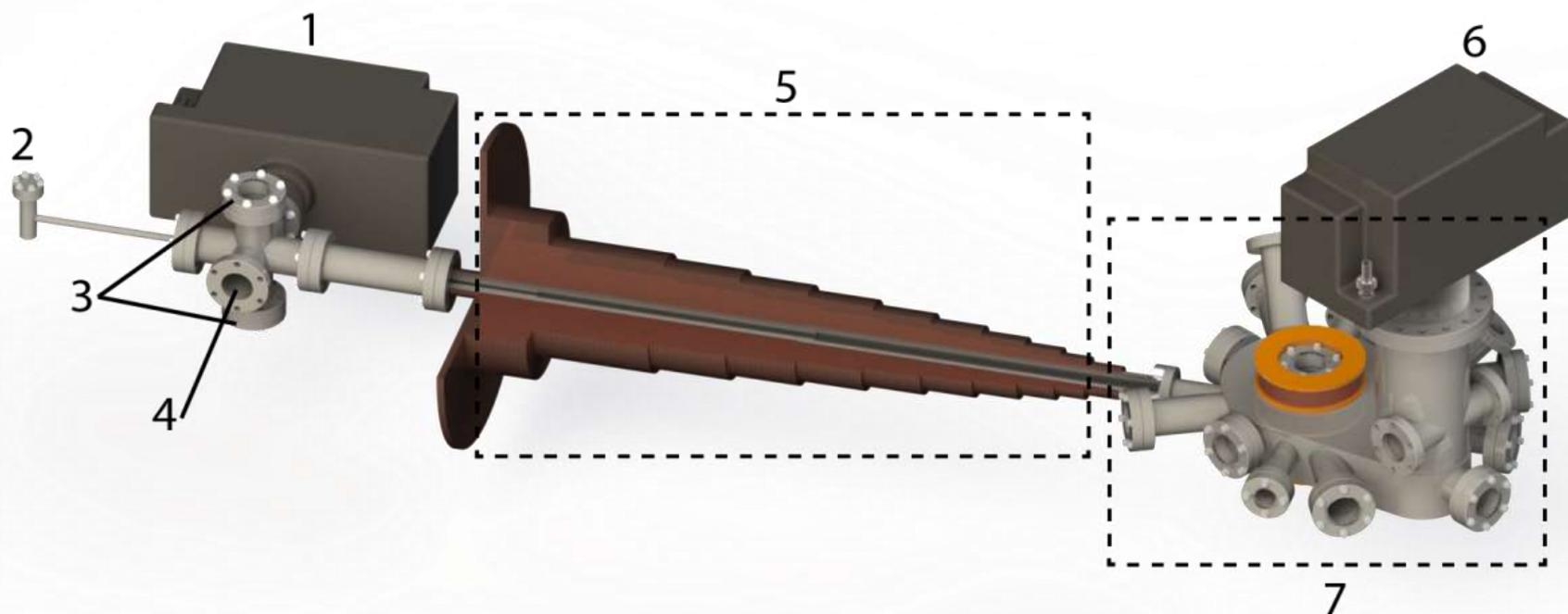




Оптическая регистрация энергетических  
спектров ридберговских состояний атомов  
лития в МОЛ

**С.А. Саакян, В.А. Саутенков, Б.Б. Зеленер, Б.В. Зеленер**

# Вакуумная система



1, 6 – Ионные насосы; 2 – Печка (источник атомного пучка) с металлическим литием; 3 – оптические порты для ввода излучения и диагностики атомного пучка; 4 – Фланец для подключения турбомолекулярного и форвакуумного насосов; 5 – Зеemanовский замедлитель; 7 – Основная вакуумная камера.

# Схема уровней атома лития-7

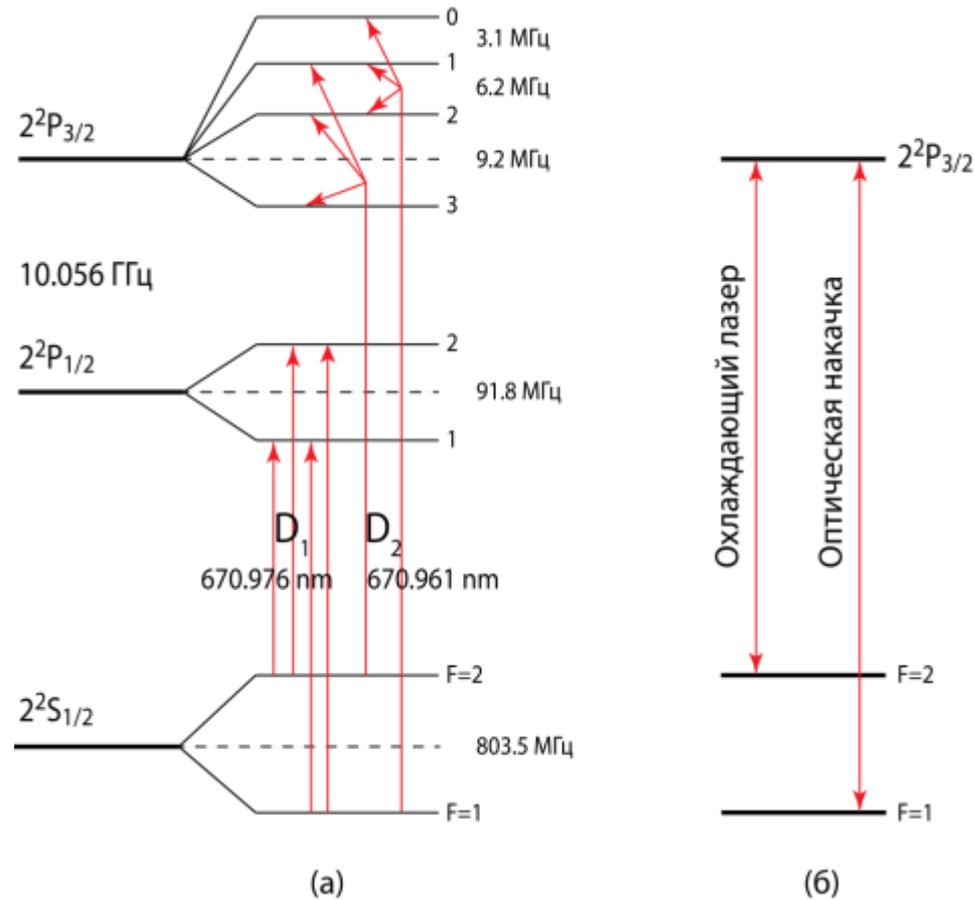
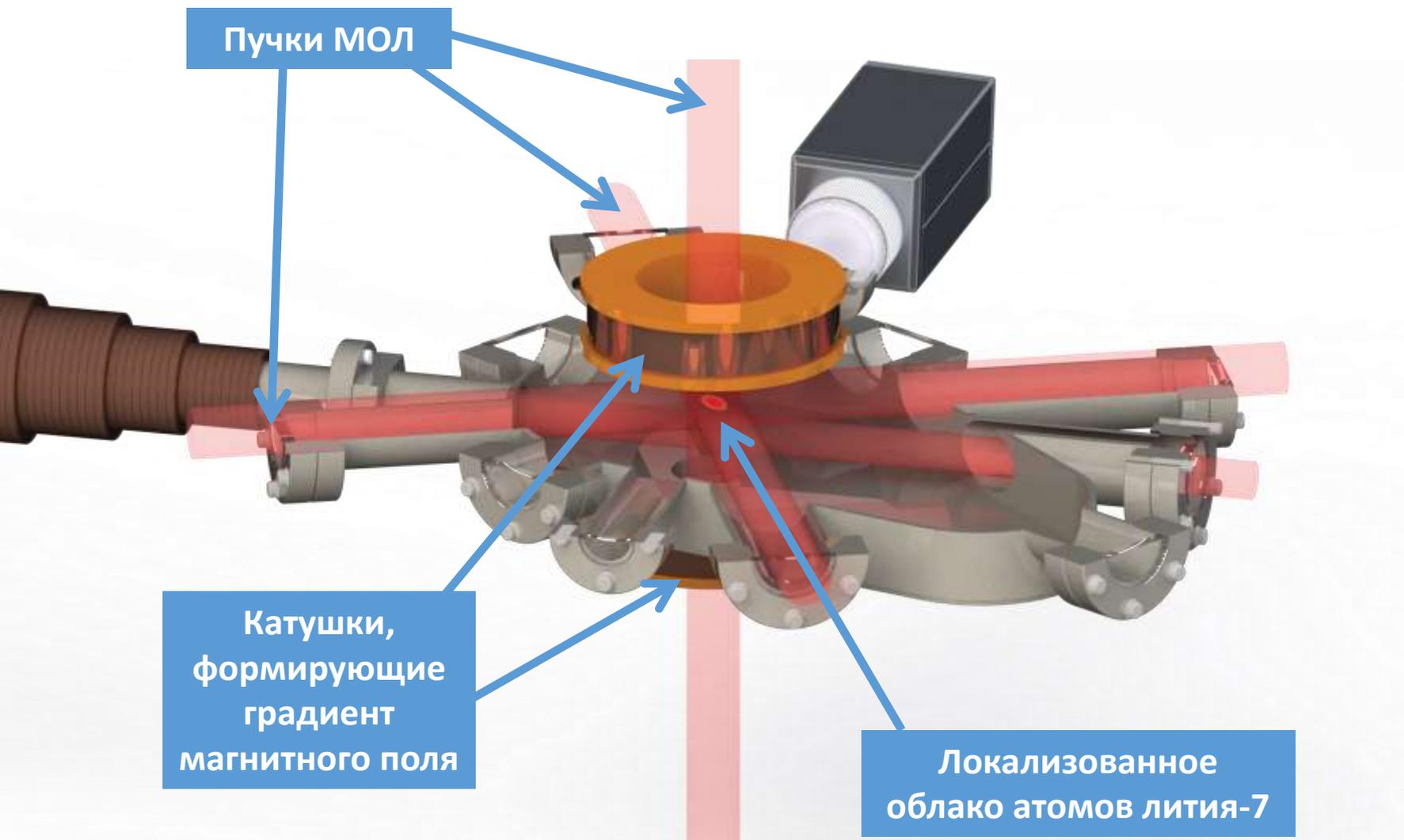
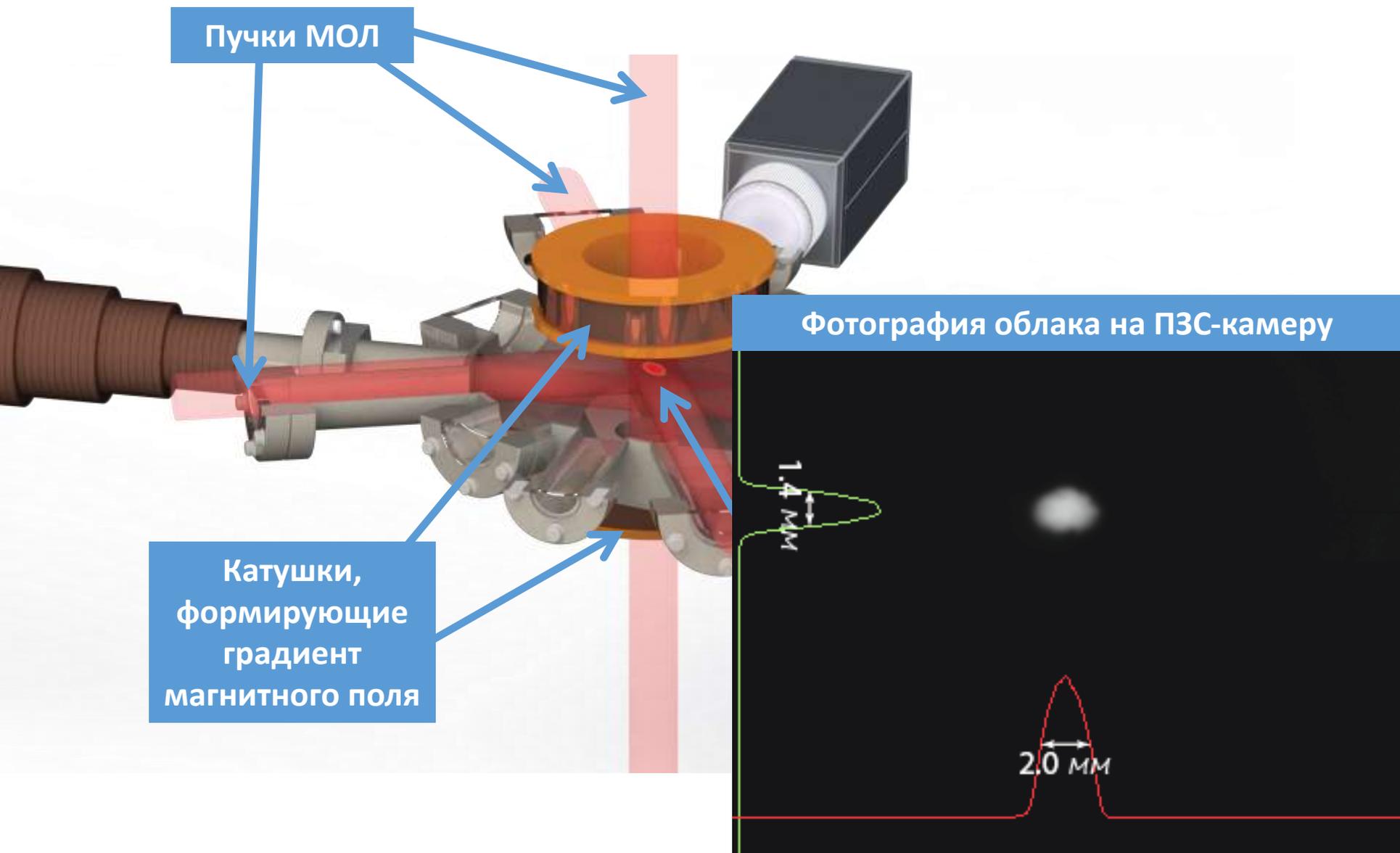


