

XXXVI International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter  
2021

Диагностика разреженной ультрахолодной  
плазмы на основе эффекта автоионизации  
ридберговских состояний атомов  $^{40}\text{Ca}$

Вильшанская Евгения Владимировна

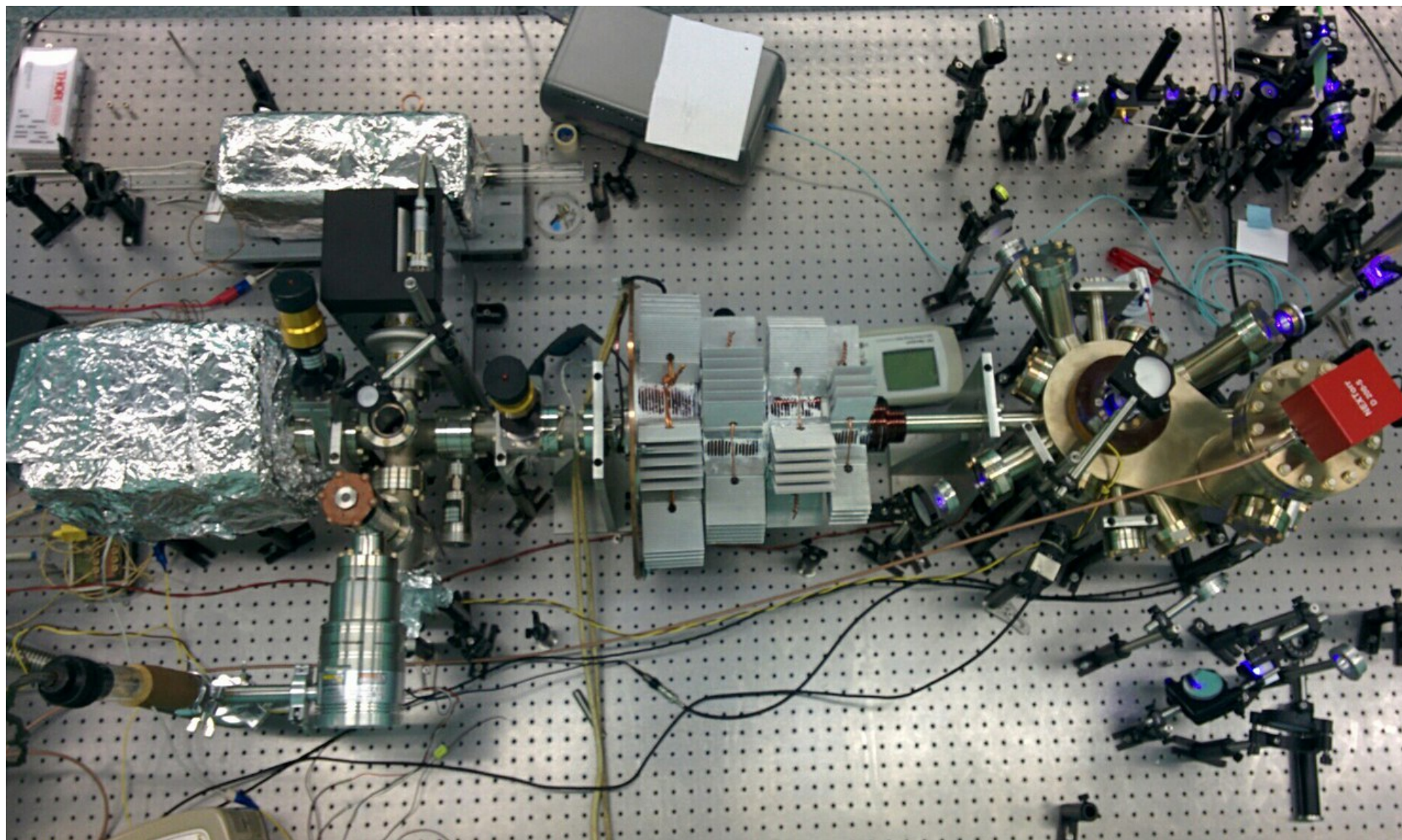
Саакян С.А., Саутенков В.А., Бобров А.А., Галстян К.П., Зеленер Б.Б.

*Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)*

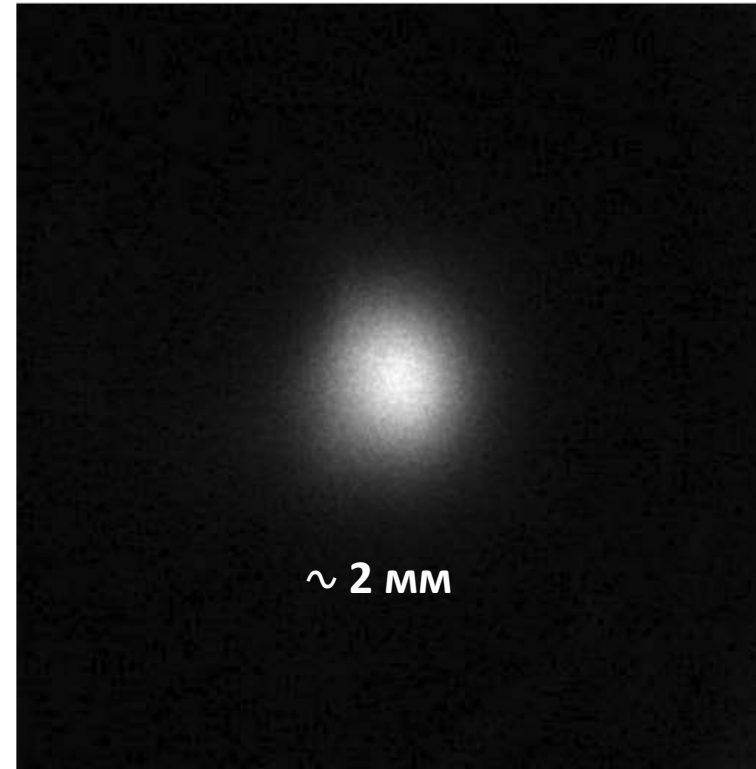
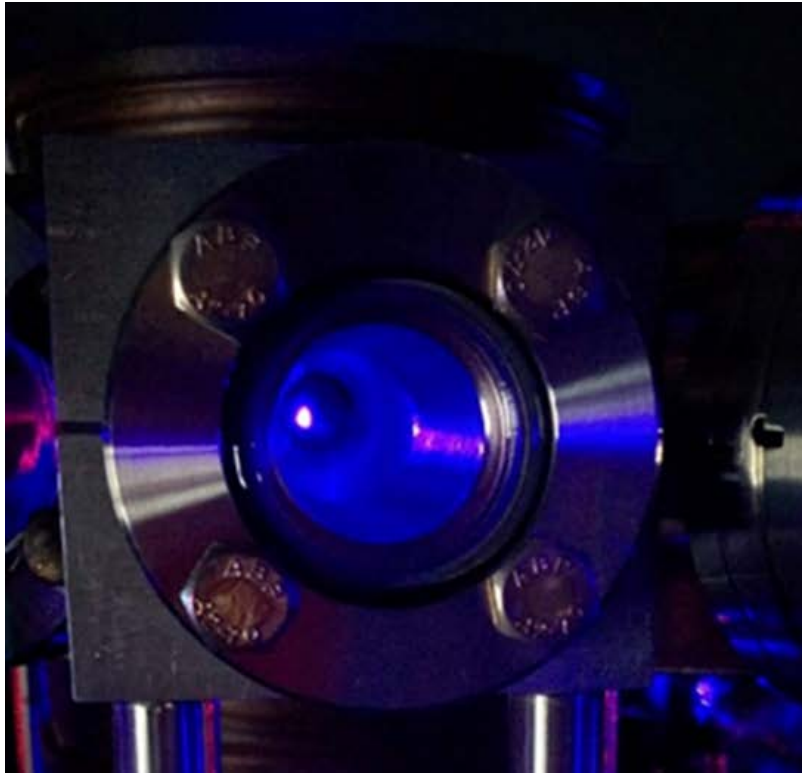
# Структура доклада

