



А.Н.Гончаров^{5,14,15}, А.Э.Бонерт⁵, В.И.Барауля⁵, Д.В.Бражников^{5,15},
М.А.Тропников^{5,15}, А.В.Тайченачев^{5,15}

Разработка компактных лазерных систем и магнитооптической ловушки для стандарта частоты на основе холодных атомов магния.

⁵ФГБУН Институт лазерной физики СОРАН

¹⁵Новосибирский национальный исследовательский гос. университет

¹⁴Новосибирский государственный технический университет



Атомы магния являются перспективными для создания оптического стандарта частоты с погрешностью менее 10^{-16}

- Наиболее простой щелочно-земельный атом, для которого была реализовано охлаждение и локализация.



Простая структура ($1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2$) – как у Al^+
3 изотопа - ^{24}Mg (79%), ^{25}Mg (10%), ^{26}Mg (11%)

- Узкий $1S_0 \rightarrow 3P_1$ переход (36 Гц)
- Малый VBR сдвиг - -0.26 Гц (300 К/Т)⁴
- Интересная 2-е система для изучения столкновений

- Сложность лазерных систем

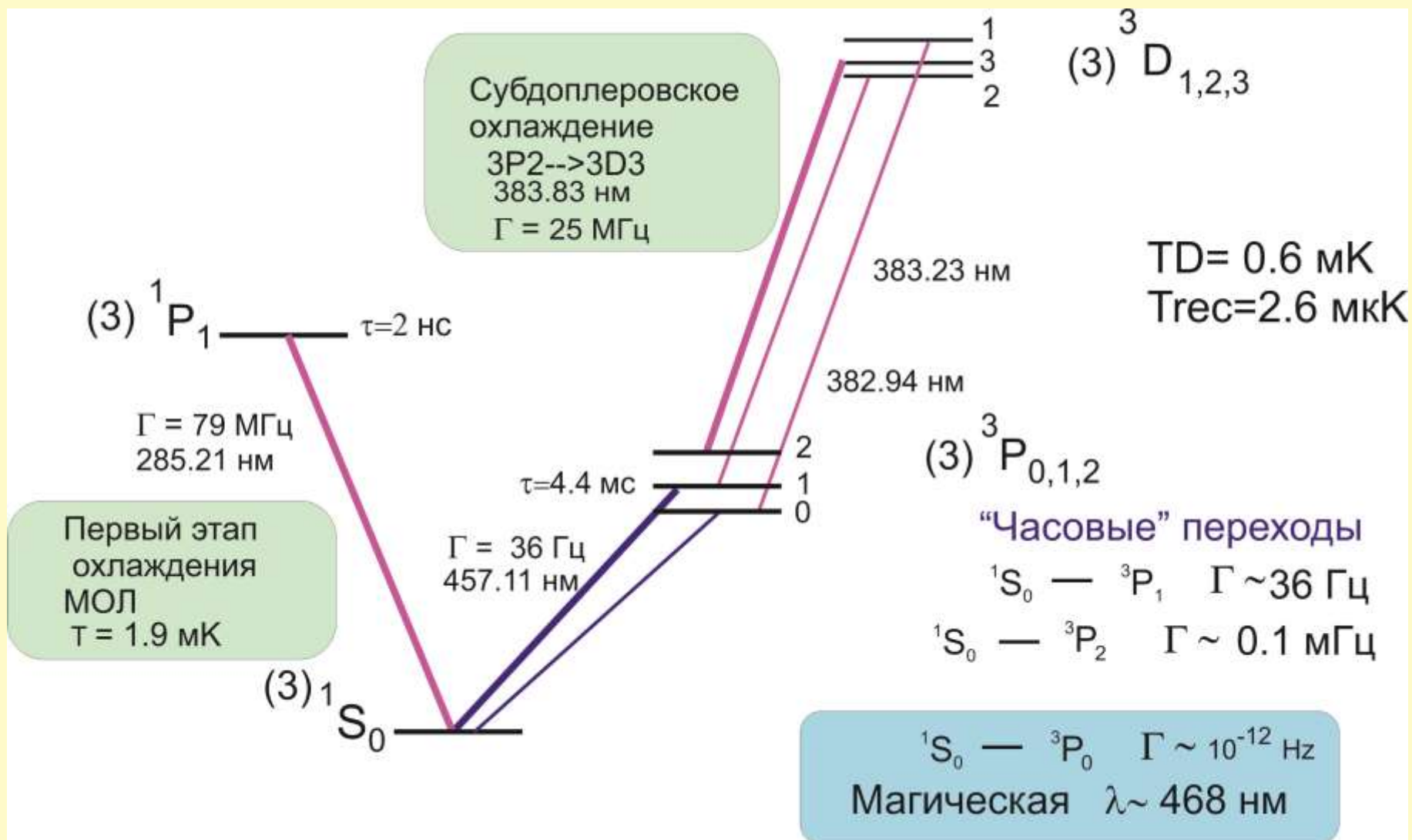


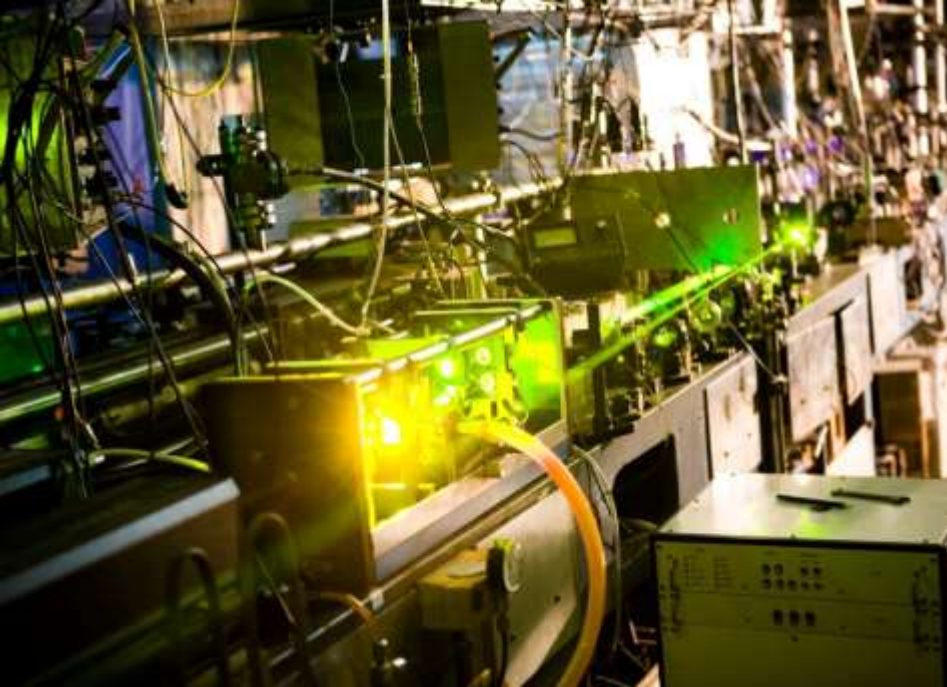
- Сложность реализации «субдоплеровского» охлаждения

- связанного с большой величиной эффекта отдачи $\delta/2\pi = h/(2M \lambda^2) = 39.6$ КHz