Схема уровней атома лития-7 (а) и эквивалентная ей трехуровневая схема (б)

# Магнито-оптическая ловушка

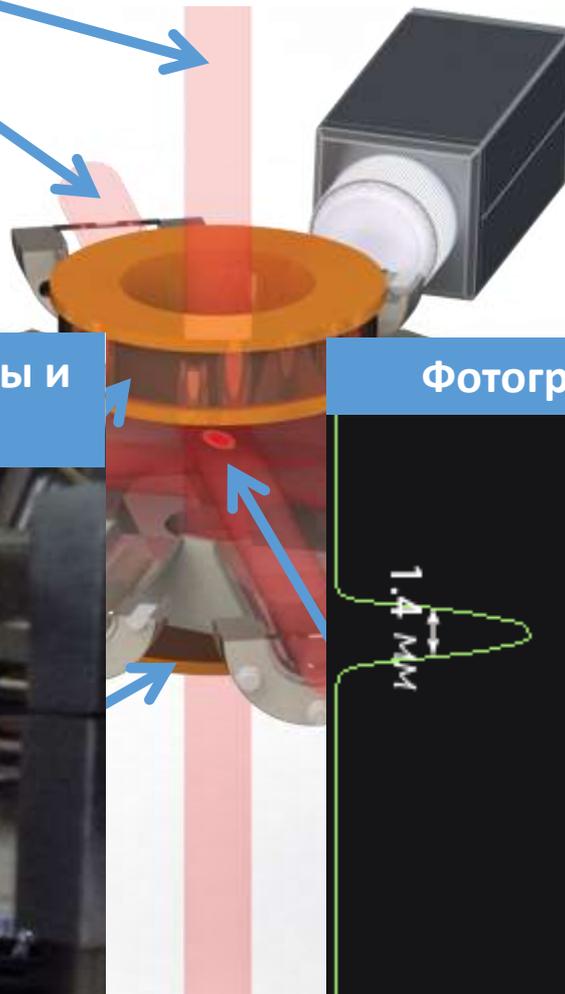


# Магнито-оптическая ловушка

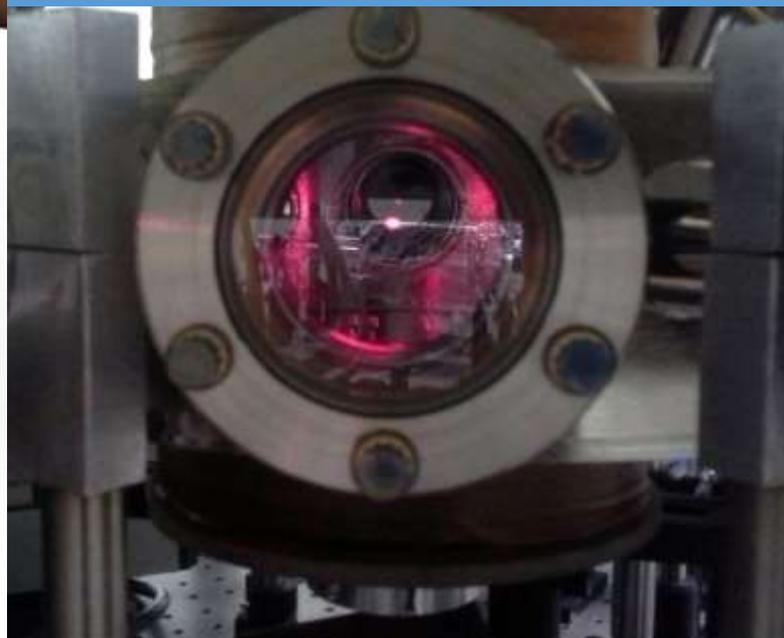


# Магнито-оптическая ловушка

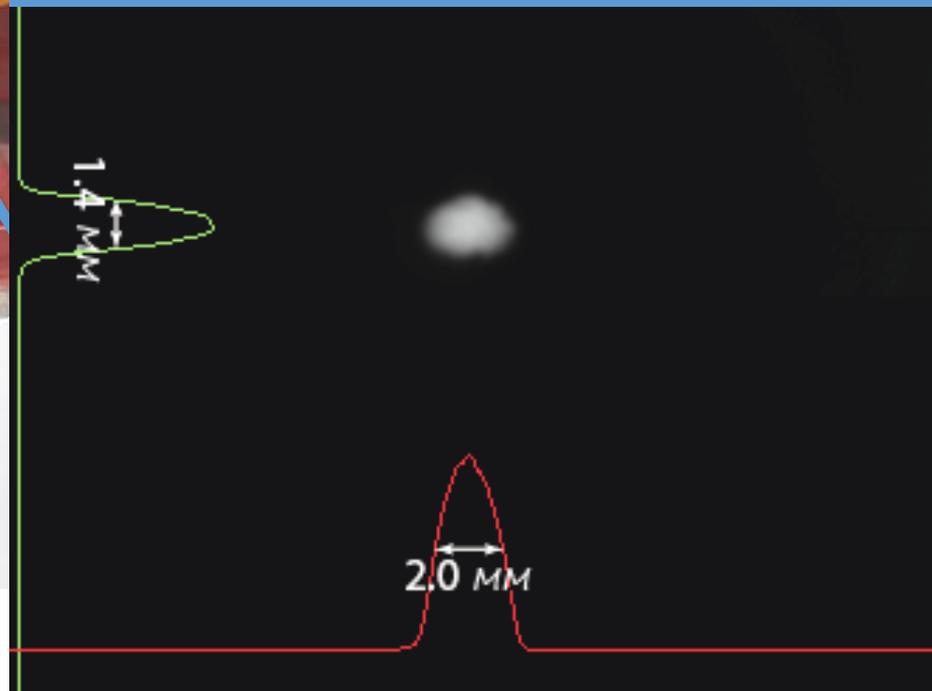
Пучки МОЛ



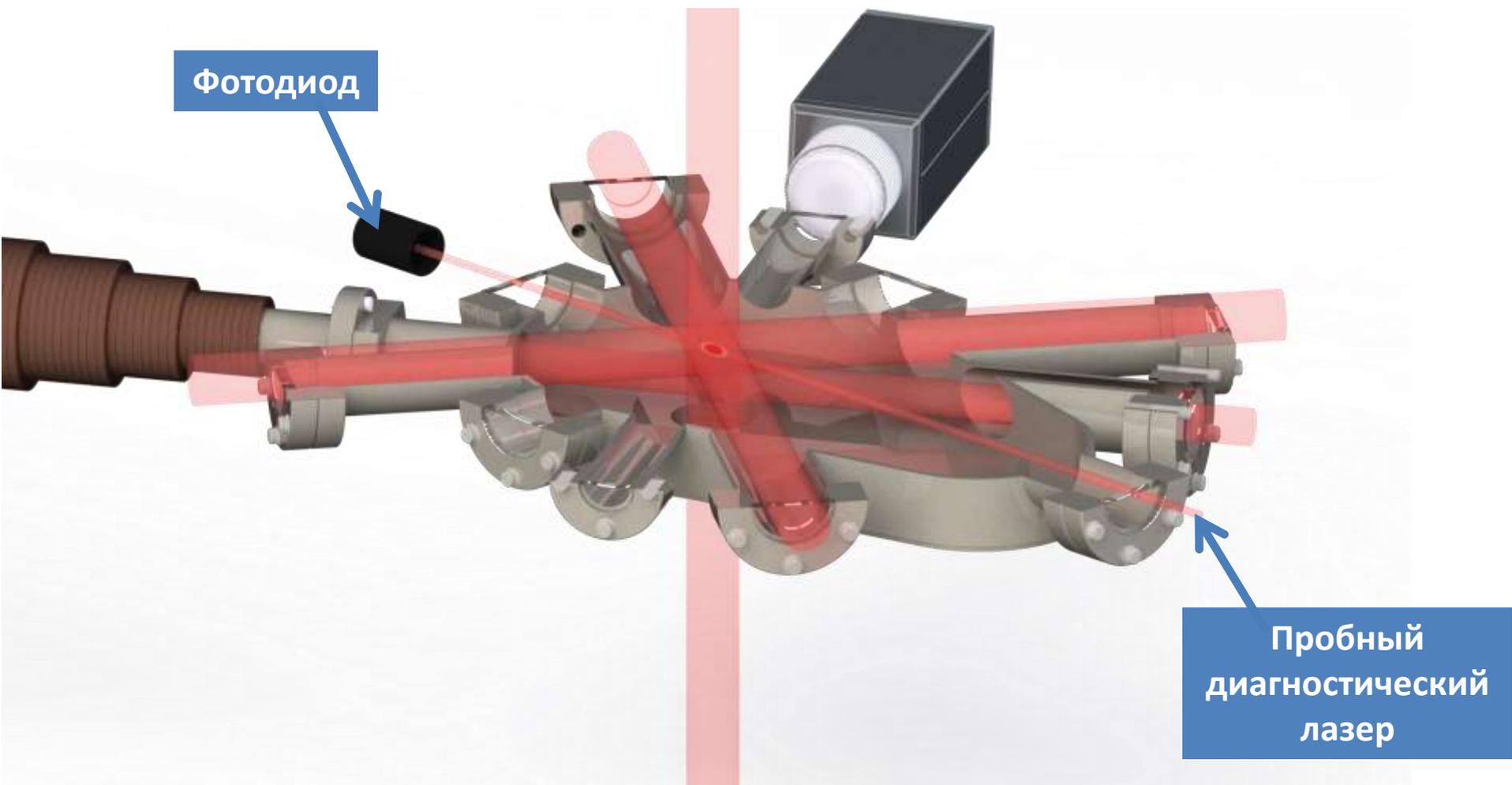
Фотография вакуумной камеры и облака атомов лития-7