- Установка по лазерному охлаждению атомов кальция
- Влияние полей, создаваемых плазмой кальция, на ридберговские переходы в нейтральных атомах
- Исследование резонанса когерентного пленения населенностей (EIT) флуоресценции ионов
- Схема вторичного охлаждения атомов кальция для дальнейшего создания дипольной ловушки для атомов кальция

# Установка по лазерному охлаждению атомов $^{40}\text{Ca}$



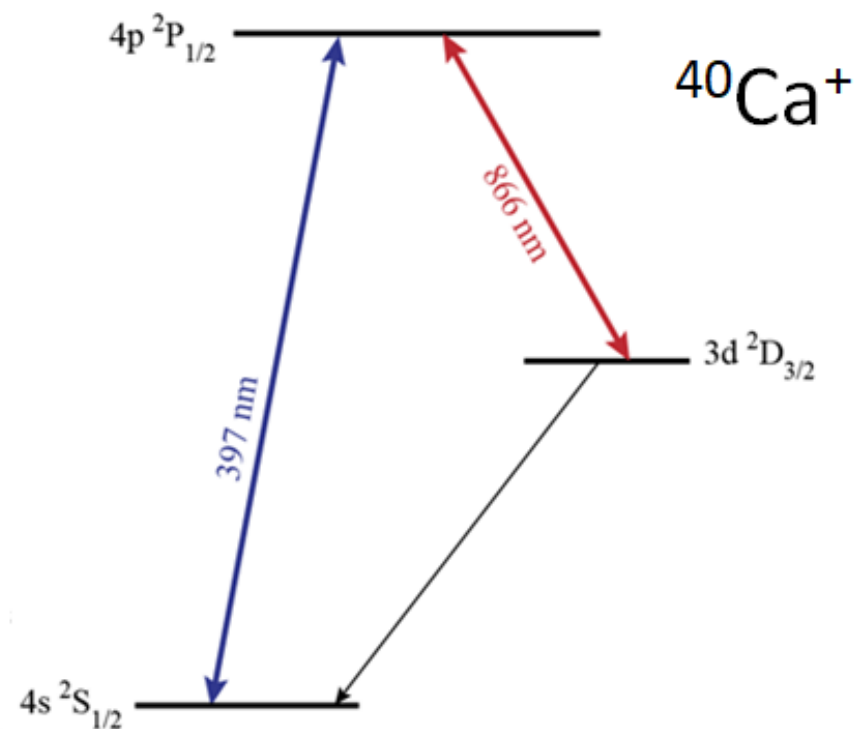
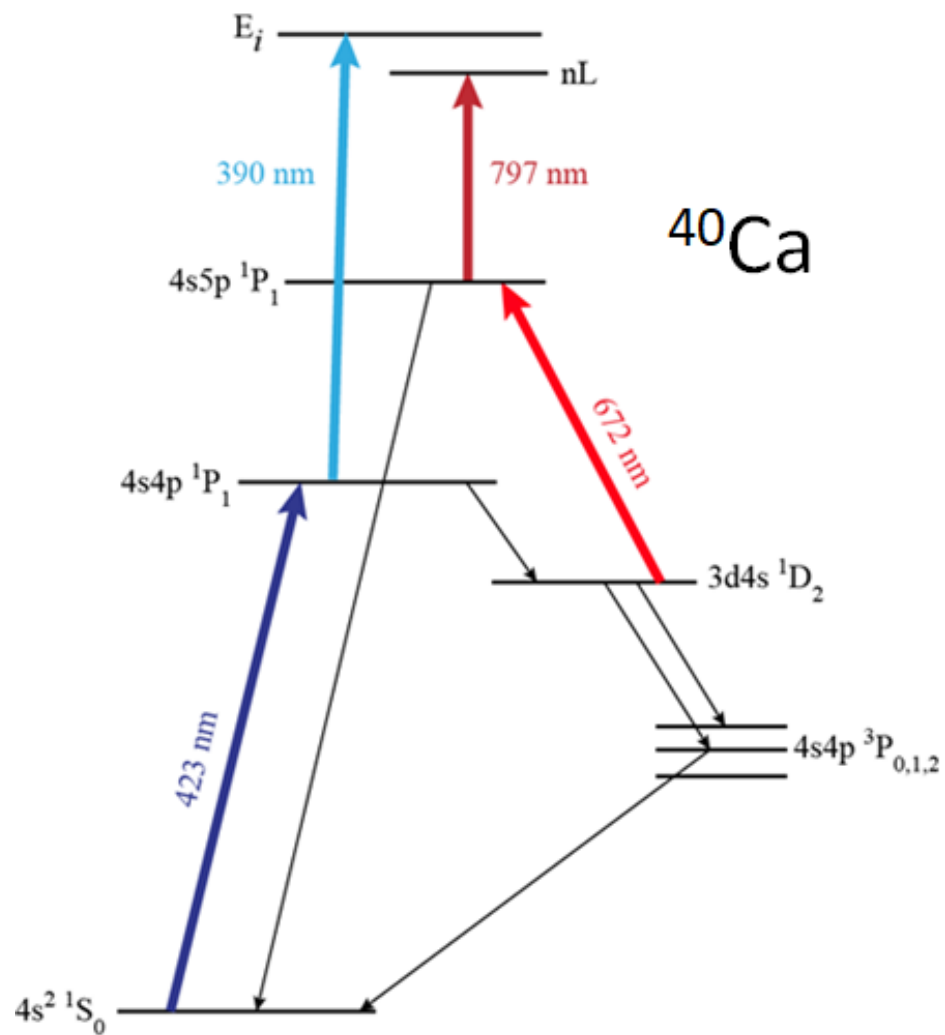
# Облако ультрахолодных атомов $^{40}\text{Ca}$



