Оценка количества атомов

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

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

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

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

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

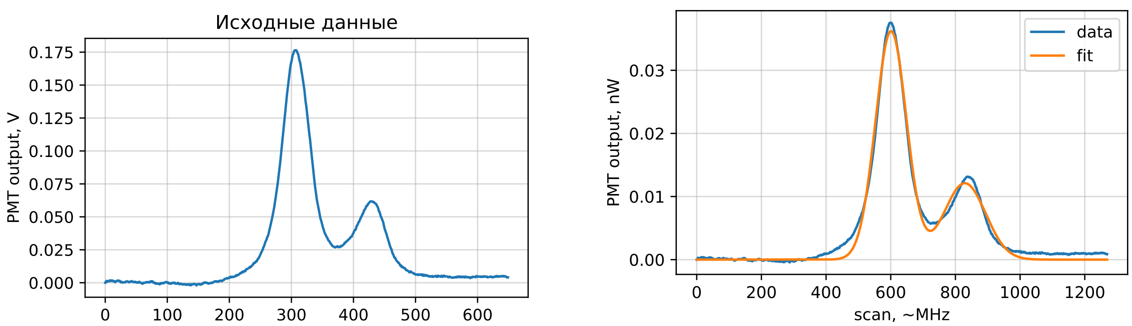

Рис. 1: Численная оценка параметров пиков

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

$$G(\nu) = A \exp\left(-\frac{(\nu-\nu_c)^2}{2\sigma^2}\right), \qquad A_L = 0.0362, \quad \nu_R = 601, \quad \sigma_L = 48.2,$$

$$A_R = 0.0121, \quad \nu_L = 829, \quad \sigma_R = 64.3.$$

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 размерностью всё впорядке

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

Телесный угол. Спонтанное излчение происходит в 4π, дектируем только некоторый телесный угол Ω. Расстояние L от флюорисцирующих 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 ^{6}Li, можем оценить $\mathcal{J}$ с $\tau = 27.2$ нс.

Интенсивность излучения лазера много больше интенсивности насыщения ^{6}Li (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

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

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

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