относительно большая величина квадратичного эфф. Зеемана $-217(11)$ МHz/Т²

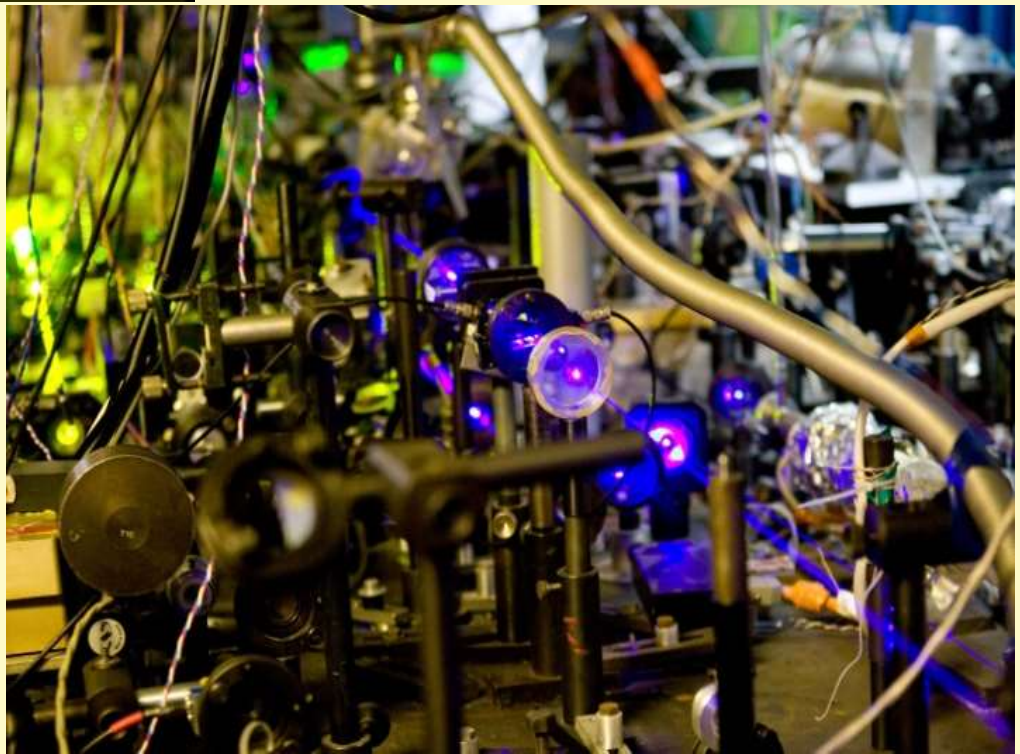
Схема уровней магния





Лазерная система для охлаждения
магния на основе лазера на красителях
 $\lambda = 285 \text{ nm}$ $P=100 \text{ mW}$