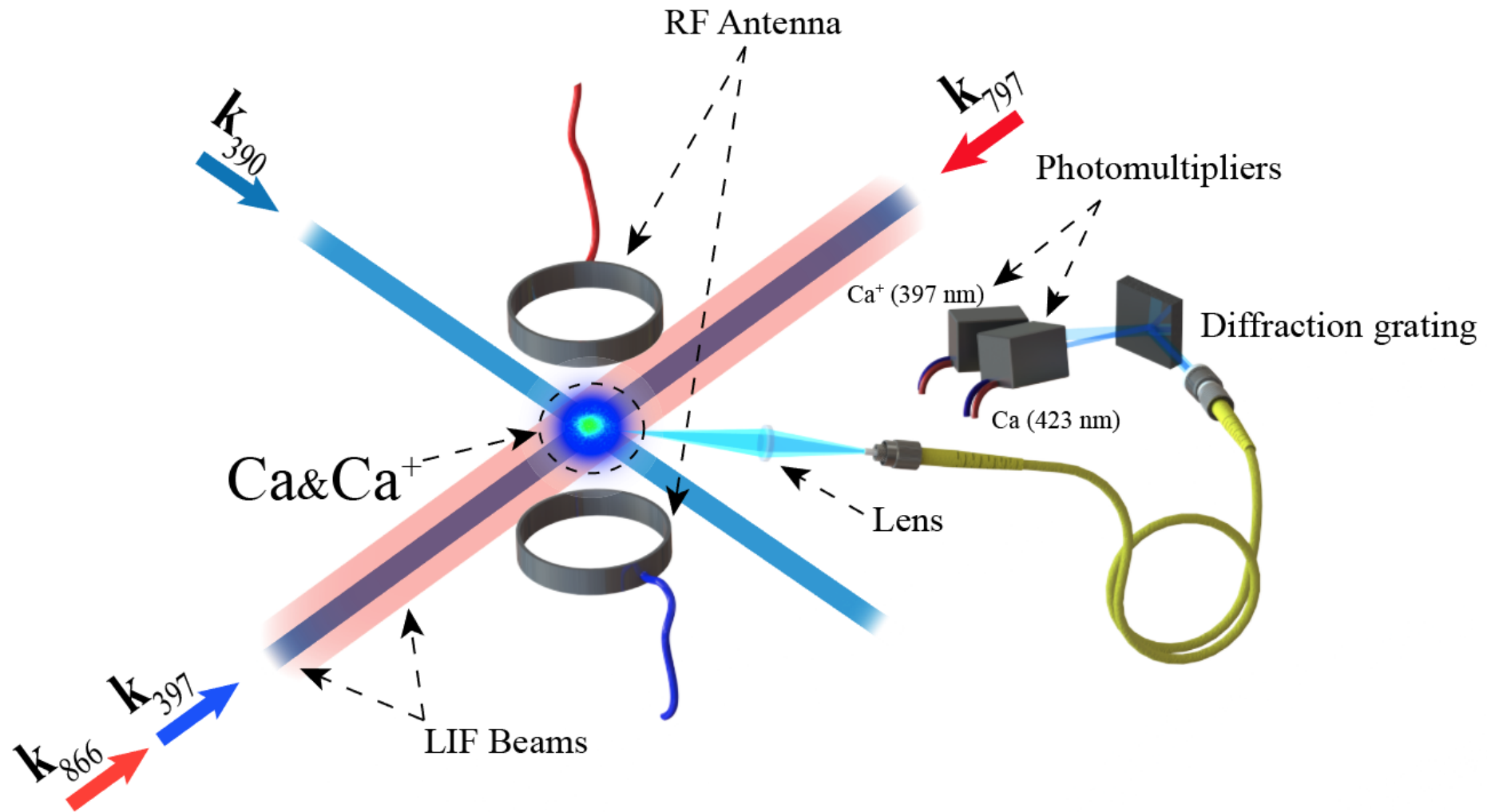
Максимальная концентрация захваченных атомов в МОЛ:  $10^9 \text{ см}^{-3}$