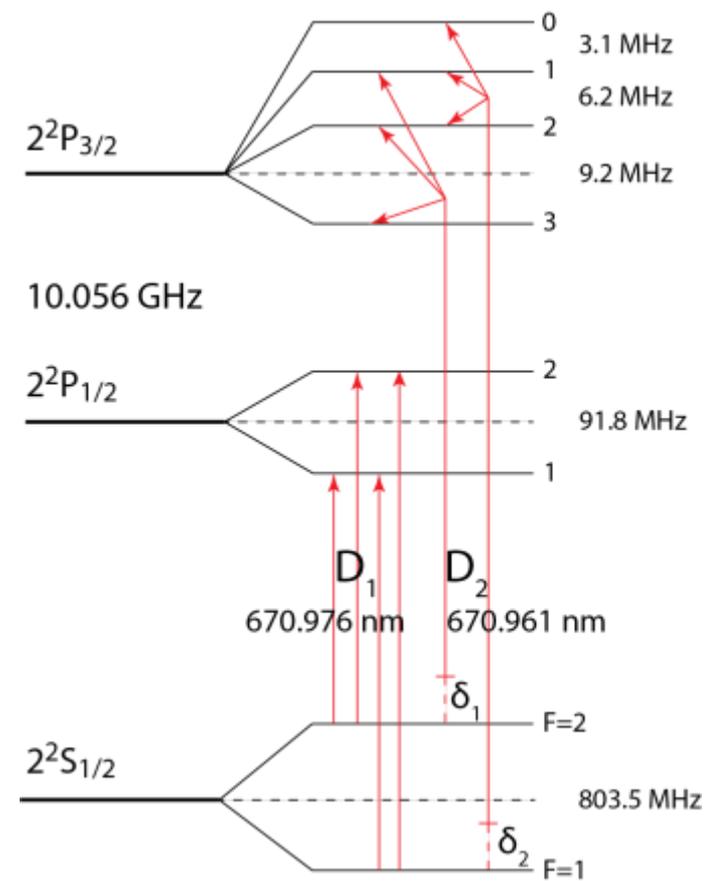
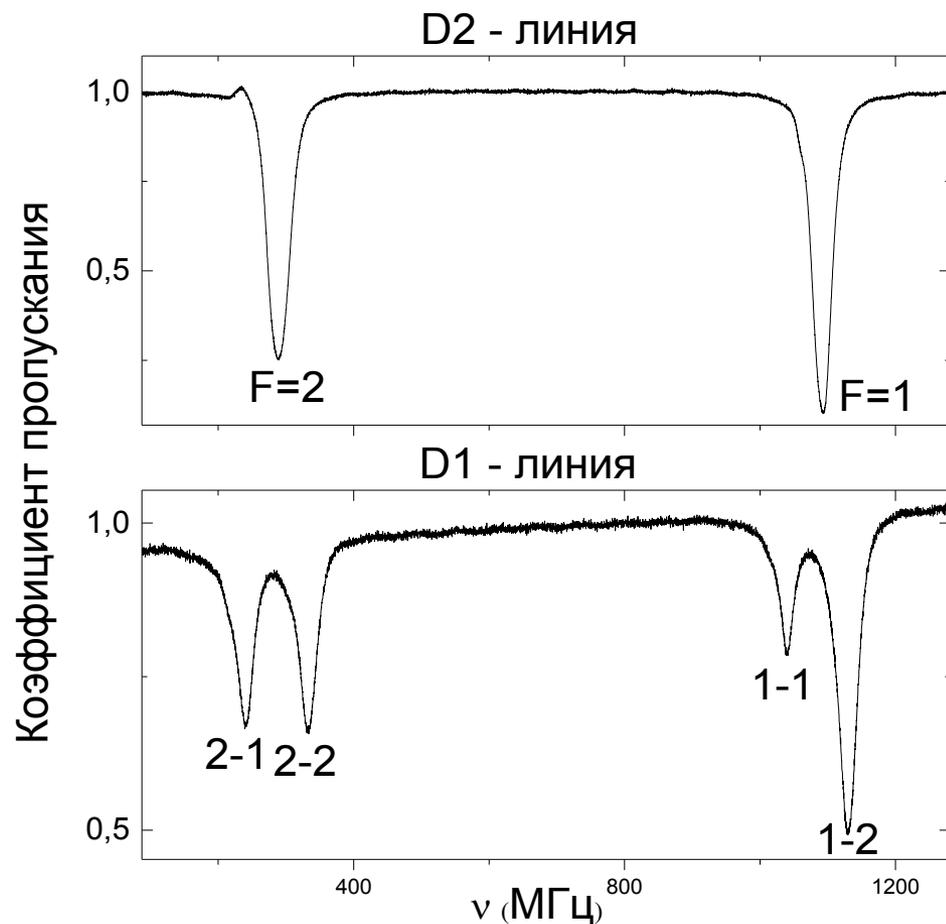
Фотография облака на ПЗС-камеру



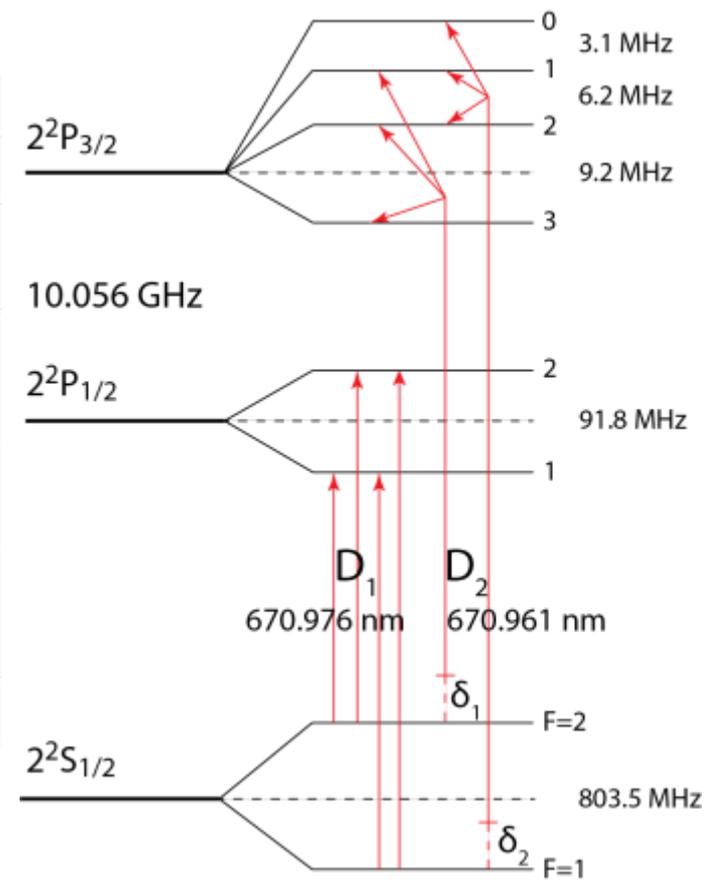
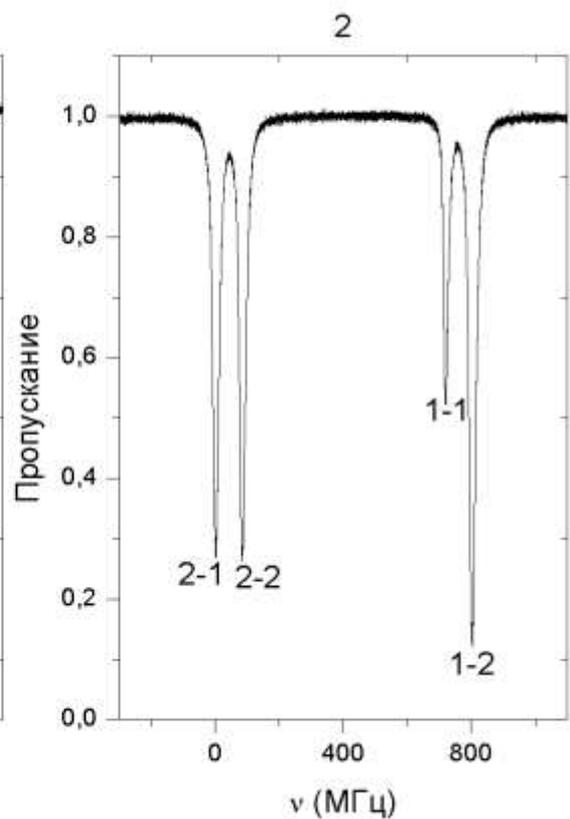
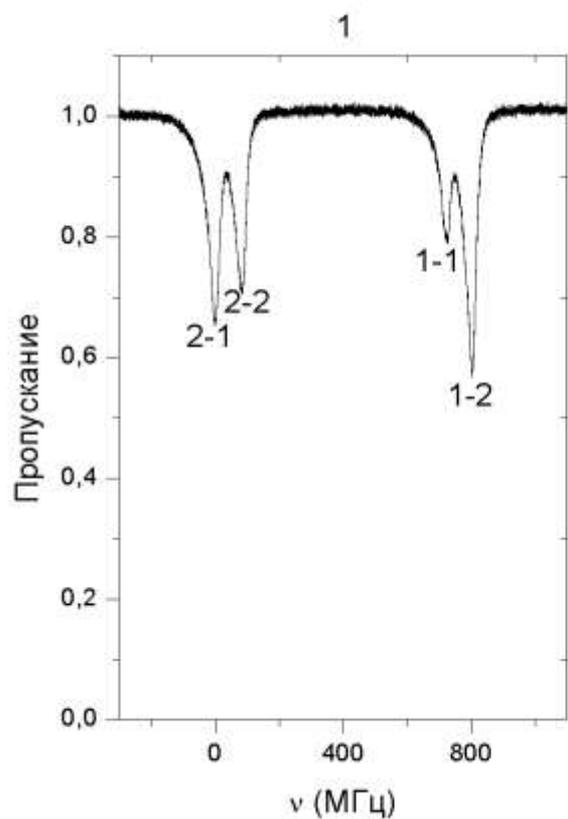
# Концентрация атомов в МОЛ



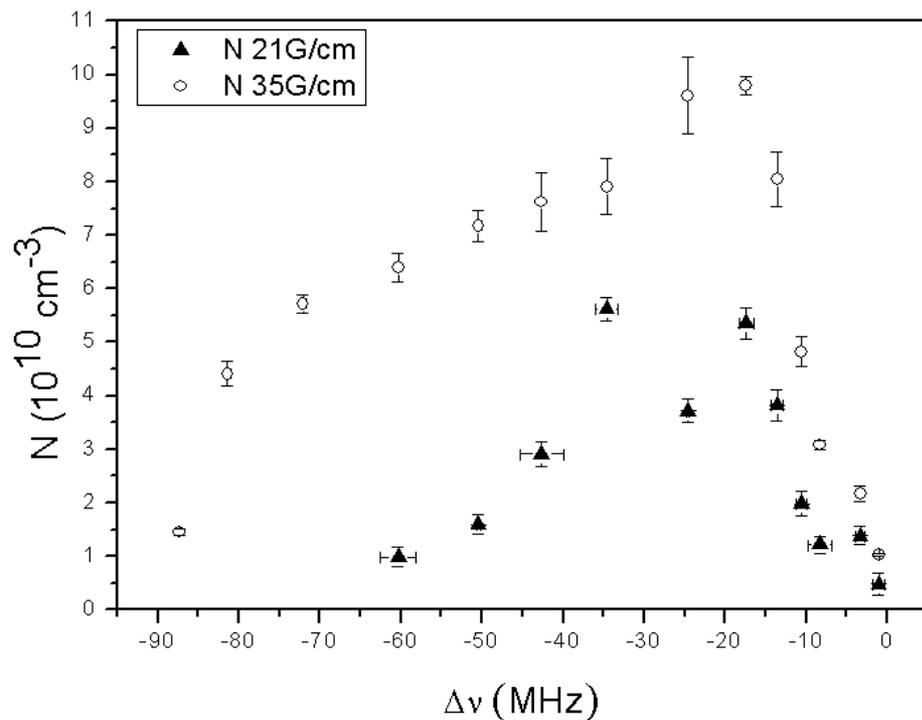
# Концентрация атомов в МОЛ



# Концентрация атомов в МОЛ



# Концентрация атомов в МОЛ

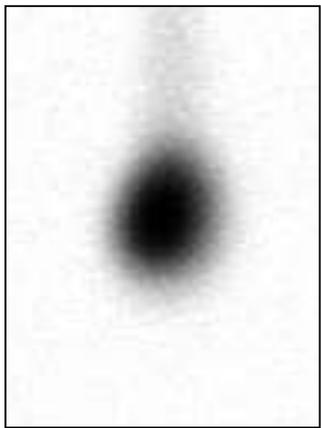


Зависимость суммарной концентрации атомов  $N$  от отстройки для градиентов магнитного поля 21 Гс/см (треугольники) и 35 Гс/см (кружки)

