

Оценка количества атомов

Связь с количеством атомов. Если атом движется на скорости v , то доплеровское смещение приведет к резонансу на частоте

$$\nu(v) = \nu_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right), \quad \Rightarrow \quad d\nu = \frac{\nu_0}{c} dv.$$

где ν_0 – резонансная частота. Мощность детектируемого излучения $J(\nu) d\nu$ связана с плотностью атомов $n(v) dv$. Связь интеграла по мощности излучения $\mathcal{I} = \int J(\nu) d\nu$ с количеством атомов $N = \int n(v) dv$ запишем в виде

$$\mathcal{I} = \kappa N.$$

Интегральная мощность излучения. По расстоянию между пиками сверхтонкой структуры для ^6Li (228 МГц) отмасштабируем развёртку. Из калибровки ФЭУ знаем, что мощности излучения в 1 нВт, соответствует 4.7В, теперь можем найти \mathcal{I} , см. рис. 1.

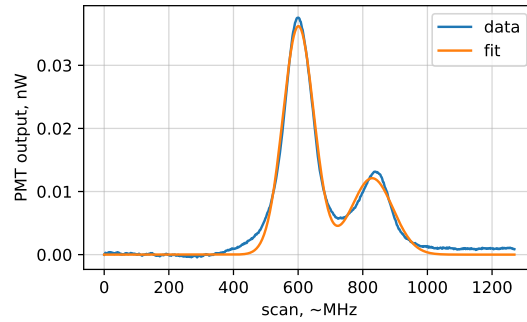


Рис. 1: Численная оценка параметров пиков

Считая пики гауссовыми, можем оценить их параметры (приведены в единицах в соответствие с графиком):

$$G(\nu) = A \exp\left(-\frac{(\nu - \nu_c)^2}{2\sigma^2}\right), \quad A_L = 0.0362, \quad \nu_R = 601, \quad \sigma_L = 48.2, \\ A_R = 0.0121, \quad \nu_L = 829, \quad \sigma_R = 64.3.$$

Тогда находим \mathcal{I} для левого пика

$$\mathcal{I} = A_L \sqrt{2\pi} \sigma_L \approx 4.4 \text{ нВт} \cdot \text{МГц}.$$

На самом деле корректнее будет учесть, что уширение лазера ~ 1 МГц (но это не точно), поэтому измерялись не нВт, а нВт/МГц, а значит с размытостью всё в порядке

$$\mathcal{I} \approx 4.4 \text{ нВт}.$$

Телесный угол. Спонтанное излучение происходит в 4π , детектируем только некоторый телесный угол Ω . Расстояние L от флуорисцирующих атомов до линзы равно ≈ 90 мм, диаметр линзы D равен 52 мм.

Телесный угол, выделяемый конусом с углом раствора α , высоты L и радиуса $D/2$, может быть найден, как

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) = 2\pi \left(1 - \frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2/4}}\right) \approx 2\pi \cdot 0.039.$$

откуда знаем связь детектируемого излучения J с полным излучением $J_0(\nu)$:

$$J_0(\nu) = \frac{4\pi}{\Omega} J(\nu).$$

Интенсивность излучения. Интенсивность излучения фотона можем найти в виде

$$\mathcal{J} = \frac{4}{3c^3} \omega^4 d^2 = \frac{\hbar\omega}{\tau}.$$

Вообще, зная время жизни уровня ^6Li , можем оценить \mathcal{J} с $\tau = 27.2$ нс.

Интенсивность излучения лазера много больше интенсивности насыщения ^6Li (проверить), поэтому можем считать, что половина атомов поддерживается в возбужденном состоянии, тогда

$$\mathcal{J} \frac{dN}{2} \approx \frac{1}{2} \frac{\hbar\omega}{\tau} n(v) dv = J_0(\nu) d\nu = \frac{4\pi}{\Omega} J(\nu) d\nu,$$

откуда находим искомую связь

$$\kappa = \frac{J(\nu) d\nu}{n(v) dv} = \frac{1}{2} \frac{\Omega}{4\pi} \frac{\hbar\omega}{\tau}.$$

Количество атомов. Собирая всё вместе, находим

$$N = \left(\frac{1}{2} \frac{\Omega}{4\pi} \frac{\hbar\omega}{\tau} \right)^{-1} \mathcal{I} \approx 4 \cdot 10^4.$$

Количество атомов в секунду. Знаем, что атомы движутся на скорости $v_0 \approx 1$ км/с (написать точнее). Лазерный пучок выделяет область шириной $w \sim 3$ мм, тогда можем найти количество атомов \mathcal{N} , которое вылетает из печки за одну секунду

$$t \sim \frac{w}{v_0} \sim 3 \text{ } \mu\text{s}, \quad \Rightarrow \quad \mathcal{N} = \frac{N}{t} \approx 10^{10} \frac{\text{атом}}{\text{с}}.$$