Максимальное число атомов в МОЛ:  $10^7$  атомов

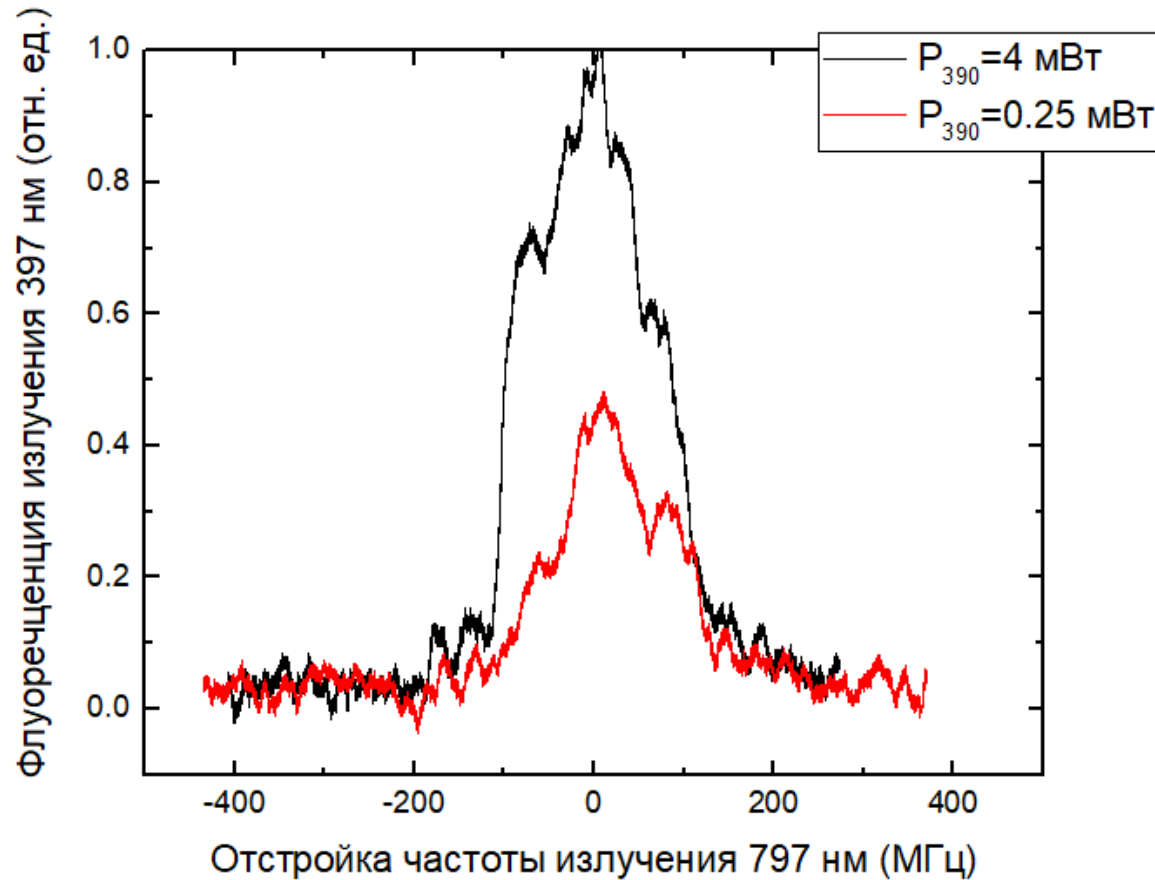
# Схема энергетических уровней атома и иона кальция