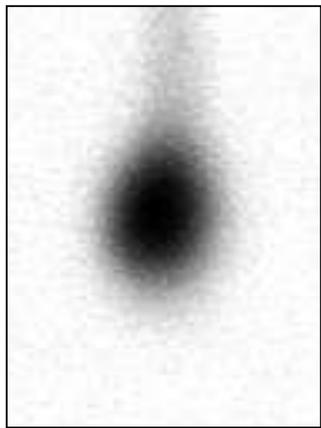
Максимальная  
концентрация  
захваченных атомов:  
 $10^{11} \text{ cm}^{-3}$

Максимальное число  
захваченных атомов:  
 $10^9$

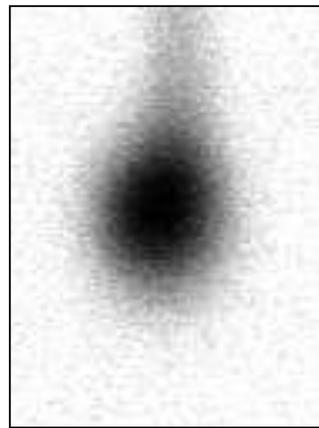
## Измерение температуры



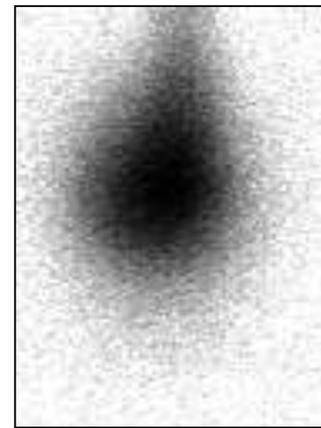
360 мкс



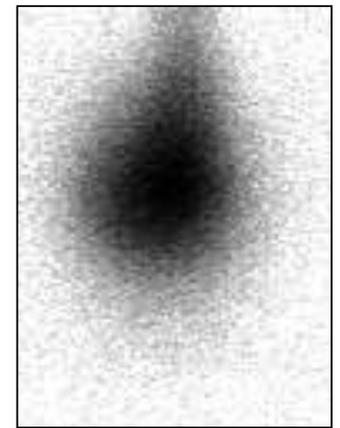
460 мкс



560 мкс



760 мкс

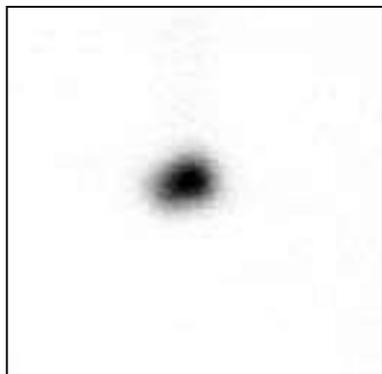


960 мкс

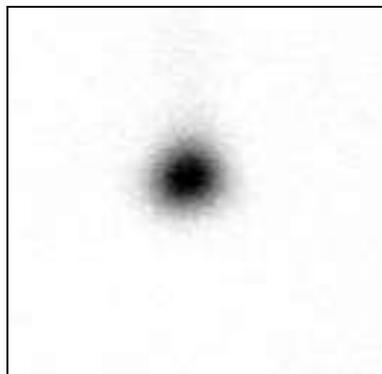
Последовательность фотографий облака после выключения градиента магнитного поля и излучения, формирующего оптическую патку. Под каждым снимком написано время, прошедшее с момента начала баллистического разлета.

Градиент магнитного поля  $35 \text{ Гс/см}$ , а интенсивность пучков формирующих оптическую патку  $12 \times 10^{-3} \text{ Вт/см}^2$ .

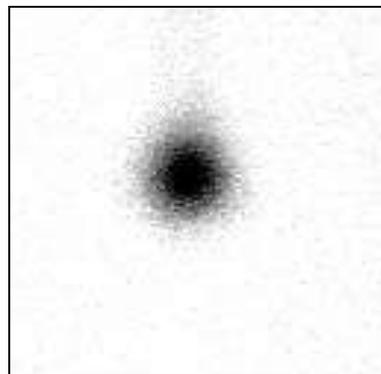
## Измерение температуры



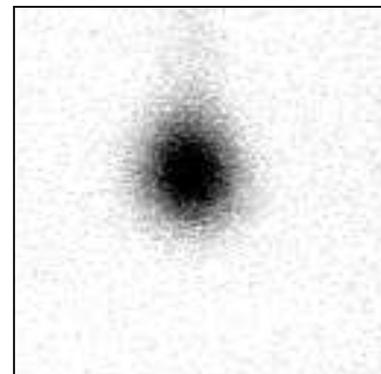
160 мкс



460 мкс



760 мкс

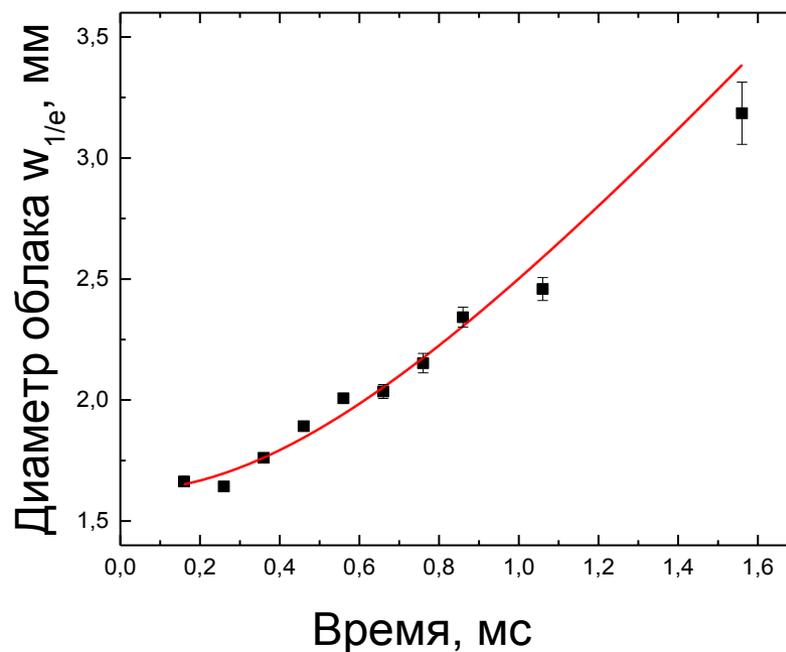
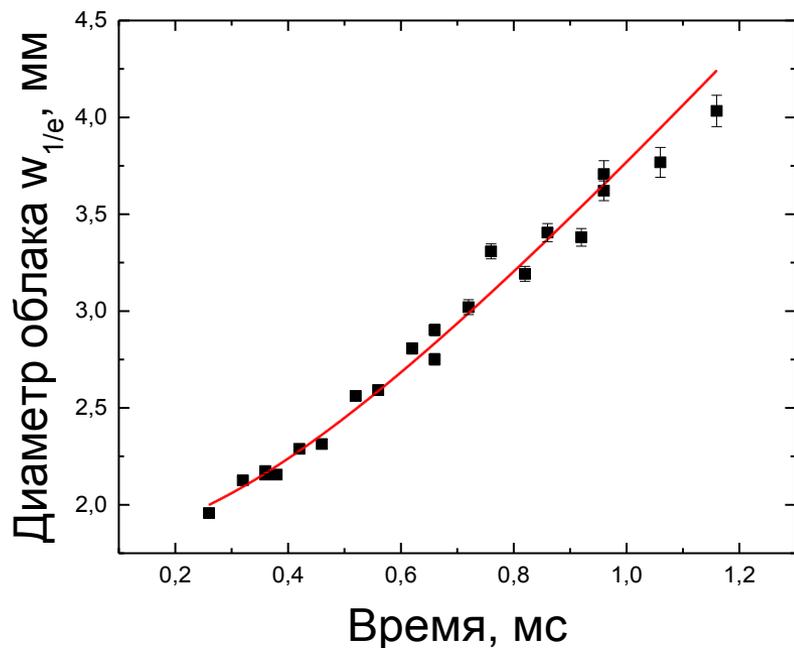


1060 мкс

Последовательность фотографий облака после выключения градиента магнитного поля и излучения, формирующего оптическую паточку. Под каждым снимком написано время, прошедшее с момента начала баллистического разлета.

Градиент магнитного поля 21 Гс/см, а интенсивность пучков формирующих оптическую паточку  $4 \times 10^{-3}$  Вт/см<sup>2</sup>.

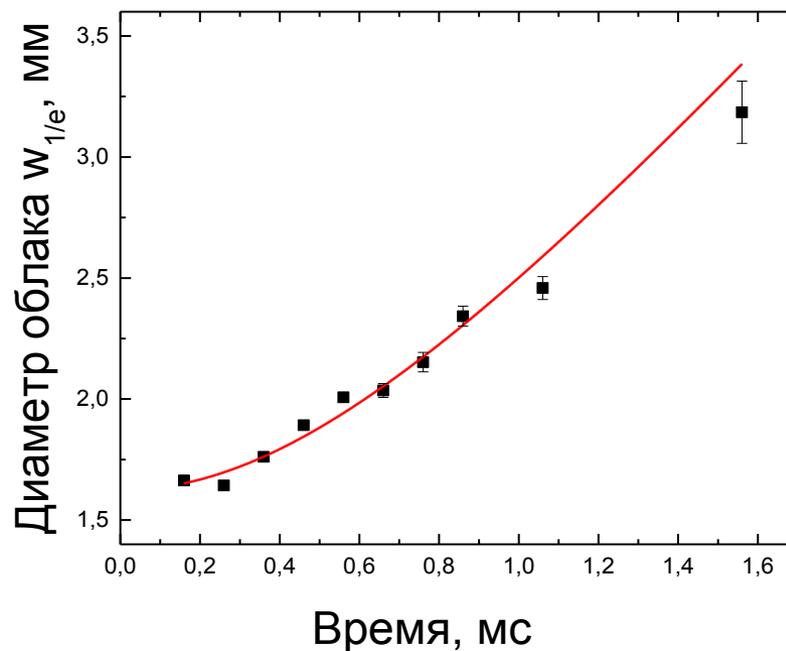
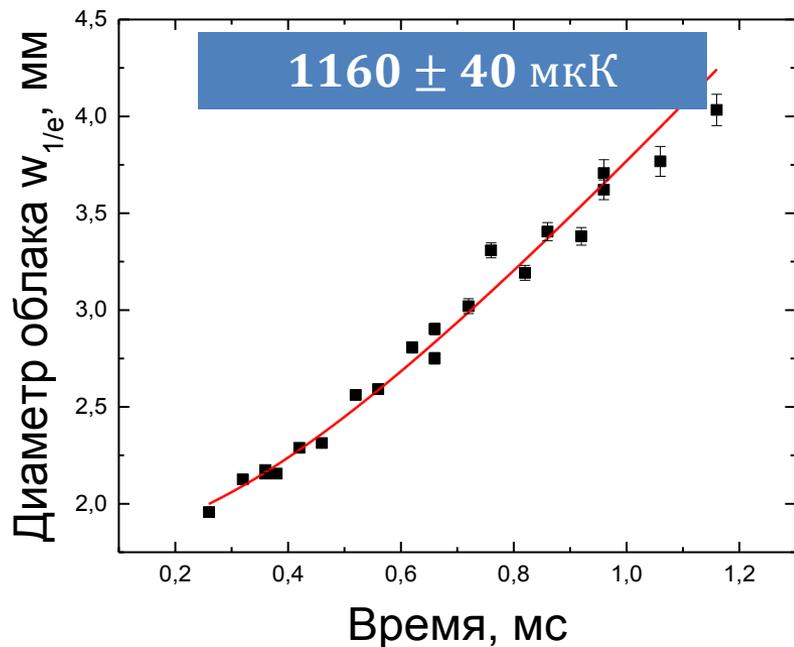
# Измерение температуры



