

Насыщенная спектроскопия ${}^7\text{Li}$

Хоружий К., Рузайкин Т.

24.01.2022

Outline

Мотивация

Теоретическая модель

Количественная оценка

Эксперимент

Результаты

Структура ${}^7\text{Li}$

Доплеровское уширение ($T = 573 \text{ K}$): $\nu_{\text{рез}} \sqrt{\frac{8kT \ln 2}{m_{\text{Li}} c^2}} \approx 3 \text{ ГГц}$.

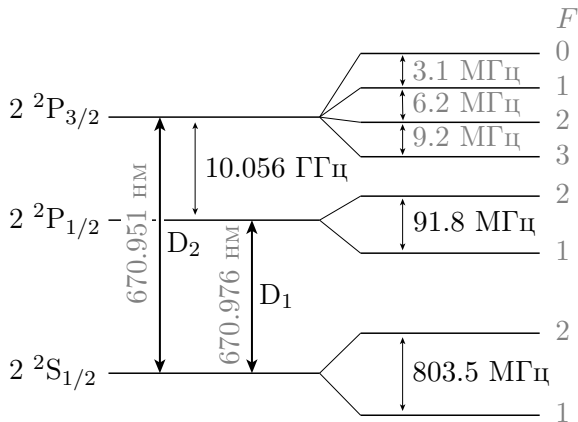
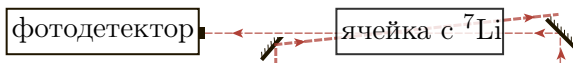


Рис. 1: Уровни ${}^7\text{Li}$, $I = 3/2$

Решение:



Вывод кривой спектра

Закон Бэра:

$$dI/dx = -\alpha I, \quad \alpha = \alpha(\nu).$$

Коэффициент поглощения $\sigma(\nu, v)$:

$$\sigma(\nu, v) = \sigma_0 \frac{\Gamma^2/4}{(\nu - \nu_0(1 - v/c))^2 + \Gamma^2/4}.$$

Распределение Больцмана:

$$dn(v) = n_0 \sqrt{\frac{m}{2\pi k_B T}} \exp\left(-\frac{mv^2}{2k_B T}\right) dv.$$

Вклад от группы атомов $(v, v + dv)$ в $\alpha(\nu)$:

$$d\alpha(v, \nu) = \sigma(v, \nu) dn(v).$$

Скоростные уравнения

Так как часть электронов в N_e :

$$d\alpha \rightarrow \frac{N_g - N_e}{N_g + N_e} d\alpha$$

Населенность в двух состояния описывается скоростными уравнениями

$$\begin{aligned}\dot{N}_g &= \Gamma N_e - \sigma \Phi (N_g - N_e), \\ \dot{N}_e &= -\Gamma N_e + \sigma \Phi (N_g - N_e),\end{aligned}$$

где $N_g + N_e = N = \text{const.}$

Подставляя $\sigma (v \rightarrow -v)$, находим:

$$\frac{N_e}{N} = \frac{s/2}{1 + s + 4(\nu - \nu_0(1 + v/c))^2/\Gamma^2}$$

где $s = \Phi/\Phi_{\text{sat}}$, $\Phi_{\text{sat}} = \Gamma/2\sigma_0$.

Теоретические результаты

Собирая всё вместе:

$$\frac{I_{\text{out}}}{I_{\text{int}}} = \exp \left[-\kappa \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 - 2 \frac{N_e(\nu, v)}{N} \right) \frac{\sigma(\nu, v)}{\sigma_0} \exp \left(-\frac{mv^2}{2k_B T} \right) dv \right]$$

где, считая $\Delta_{\pm}\nu = \nu - \nu_0(1 \pm v/c)$,

$$\frac{N_e}{N} = \frac{s/2}{1 + s + 4(\Delta_+\nu)^2/\Gamma^2}, \quad \frac{\sigma(\nu, v)}{\sigma_0} = \frac{1}{4(\Delta_-\nu)^2/\Gamma^2 + 1},$$

и размерный параметр κ :

$$\kappa = \sigma_0 n l \sqrt{\frac{m}{2\pi k_B T}}.$$

Количественная оценка

Зная давление насыщенного пара ${}^7\text{Li}$ [2], считая $\sigma_0 \approx \lambda^2$, $l = 10$ см, можем получить оценку для κ :

$$\sqrt{\frac{2k_{\text{B}}T}{m}} = 1.2 \times 10^3 \text{ м/с}, \quad \sigma_0 n l = 6.4 \times 10^2.$$