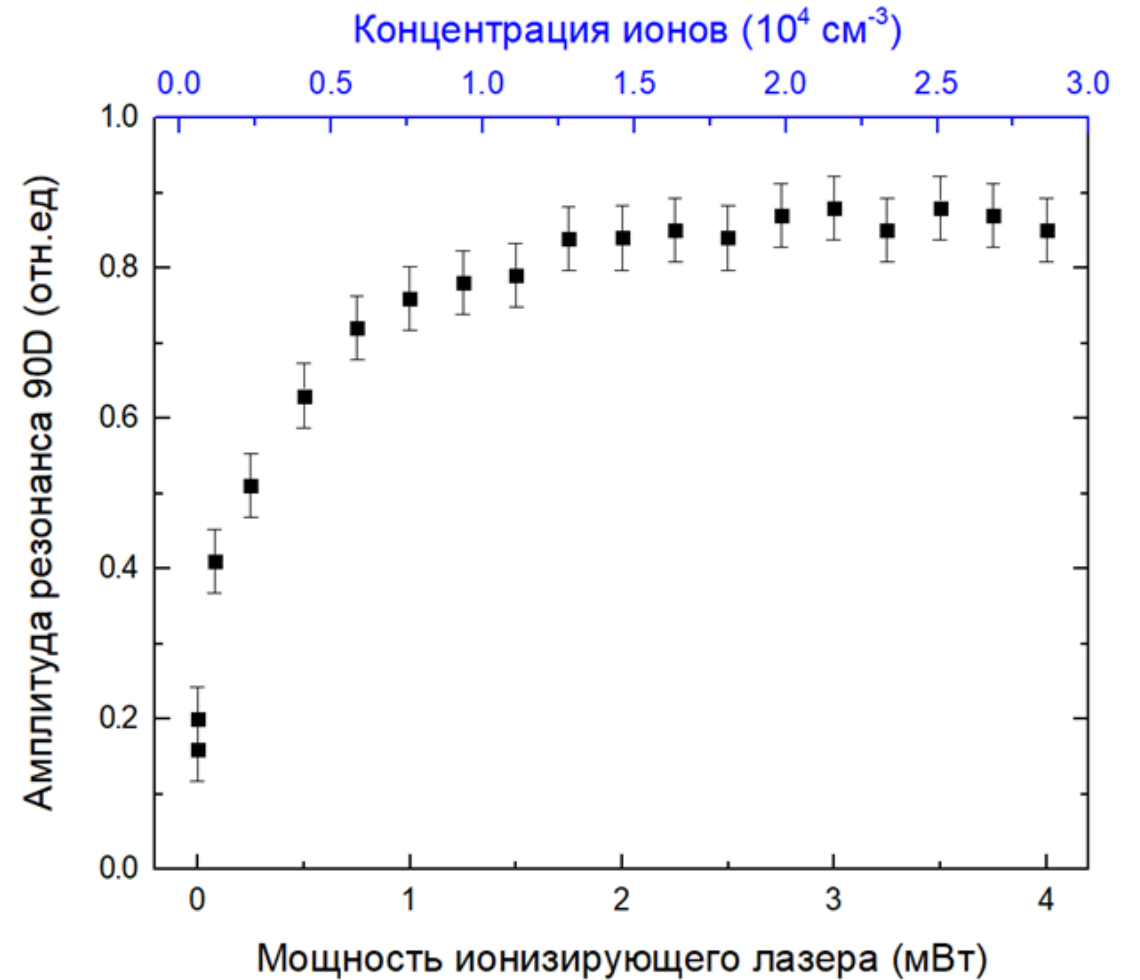
# Схема регистрации плазмы кальция



# Автоионизация ридберговский атомов

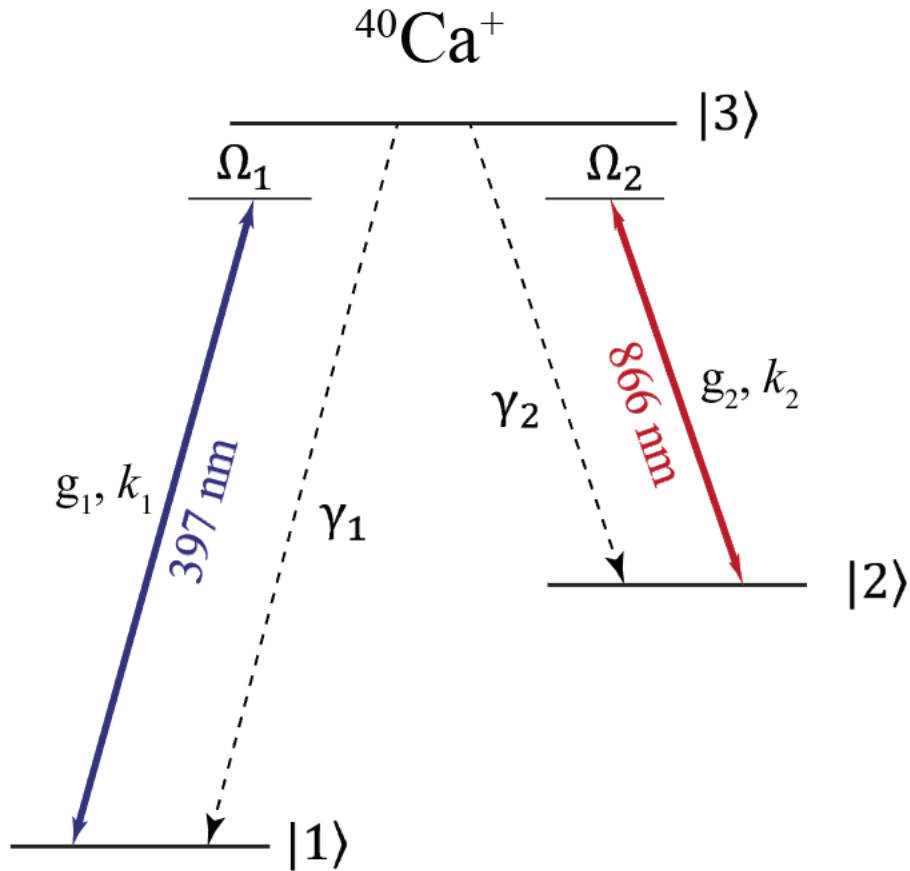


Резонанс флуоресценции 397 нм при сканировании частоты ридберговского перехода 797 нм



Зависимость амплитуды резонанса ридберговского перехода от концентрации ионов

# Λ-схема уровней Ca<sup>+</sup>



Уравнения на матрицу плотности запишутся в виде:

$$\begin{aligned}
 i\dot{\rho}_{11} &= -0.5g_1(\rho_{31} - \rho_{13}) + 2i\gamma_1\rho_{33} \\
 i\dot{\rho}_{22} &= -0.5g_2(\rho_{32} - \rho_{23}) + 2i\gamma_2\rho_{33} \\
 i\dot{\rho}_{33} &= 0.5g_1(\rho_{31} - \rho_{13}) + 0.5g_2(\rho_{32} - \rho_{23}) - 2i(\gamma_1 + \gamma_2)\rho_{33} \\
 i\dot{\rho}_{13} &= -0.5g_1(\rho_{33} - \rho_{11}) + 0.5g_2\rho_{12} - i\rho_{13}(\gamma - i(\Omega_1 - k_1v)) \\
 i\dot{\rho}_{23} &= -0.5g_2(\rho_{33} - \rho_{22}) + 0.5g_1\rho_{21} - i\rho_{23}(\gamma - i(\Omega_2 - k_2v)) \\
 i\dot{\rho}_{12} &= -0.5g_1\rho_{32} + 0.5g_2\rho_{13} - i\rho_{12}(\Gamma - i(\Omega_1 - \Omega_2 - (k_1 - k_2)v)) \\
 \rho_{ij}^* &= \rho_{ji}
 \end{aligned}$$

где  $g_i$  – частоты Раби

$2\gamma_i$  – парциальные скорости распада,  $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$

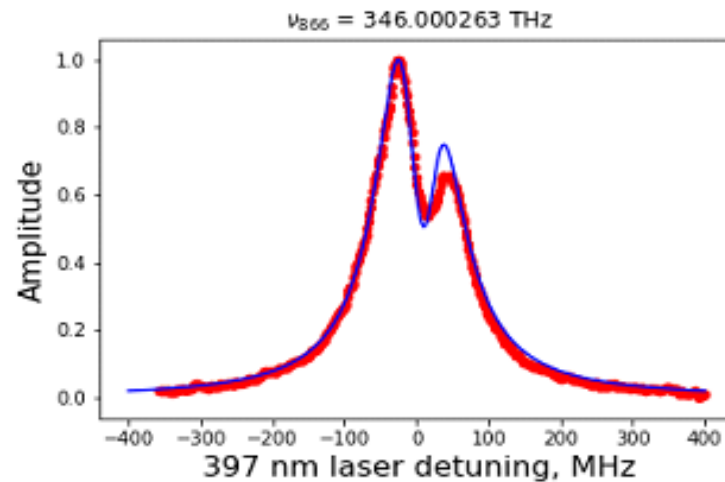
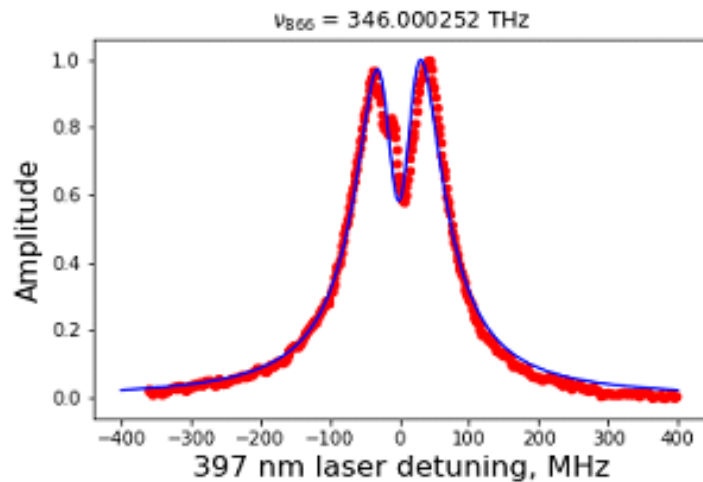
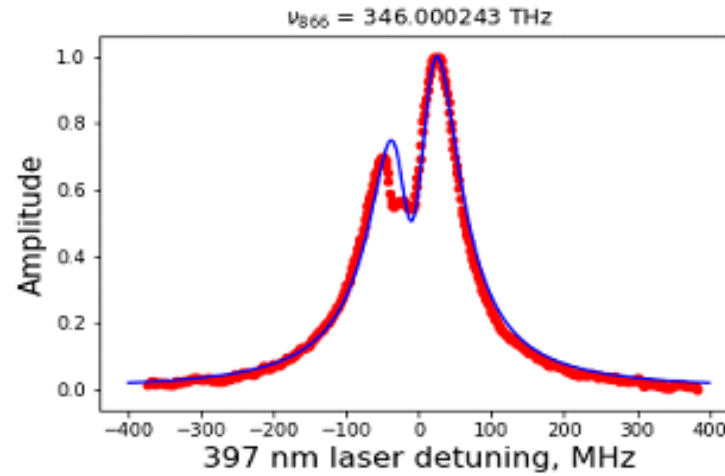
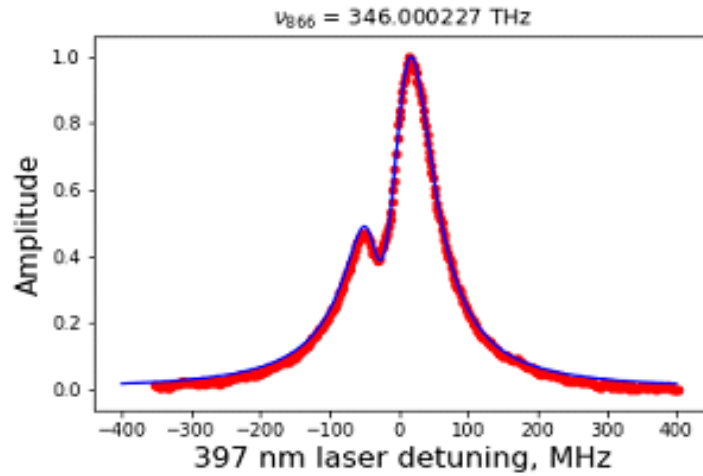
$\Omega_i$  – отстройки от резонанса