Зависимость горизонтальной ширины профиля интенсивности облака атомов лития-7 от времени, прошедшего с начала баллистического разлета. Точки – экспериментальные данные, сплошная кривая – аппроксимация формулой

$$w_{1/e} = \sqrt{w_0^2 + \frac{8k_B T}{M} t^2},$$

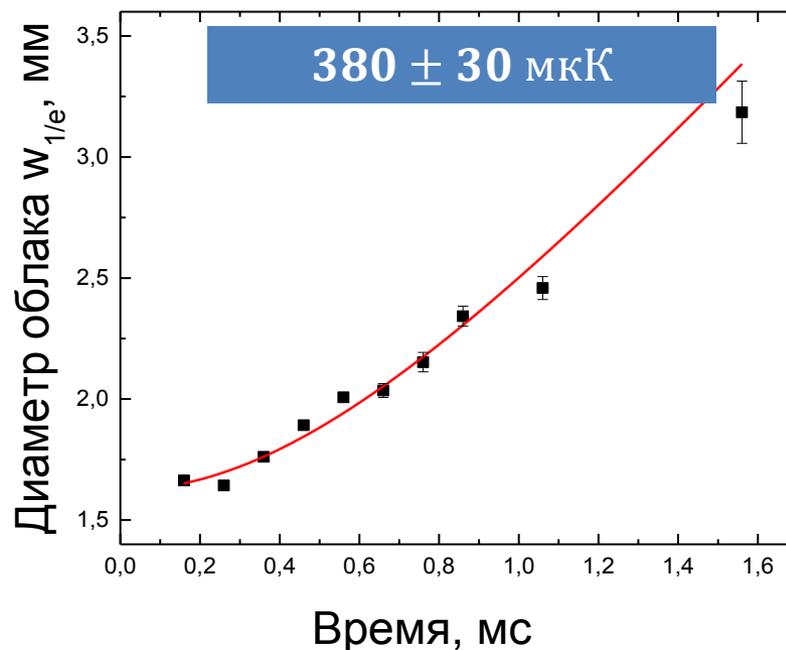
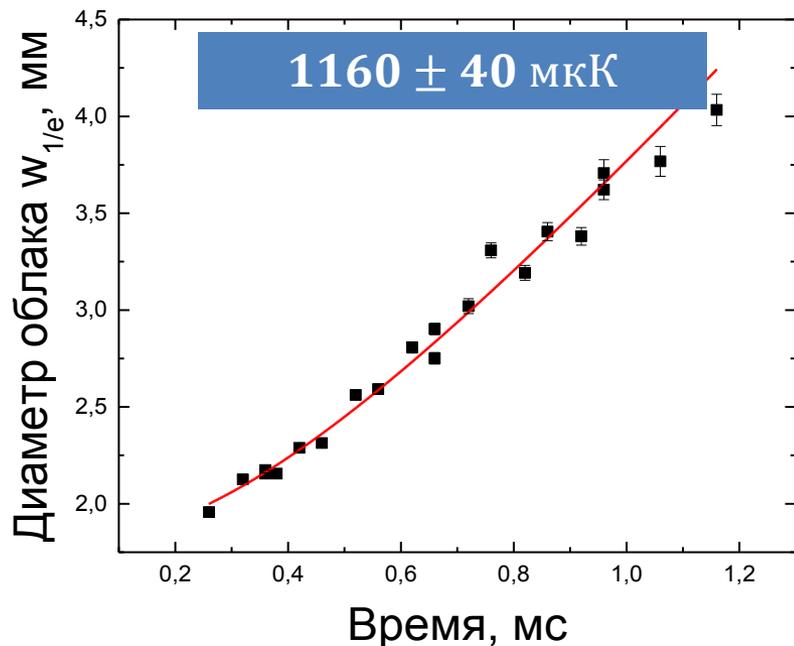
# Измерение температуры



Зависимость горизонтальной ширины профиля интенсивности облака атомов лития-7 от времени, прошедшего с начала баллистического разлета. Точки – экспериментальные данные, сплошная кривая – аппроксимация формулой

$$w_{1/e} = \sqrt{w_0^2 + \frac{8k_B T}{M} t^2},$$

# Измерение температуры газа ультрахолодных атомов лития 7



Зависимость горизонтальной ширины профиля интенсивности облака атомов лития-7 от времени, прошедшего с начала баллистического разлета. Точки – экспериментальные данные, сплошная кривая – аппроксимация формулой

$$w_{1/e} = \sqrt{w_0^2 + \frac{8k_B T}{M} t^2},$$

# Двухфотонное возбуждение ридберговских состояний

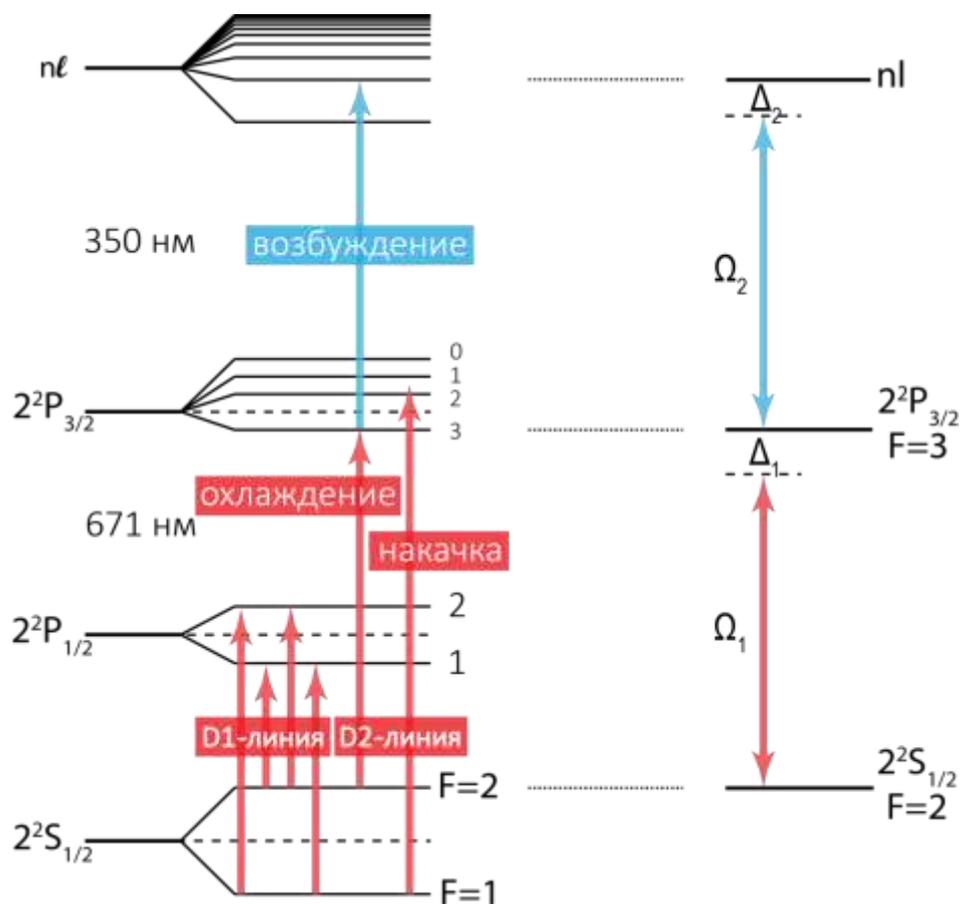
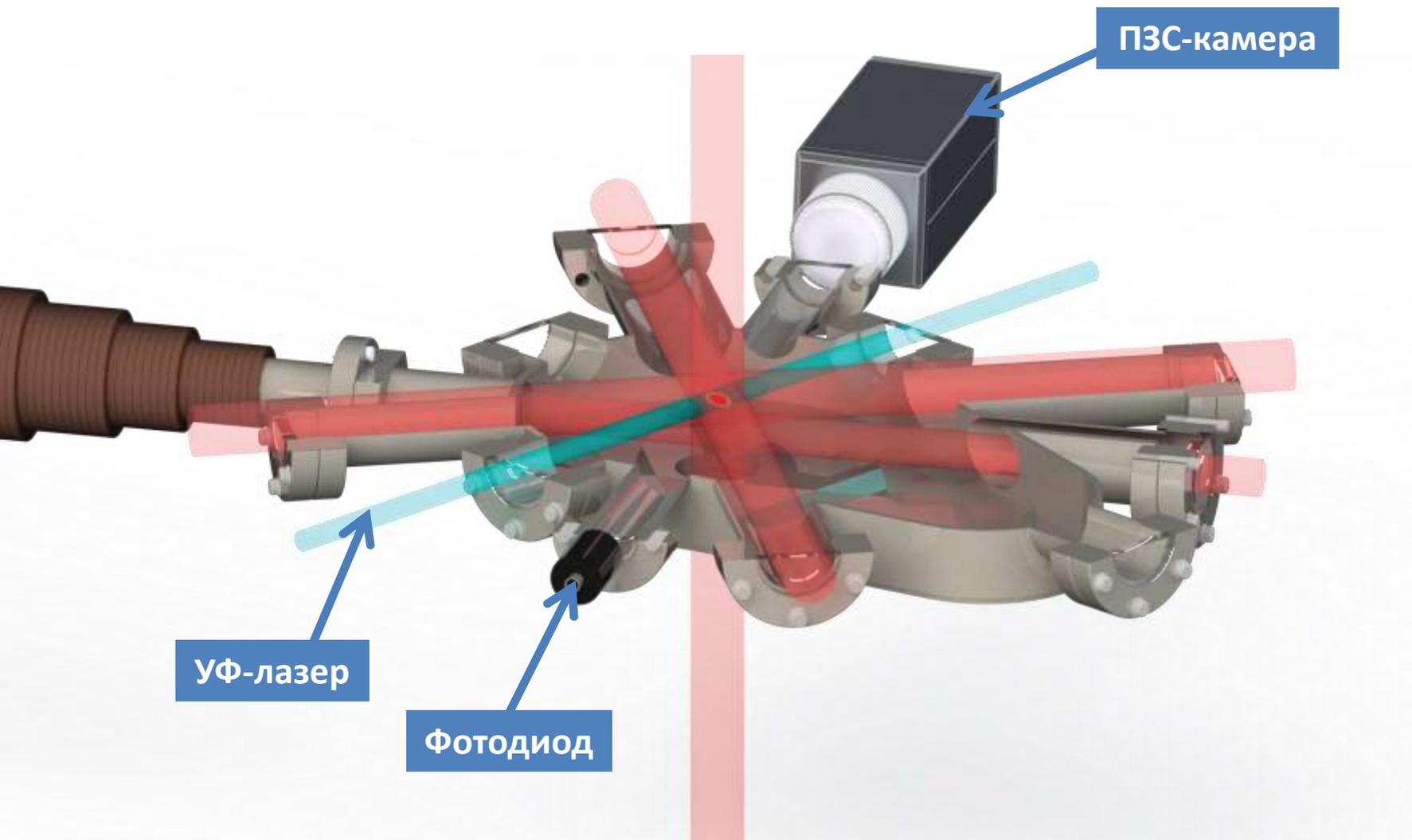
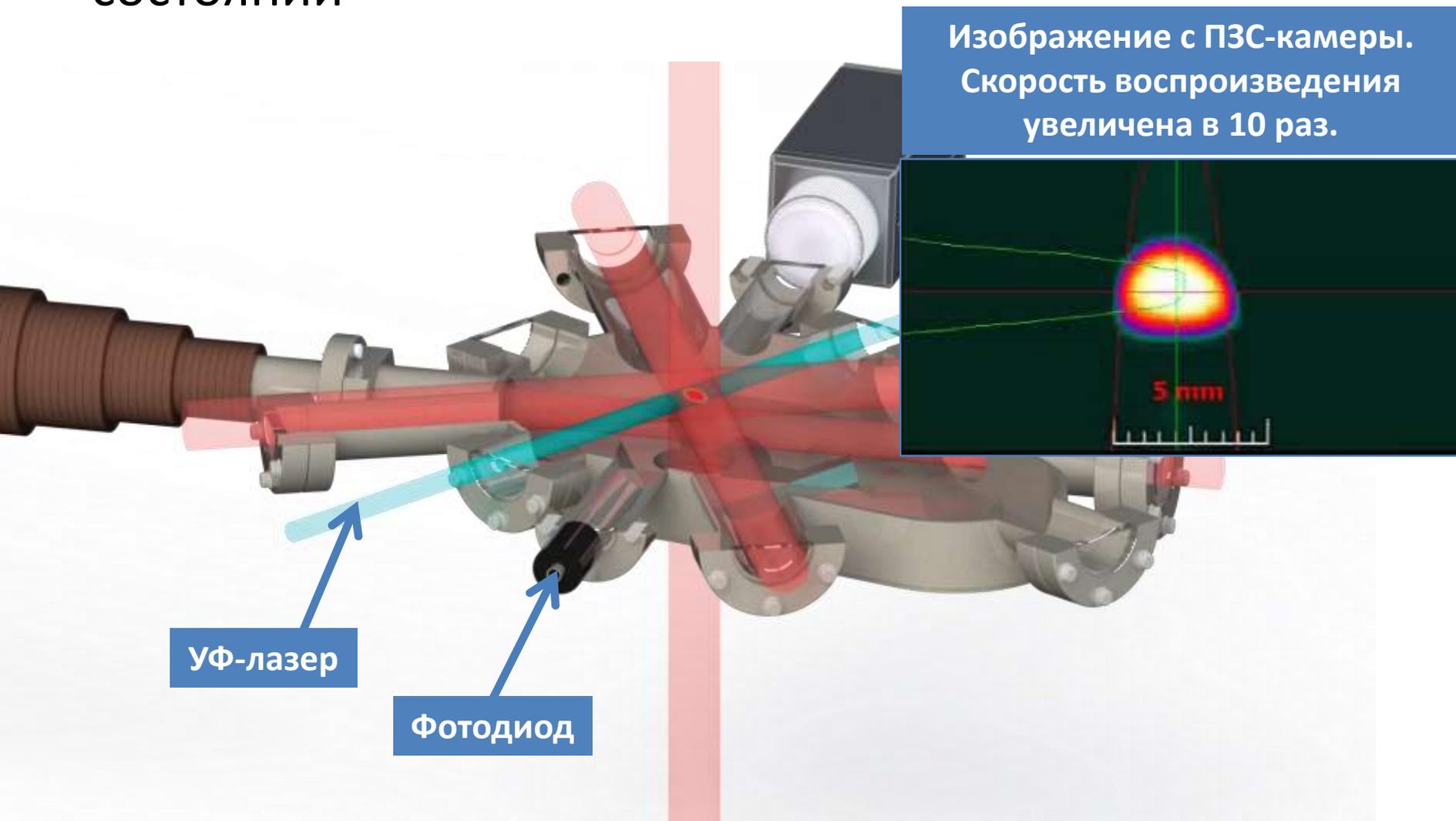