«Часовая система» на 457 nm
на основе Ti:Sa/SHG
 $P=150 \text{ mW}$



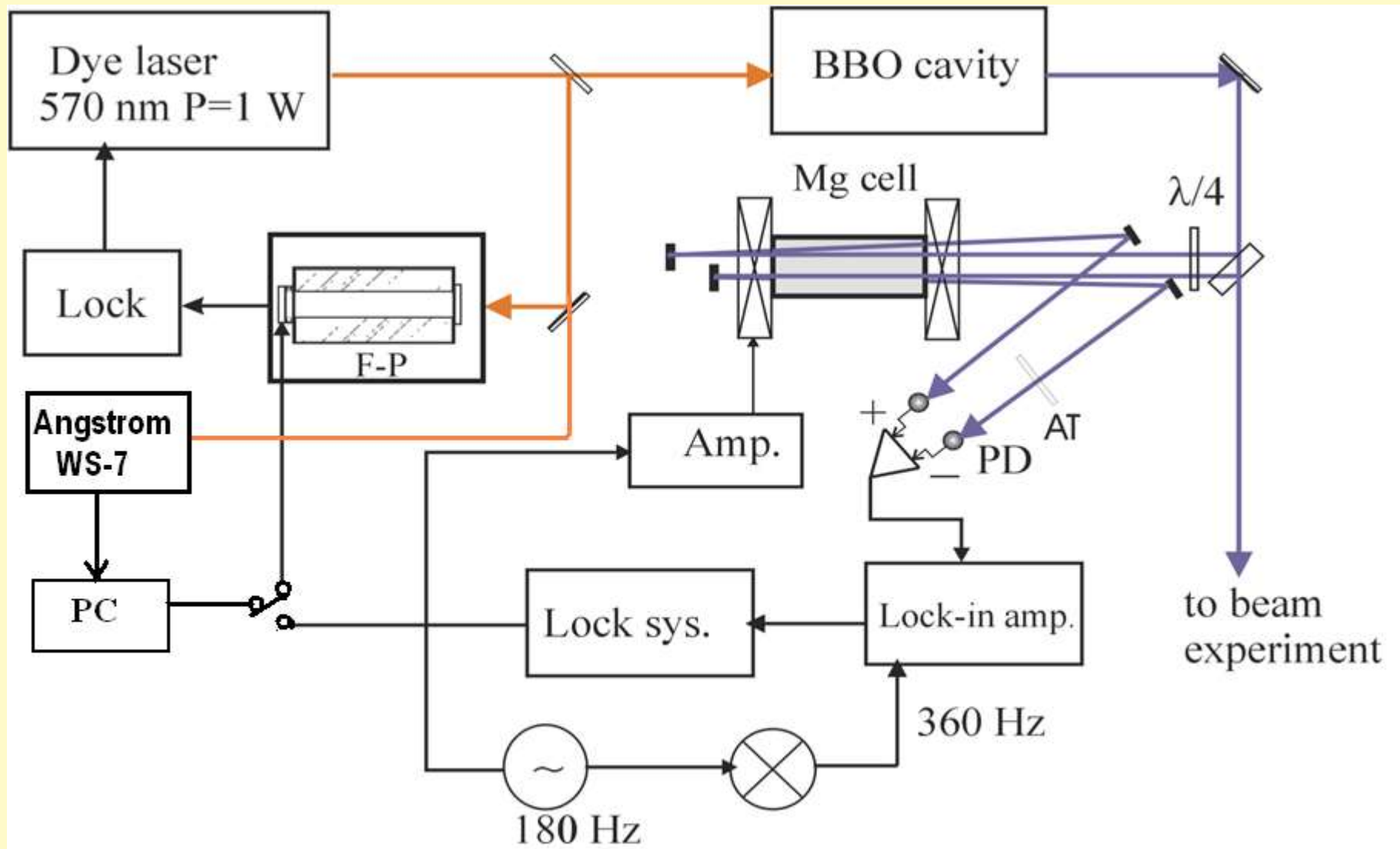


Схема стабилизации частоты лазерной системы 570/285 нм