Тогда:

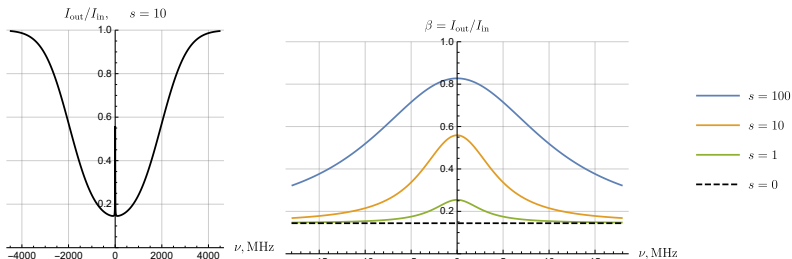


Рис. 2: Спектр вблизи $\nu_{\text{рез}}$ при температуре в 300°C

Контрастность спектроскопии

Контрастность¹ спектроскопии K :

$$\frac{I_{\text{out}}}{I_{\text{int}}} = \exp[-\kappa F(s, \nu)], \quad \Rightarrow \quad K(s) = \frac{\beta_0^{F(s)/F(0)} - \beta_0}{1 - \beta_0},$$

где $\beta \stackrel{\text{def}}{=} I_{\text{out}}/I_{\text{in}}$, подразумеваем $\nu = \nu_{\text{рез}}$, $\beta_0 \stackrel{\text{def}}{=} \beta(s = 0)$.

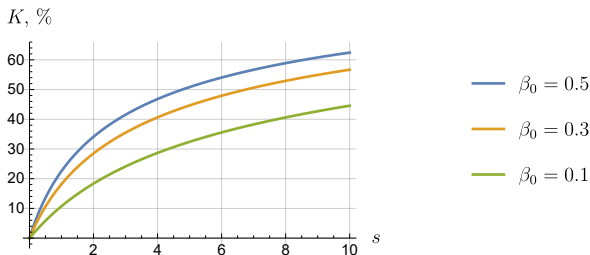


Рис. 3: Оценка контрастности при различных значениях β , как функция от s

¹Отношение высоты лэмбского пика к глубине доплер. провала.

Схема установки

Диодный лазер сканирует по частотам, близким к 671 нм (D1 и D2 линии ^7Li).

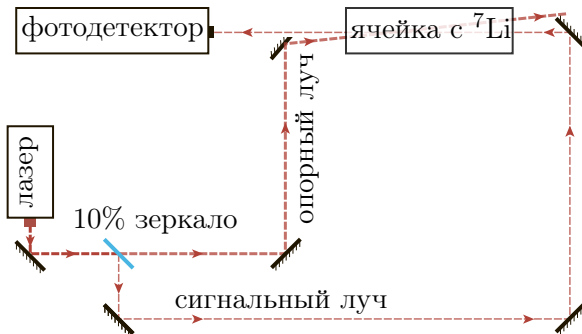


Рис. 4: Схема установки

При $\omega = \omega_{\text{рез}}$ в резонансе оказываются атомы с нулевой скоростью.

Фото установки

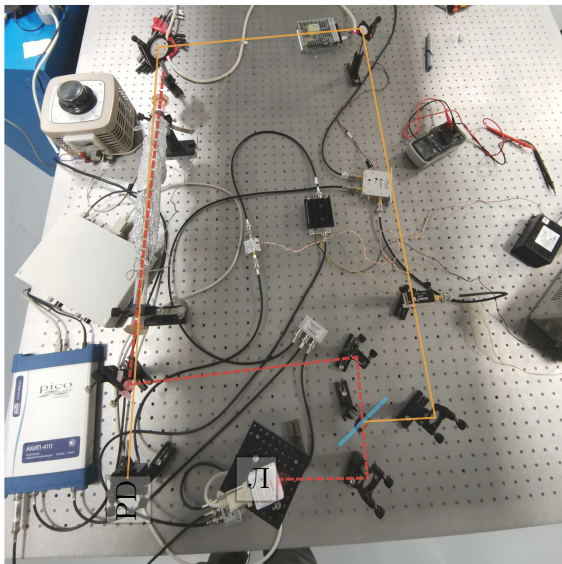


Рис. 5: Фото установки
Насыщенная спектроскопия ^7Li

Общий вид данных

Черная кривая – снятый сигнал, ✓ насыщающий пучок.

Красная кривая – снятый сигнал, ✗ насыщающий пучок.