Схема уровней атома лития и эквивалентная трехуровневая схема возбуждения в ридберговские состояния.

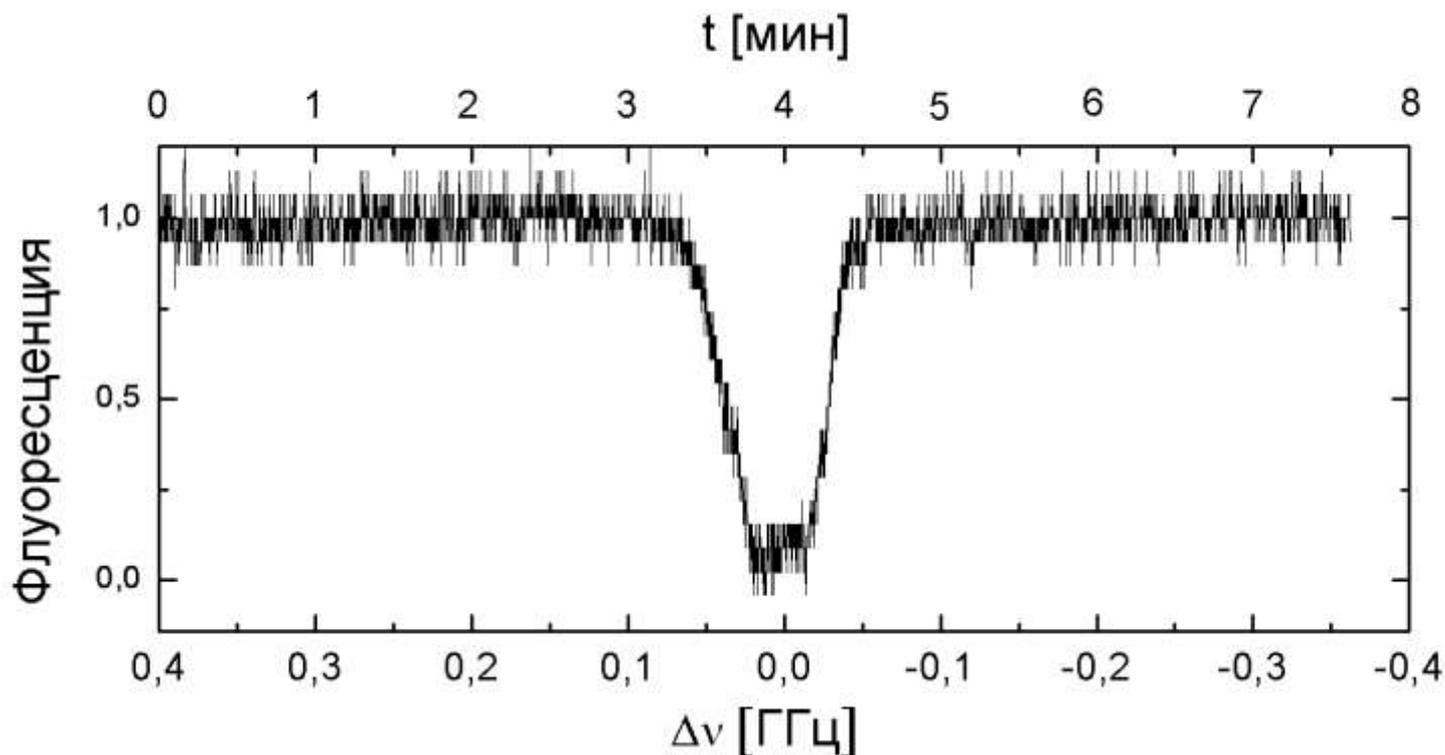
# Двухфотонное возбуждение ридберговских состояний



# Двухфотонное возбуждение ридберговских состояний

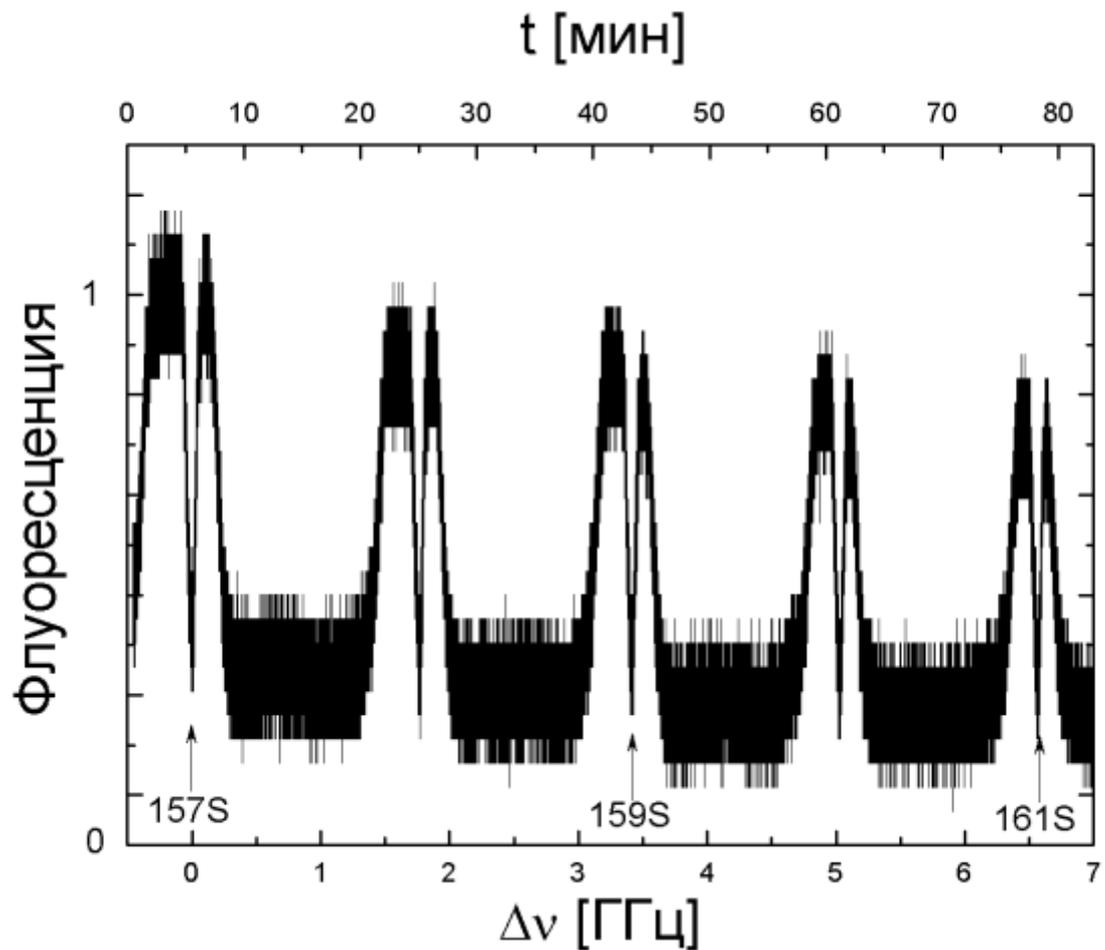


# Ридберговские переходы в nS-состояния



Сигнал флуоресценции в зависимости от перестройки частоты УФ-излучения для уровня 114S