$k_i$  – волновые числа

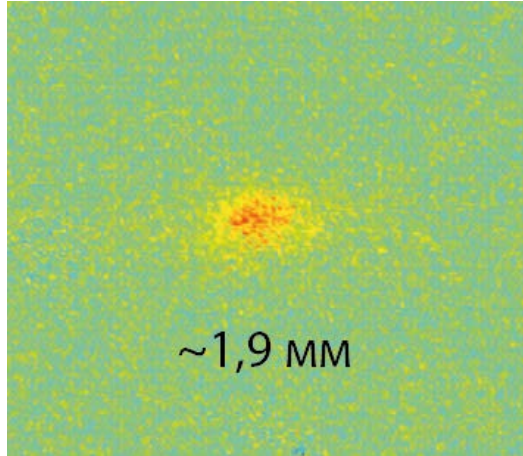
$\Gamma$  – скорость разрушения когерентности 1-2.



# EIT резонанс флуоресценции плазмы кальция



# Оценки для ионов и электронов в плазме



Радиус Дебая для  $T_e = 0,5$  К:

$$r_D = \left( \frac{kT_e \epsilon_0}{10^6 n_e e^2} \right)^{1/2} = 0,5 \text{ мм}$$

Потенциал ионов, удерживающий один электрон:

$$U = 4\pi\sigma \epsilon_0 / (\sqrt{(2/\pi)} e^2)$$

Количество положительно заряженных ионов, превышающих количество оставшихся в плазме электронов:  $N^+ = \Delta E / U$

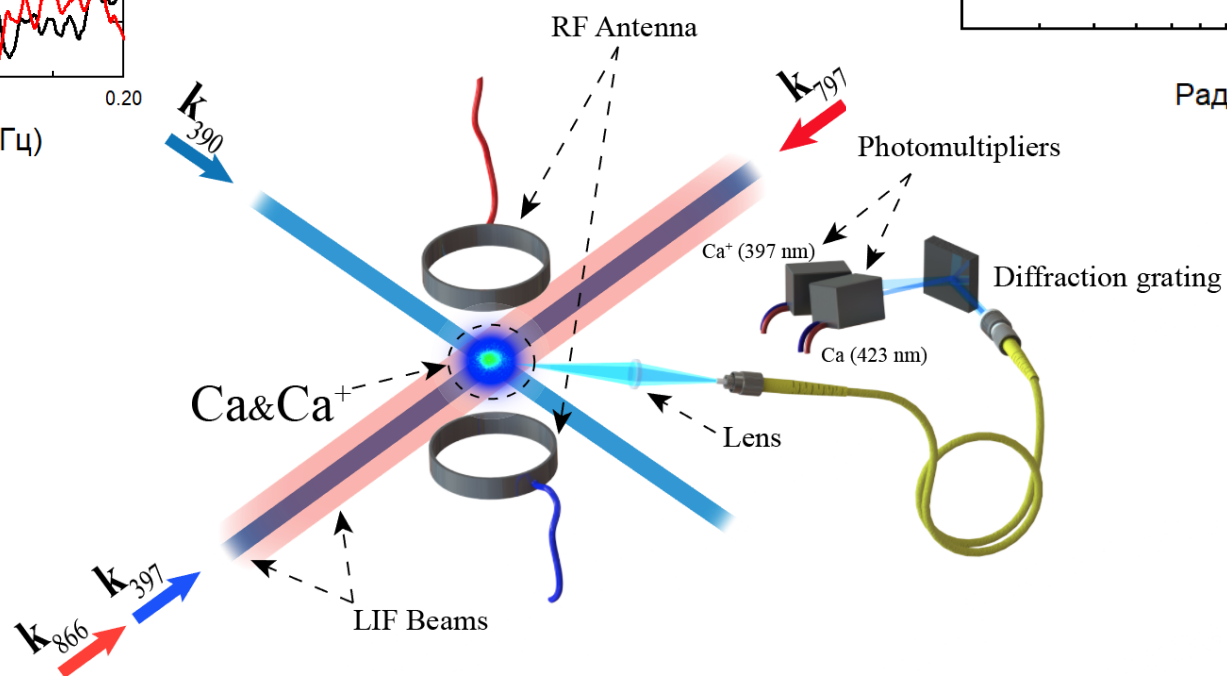
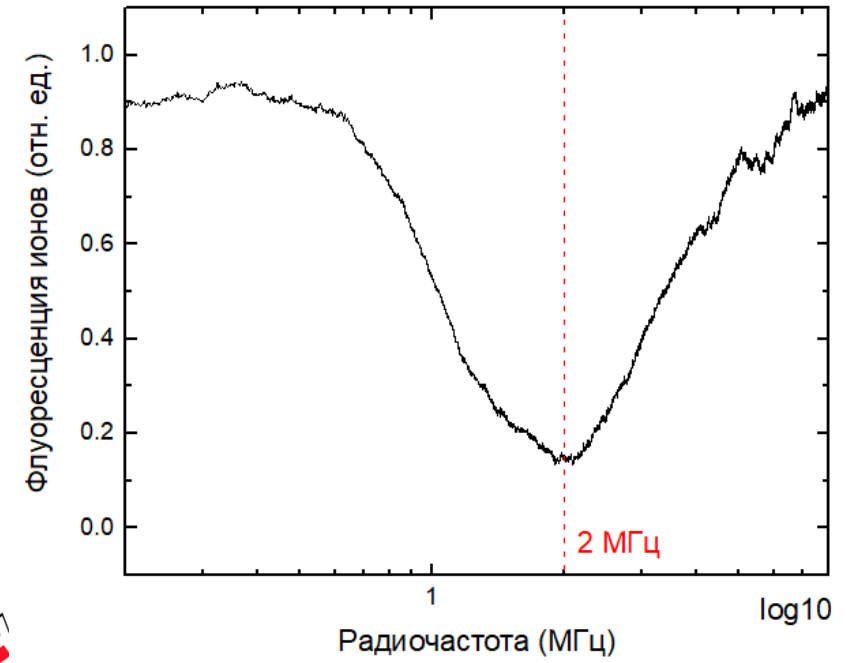
Параметр неидеальности для ионов:

