно большой.

Как известно, атомы могут поглощать фотоны определённой энергии и переходить в возбуждённое состояние. У атомов натрия первому возбуждённому состоянию соответствует энергия $E_1 = 2,1$ эВ.

1. Какой энергией $E_{\text{ф}}$ должны обладать фотоны в пучке, чтобы происходило их поглощение атомами, движущимися со скоростью $v_0 = 500$ м/с?
2. Оцените, на сколько в среднем изменяется скорость движения этих атомов вдоль оси Ox после излучения фотона.
3. Определите также максимальный угол отклонения этих атомов от направления Ox .
4. Известно, что энергетический уровень возбуждённого состояния натрия обладает некоторой шириной $\Delta E = 4,4 \cdot 10^{-8}$ эВ (см. рис.2). Поэтому в поглощении фотонов с энергией $E_{\text{ф}}$ будут участвовать атомы, скорости которых лежат в некотором промежутке $(v_0 - \Delta v_0, v_0 + \Delta v_0)$. Определите Δv_0 .



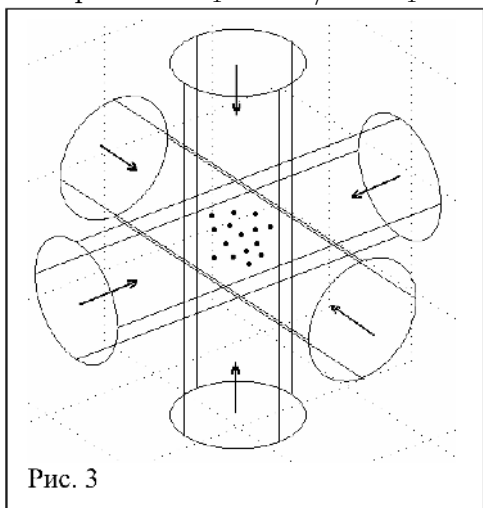
Из решения предыдущих пунктов становится ясно, что через некоторый, довольно маленький, промежуток времени диапазон $(\nu_0 - \Delta\nu_0, \nu_0 + \Delta\nu_0)$ опустеет. Для дальнейшего охлаждения необходимо слегка изменить частоту лазерного излучения.

5. Начнём охлаждение пучка с практически самых «горячих» атомов, движущихся со скоростью $v_{\max} = 1000$ м/с. После их незначительного охлаждения будем слегка изменять частоту, тем самым захватывая в процесс охлаждения и более медленные атомы. Оцените время необходимое для практически полной остановки всего пучка. Оцените также расстояние вдоль оси Ox , которое пролетят «горячие» атомы.

При малых скоростях, отклонения от направления движения становятся значительными и пучок быстро рассеивается. Для дальнейшего охлаждения атомы помещают в своеобразную ловушку, образованную шестью встречными лазерными лучами с энергией фотонов равной $E'_\Phi = E_1 - \Delta E/2$ (см. рис. 3).

6. Оцените минимальную температуру атомов в такой ловушке.

Указание. В последнем пункте необходимо учитывать упругое рассеяние фотонов на атомах. Кроме этого, нужно знать, что процесс поглощения фотонов происходит с определённой вероятностью. Можно считать, что вероятность поглощения практически равна единице в случае, когда частота налетающего фотона соответствует переходу ровно в центр возбуждённого состояния, т.е. переходу с энергией E_1 . И эта вероятность уменьшается до нуля для переходов с энергиями $E_1 + \Delta E/2$ и $E_1 - \Delta E/2$.



Некоторые физические постоянные:

Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Постоянная Больцмана $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Число Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$.

Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.