# Ридберговские переходы в nS-состояния



Сигнал флуоресценции в зависимости от перестройки частоты УФ-излучения для уровней 157-161S и D

# Когерентные и некогерентные компоненты

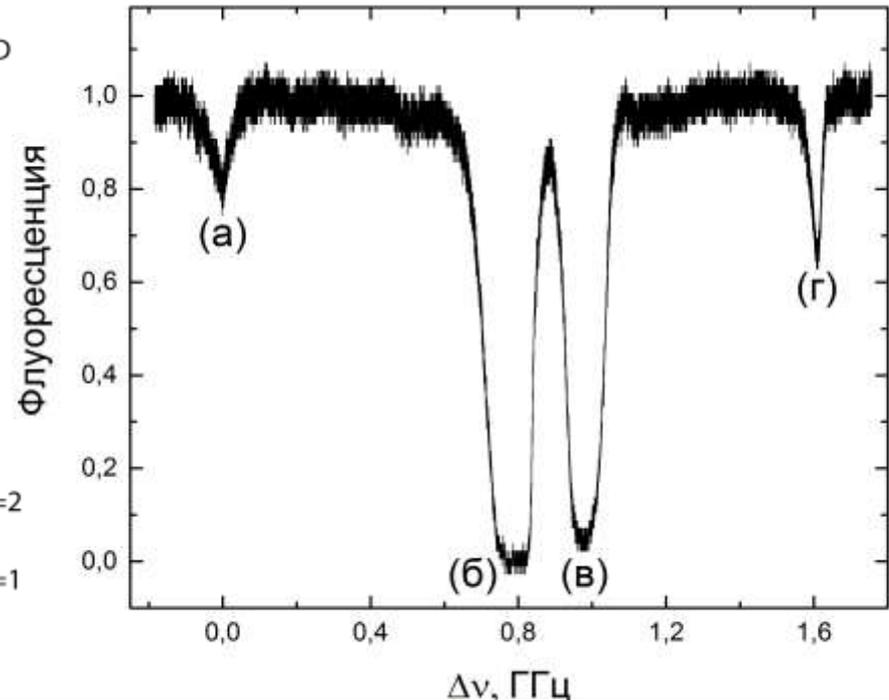
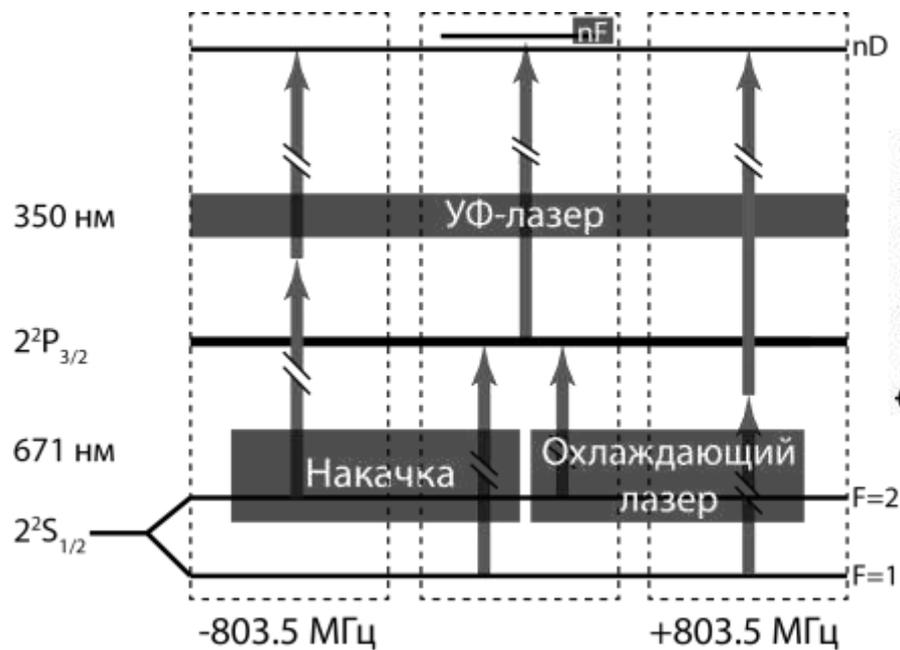
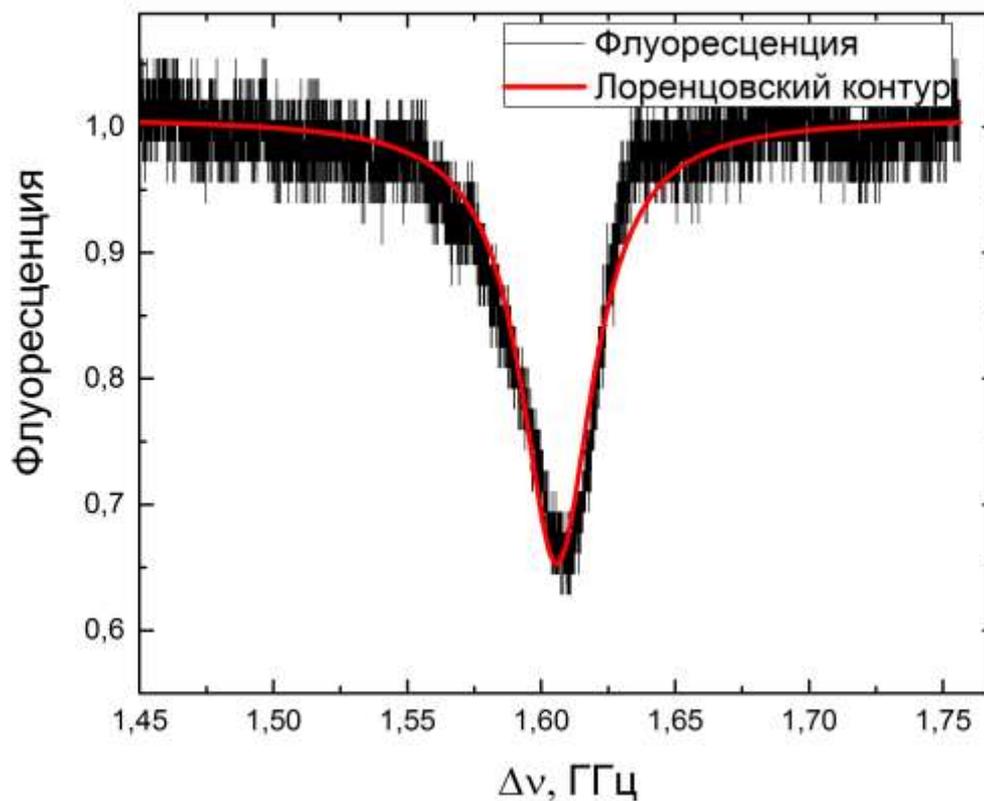


Схема уровней атомов лития 7

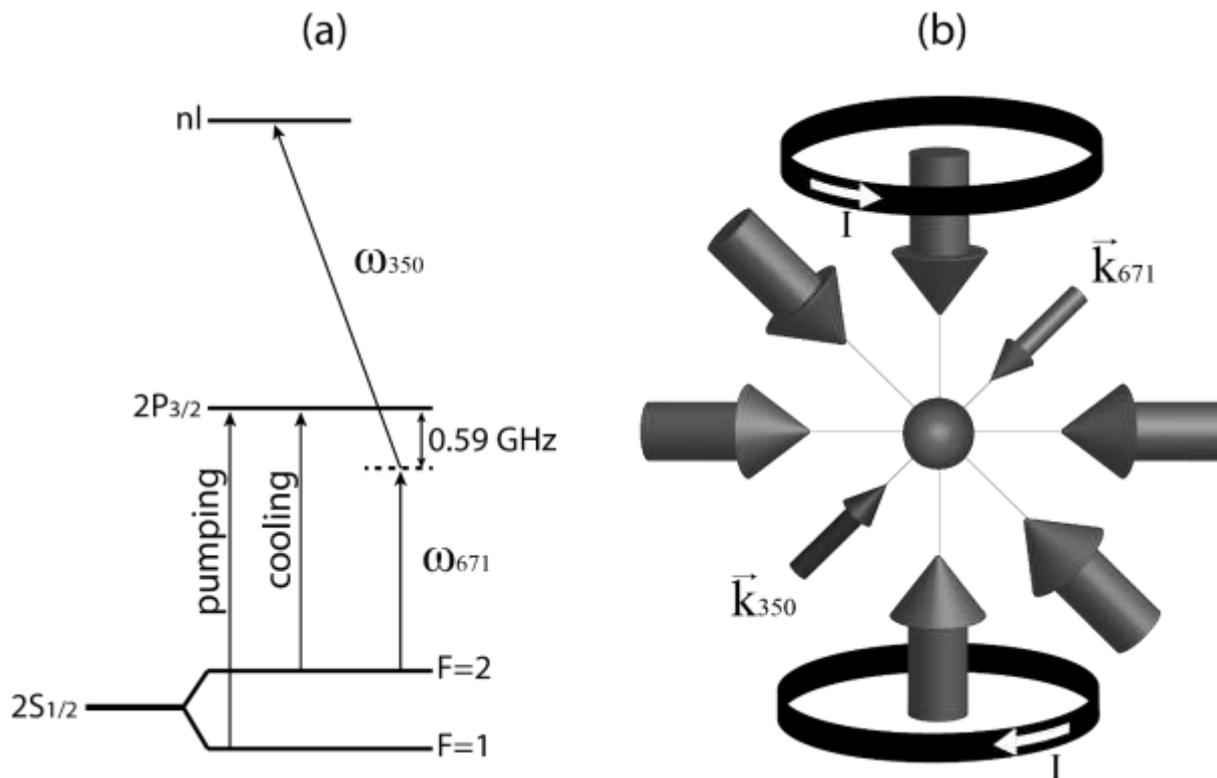
Осциллограмма изменения сигнала с фотодиода. а) Когерентный резонанс 38D (УФ лазер + Лазер оптической накачки); б) Некогерентный резонанс 38D; в) Некогерентный резонанс 38F; г) Когерентный резонанс 38D (УФ лазер + Охлаждающий лазер).

# Когерентный резонанс 38D

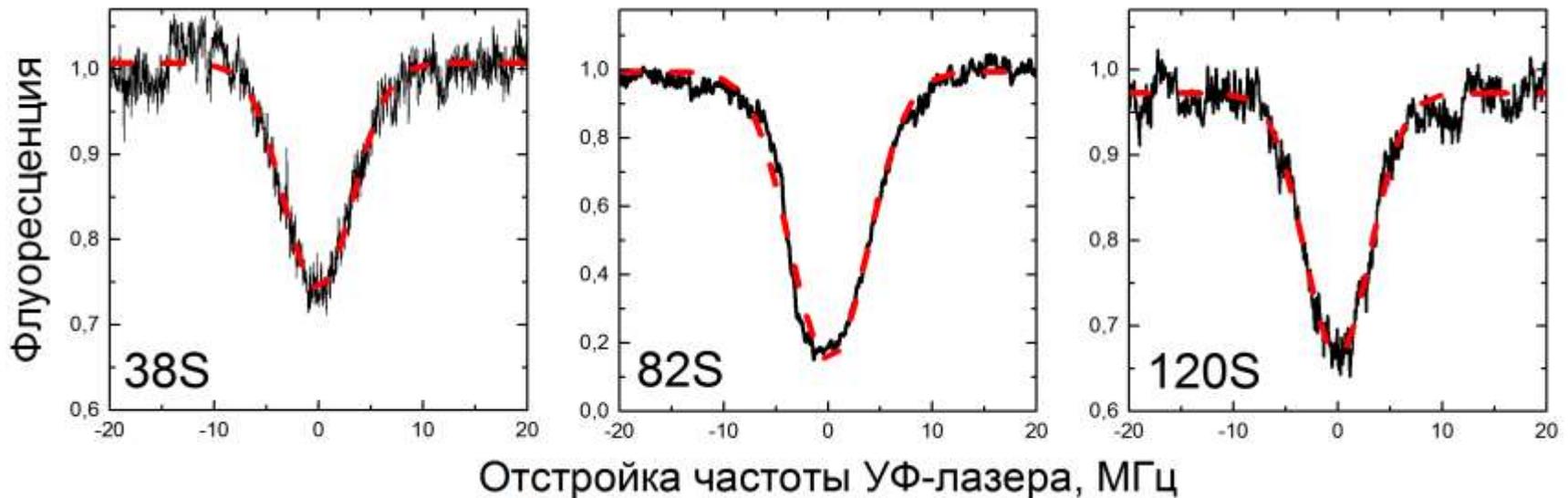


Когерентный резонанс 38D (УФ лазер + Охлаждающий лазер). Ширина  $33 \pm 0,3$  МГц.