$$\Gamma = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a_{ws} kT} \approx 2,7 \quad a_{ws} = \left( \frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3}$$

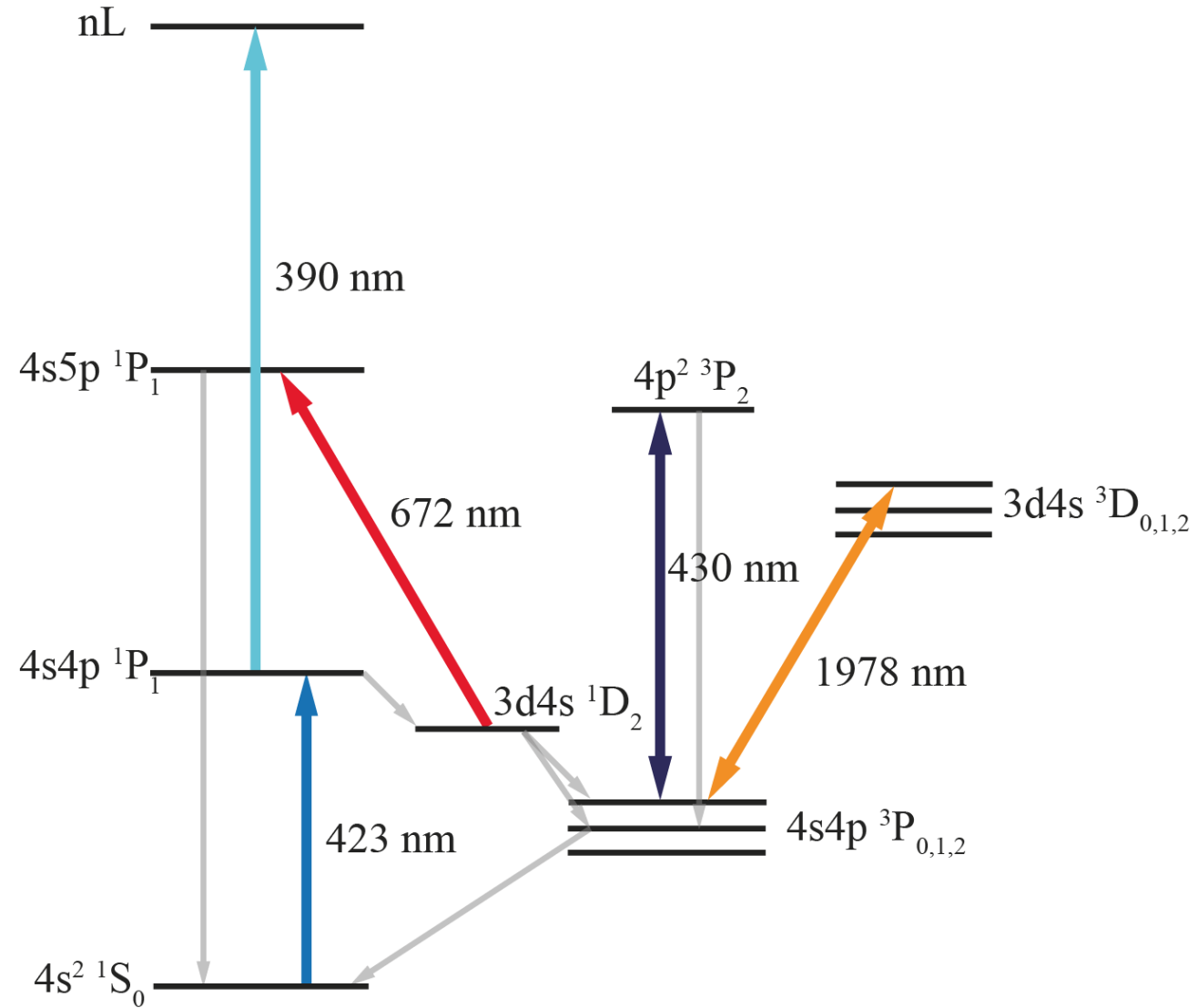
Температура ионов для концентрации  $10^6 \text{ см}^{-3}$ :