PD input

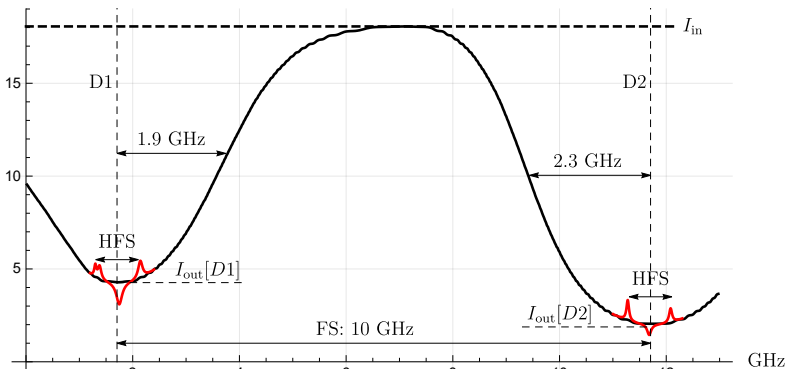


Рис. 6: Полученное уширение линий для D1 и D2

Линия D₂

Синяя кривая – фитирование лоренцовым профилем.

Черные точки – экспериментальные данные.

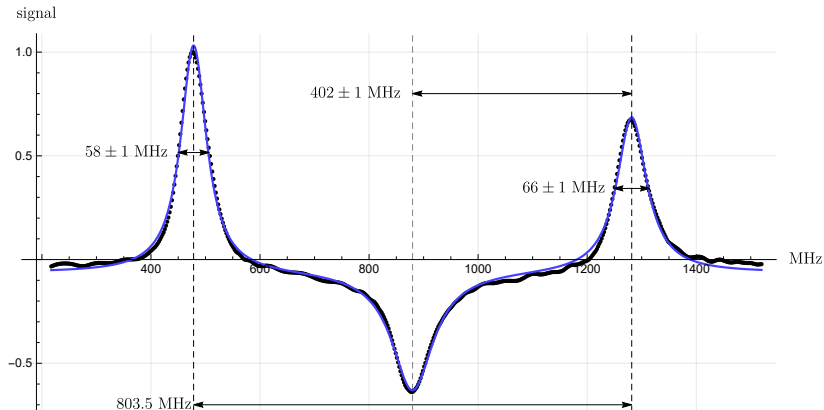


Рис. 7: Полученное уширение линий для D₂

⇒ Наблюдение расщепления $2\ ^2S_{1/2}$: $\Delta \approx 800$ МГц.

Линия D₁

Синяя кривая – фитирование лоренцовым профилем.
Черные точки – экспериментальные данные.

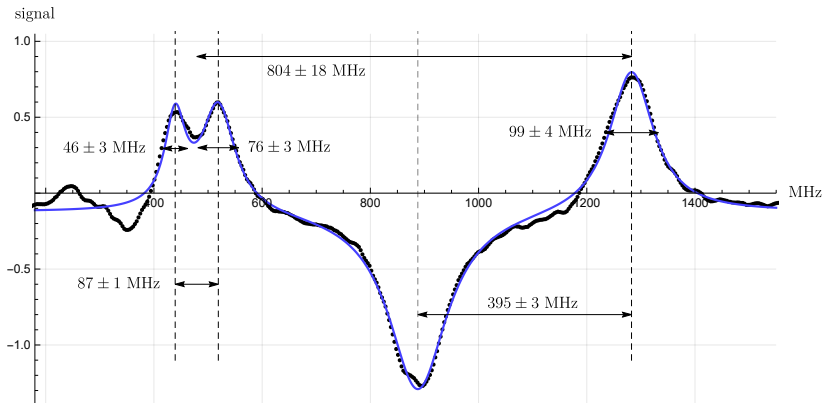


Рис. 8: Полученное уширение линий для D₁

⇒ Наблюдение расщепления $2\ ^2P_{1/2}$: $\Delta \approx 90$ МГц.

Выводы

- ▶ Получено выражение для спектра насыщенной спектроскопии в приближении двухуровневой системы.
- ▶ Получена оценка максимально возможной контрастности K .
- ▶ Собрана установка для наблюдения насыщенной спектроскопии, которая в дальнейшем может использоваться для стабилизация лазера.
- ▶ Наблюдалось тонкое и сверхтонкое расщепление.
- ▶ Полученные параметры:
 - контрастность: $K \approx 7\%$
 - уширения линий: $\sim 50 \div 100$ МГц