# Когерентное возбуждение



# Когерентные переходы nS



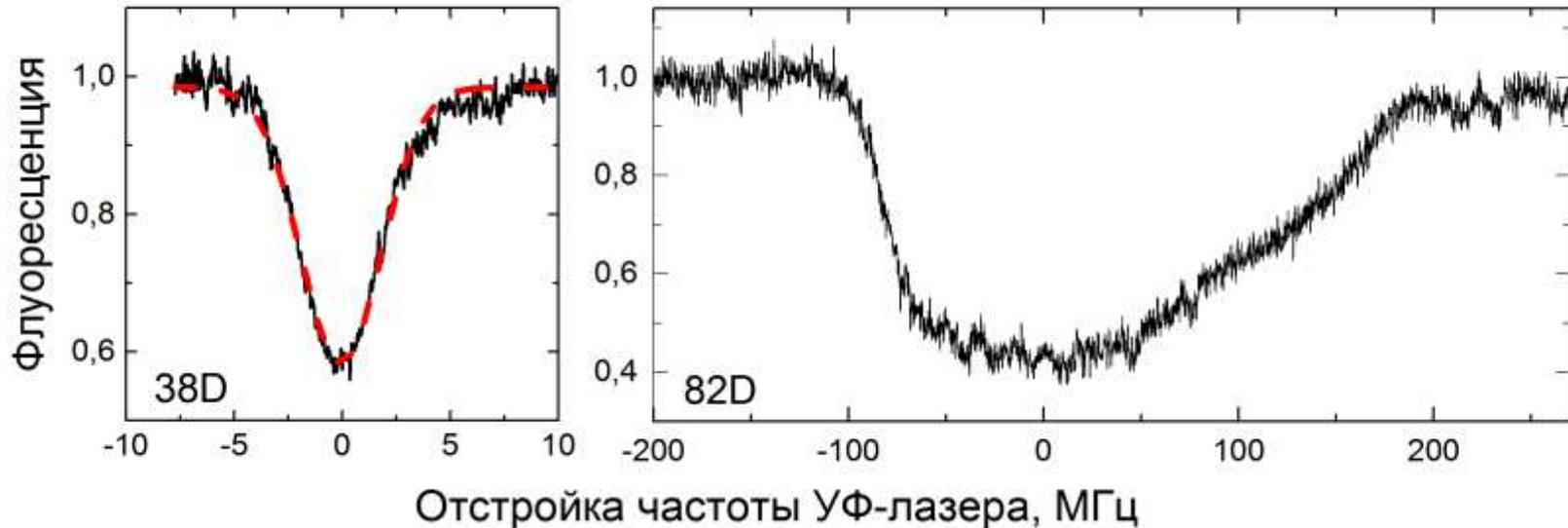
Различные узкие резонансы в nS конфигурации, интенсивность МОЛ  $50.4 \text{ мВт/см}^2$ , температура около 1 мК.

**38S** – поле 0.7 Гс,  $I_{\text{uv}} = 196 \text{ мВт/см}^2$ ,  $I_{\text{red}} = 2.5 \text{ мВт/см}^2$ , ширина  $\delta = 7.8 \text{ МГц}$ ;

**82S** – поле 0.7 Гс,  $I_{\text{uv}} = 147 \text{ мВт/см}^2$ ,  $I_{\text{red}} = 28 \text{ мВт/см}^2$ , ширина  $\delta = 8.8 \text{ МГц}$ ;

**120S** – поле 2 Гс,  $I_{\text{uv}} = 176 \text{ мВт/см}^2$ ,  $I_{\text{red}} = 36 \text{ мВт/см}^2$ , ширина  $\delta = 7.4 \text{ МГц}$ .

# Когерентные переходы nD

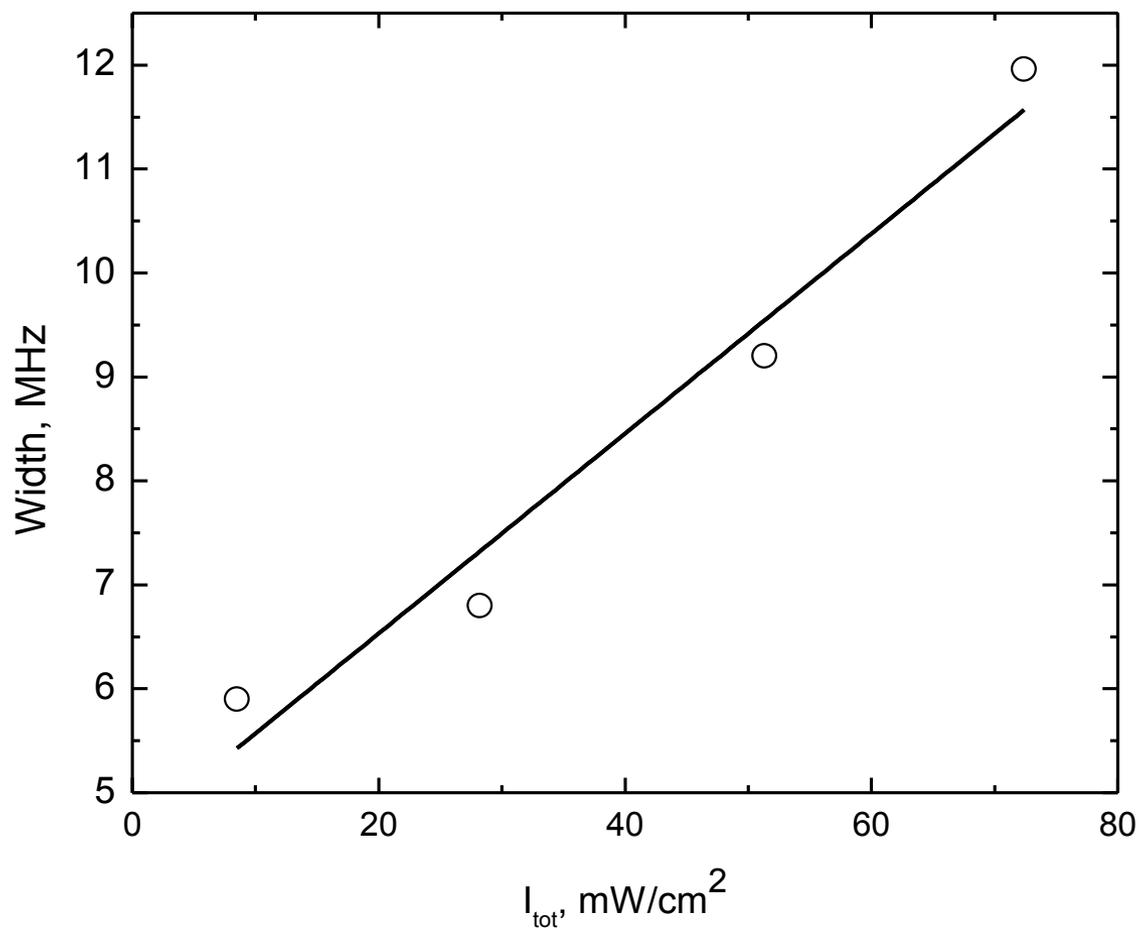


Резонансы в nD конфигурации, пунктирная линия - контур Гаусса.

**38D** – интенсивность МОЛ  $12,6 \text{ мВт/см}^2$ , поле  $0,6 \text{ Гс}$ ,  $I_{\text{uv}} = 116 \text{ мВт/см}^2$ ,  $I_{\text{red}} = 2,54 \text{ мВт/см}^2$ ,  
ширина  $\delta = 4,4 \text{ МГц}$ ;

**82D** – интенсивность МОЛ  $50,4 \text{ мВт/см}^2$ , поле  $0,7 \text{ Гс}$ ,  $I_{\text{uv}} = 119 \text{ мВт/см}^2$ ,  $I_{\text{red}} = 28 \text{ мВт/см}^2$ ,  
ширина  $\delta = 212 \text{ МГц}$ .

# Зависимость ширины 38D от мощности пучков МОЛ



# Зависимость температуры от мощности пучков МОЛ

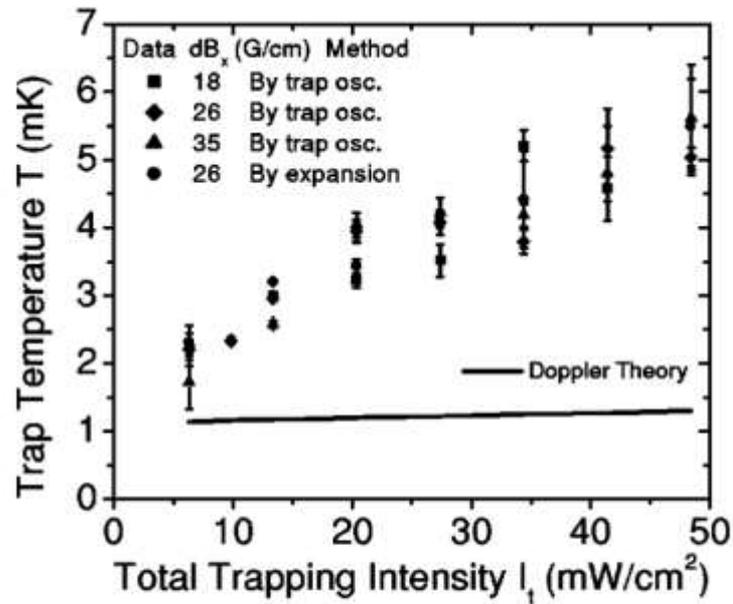


FIG. 4. Dependence of the trap temperature on the trapping beam intensity as determined from the measured  $\kappa$  values. The theoretical prediction is shown as a solid line. The trap temperature, determined from the expansion measurement for  $\delta = -40$  MHz and  $\partial B/\partial x = 26$  G/cm, is shown as filled circles.

Doppler broadening

$$\Delta\nu_D = (\omega_{350} - \omega_{871})(\pi c)^{-1} (2kT \ln 2/m)^{1/2}$$

Уширение при температуре облака 380 мК составляет 2.5 МГц, при температуре 1 мК уширение составляет около 4 МГц.

Основные вклады в минимально полученную ширину 4.4 МГц вносит температура атомов 2.5 МГц и интенсивность охлаждающих пучков МОЛ 1.4 МГц, магнитное поле дает вклад до 0.6 МГц.

Xinye Xu, Thomas H. Loftus, Matthew J. Smith,  
John L. Hall, Alan Gallagher, and Jun Ye  
Phys. Rev. A 66, 011401(R) (2002)



Благодарю за внимание

Оптическая регистрация энергетических спектров ридберговских состояний

атомов лития в МОЛ

Саакян Сергей Арамович

«Физика ультрахолодных атомов»

2016