$$T_D \approx \frac{e^2}{12\pi\epsilon_0 a_{ws} k} \approx 0,1 \text{ К}$$

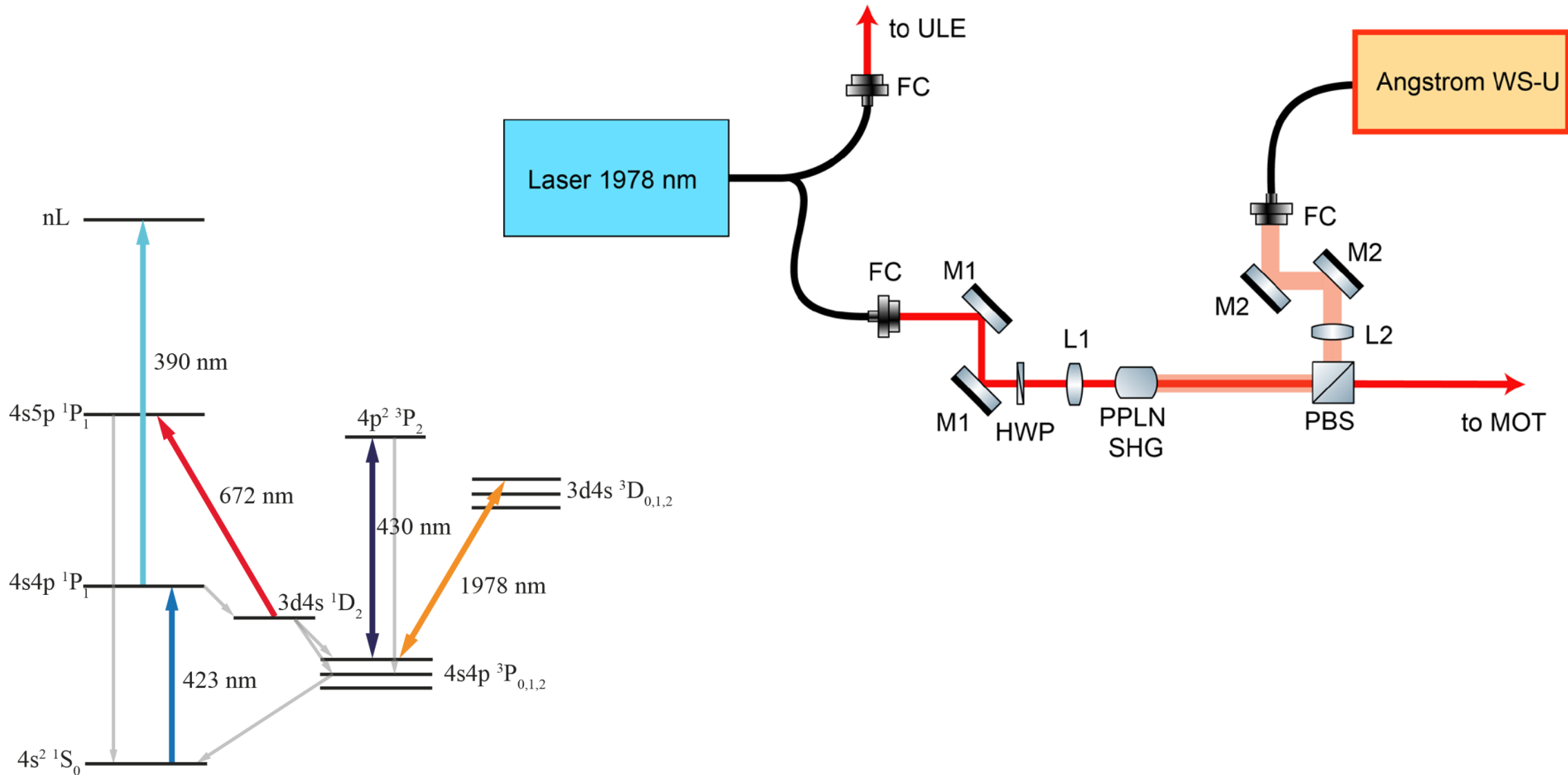
# Наблюдение плазменного резонанса



# Схема вторичного охлаждения атомов кальция

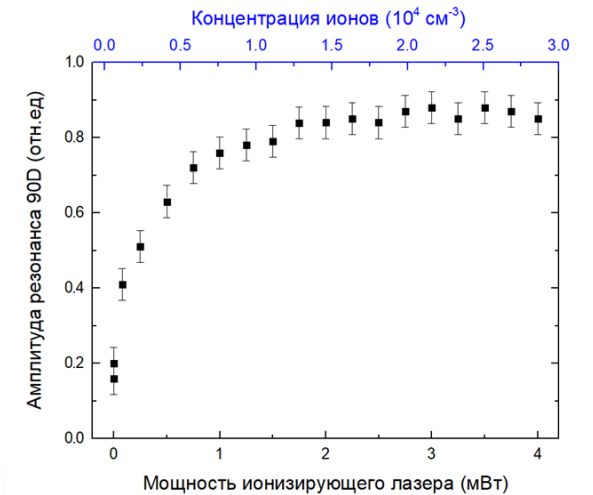


# Схема вторичного охлаждения атомов кальция

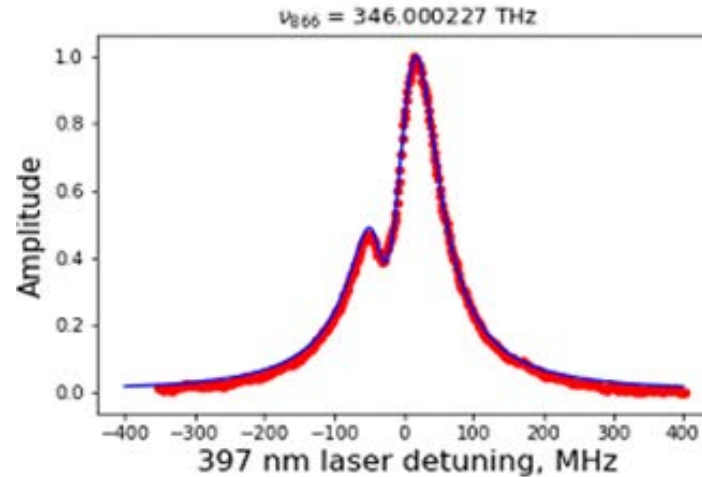


# Заключение

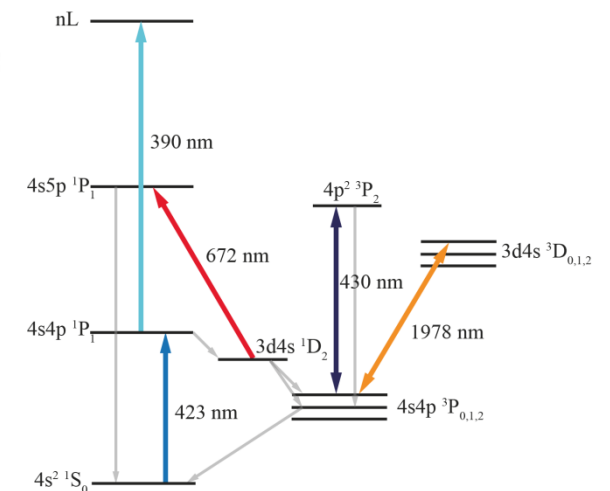
- Проведены эксперименты по исследованию влияния полей, создаваемых ультрахолодной плазмой, на спектры высоких ридберговских переходов с главным квантовым числом больше 50. Измерена зависимость амплитуды резонансов ридберговских переходом от концентрации ионов в системе для  $n$  от 50 до 120.



- Получены резонансы когерентного пленения населенностей (EIT резонансы). Проведено исследование EIT резонанса при разных конфигурациях подсвечивающих лазерных пучков.



- Собрана схема удвоения частоты лазерного излучения 1978 нм с использованием кристалла PPLN SHG, для непрерывного контроля длины волны, необходимого для создания в дальнейшем дипольной ловушки для атомов кальция.



Спасибо за внимание

# Флуоресценция плазмы кальция