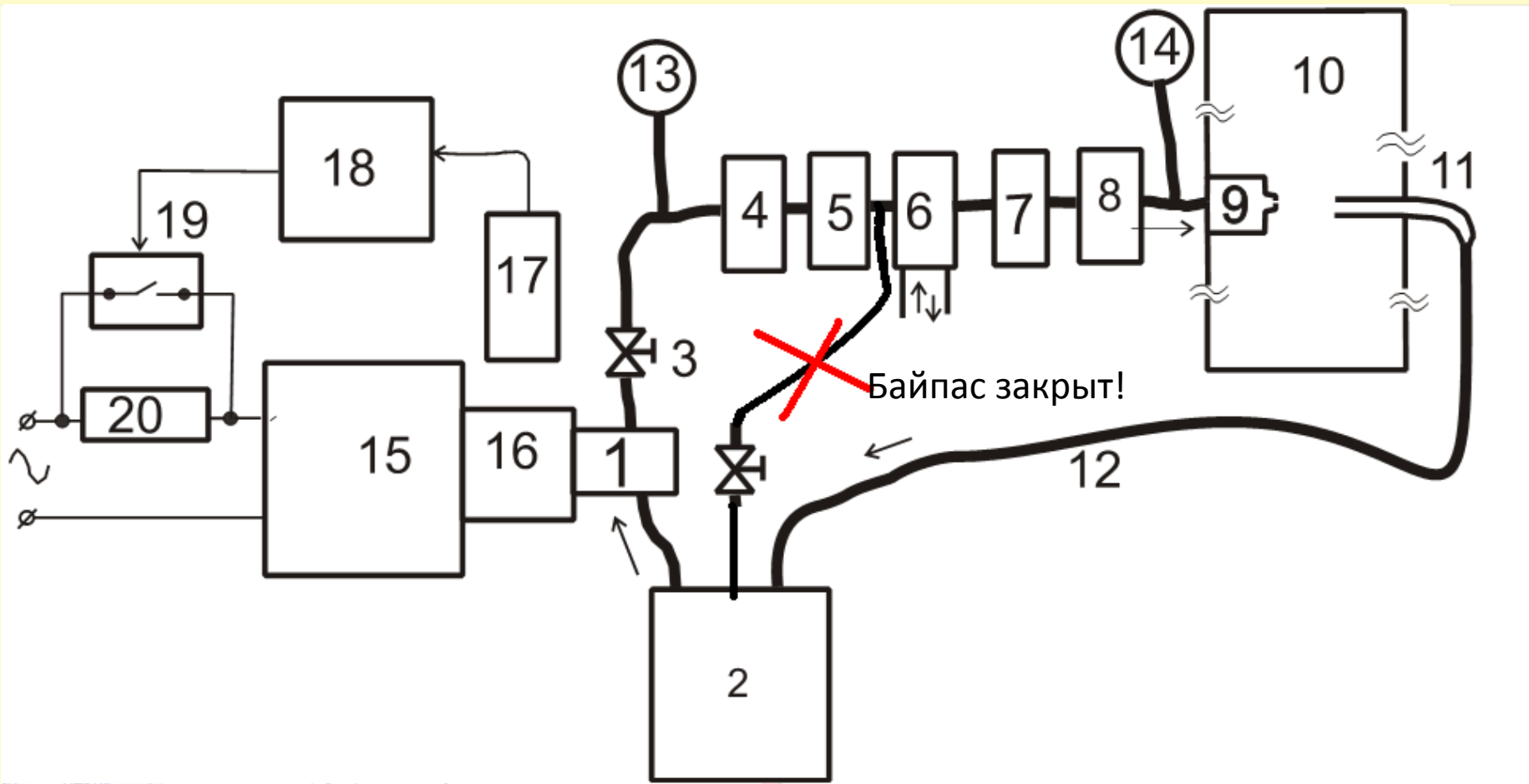
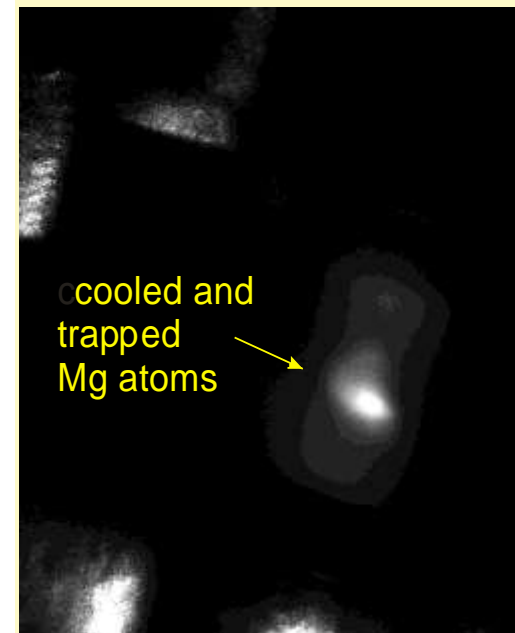
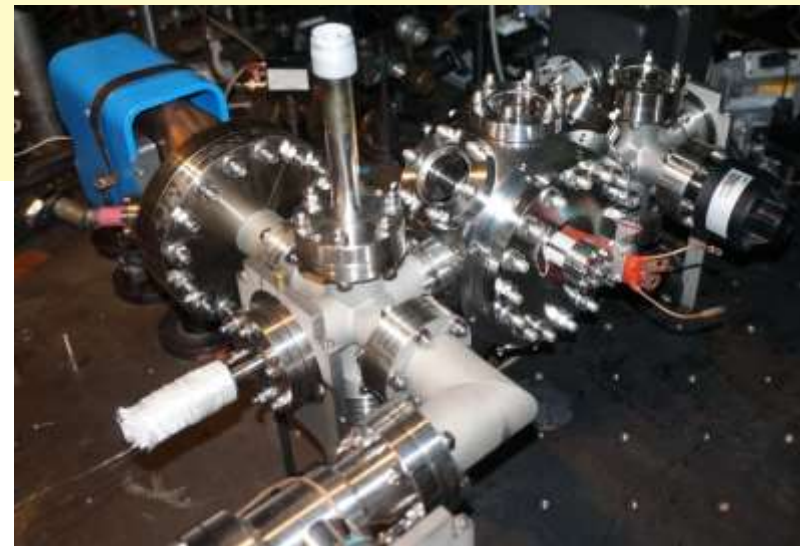
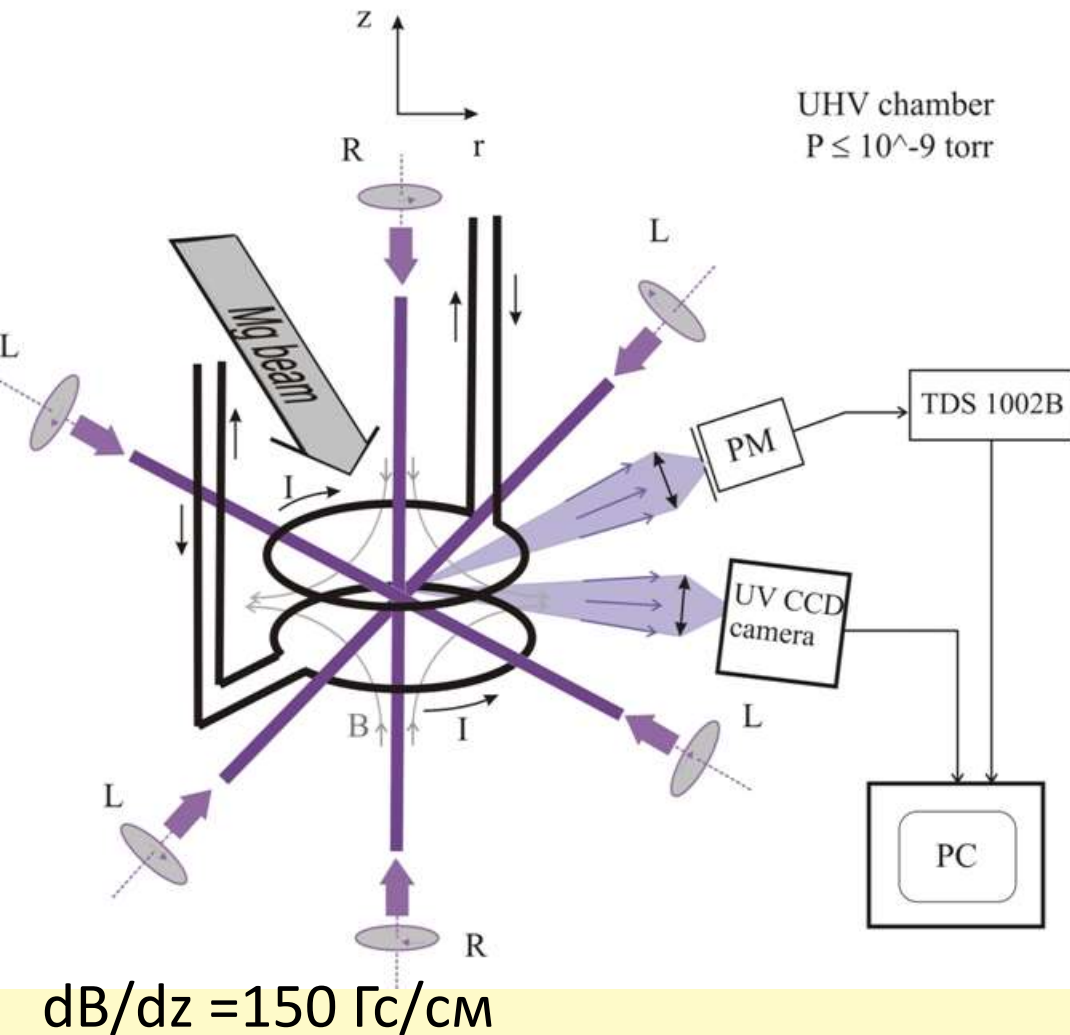


Схема прокачки раствора красителя лазера на красителе

Атомы Mg локализуются и охлаждаются в магнито-оптической ловушке

Mg MOT



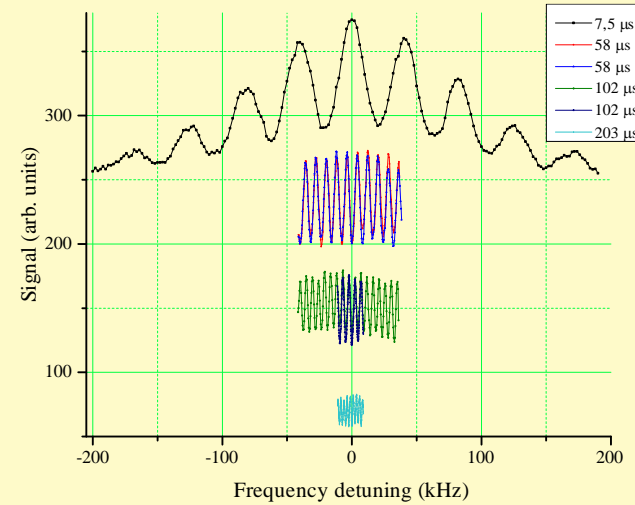
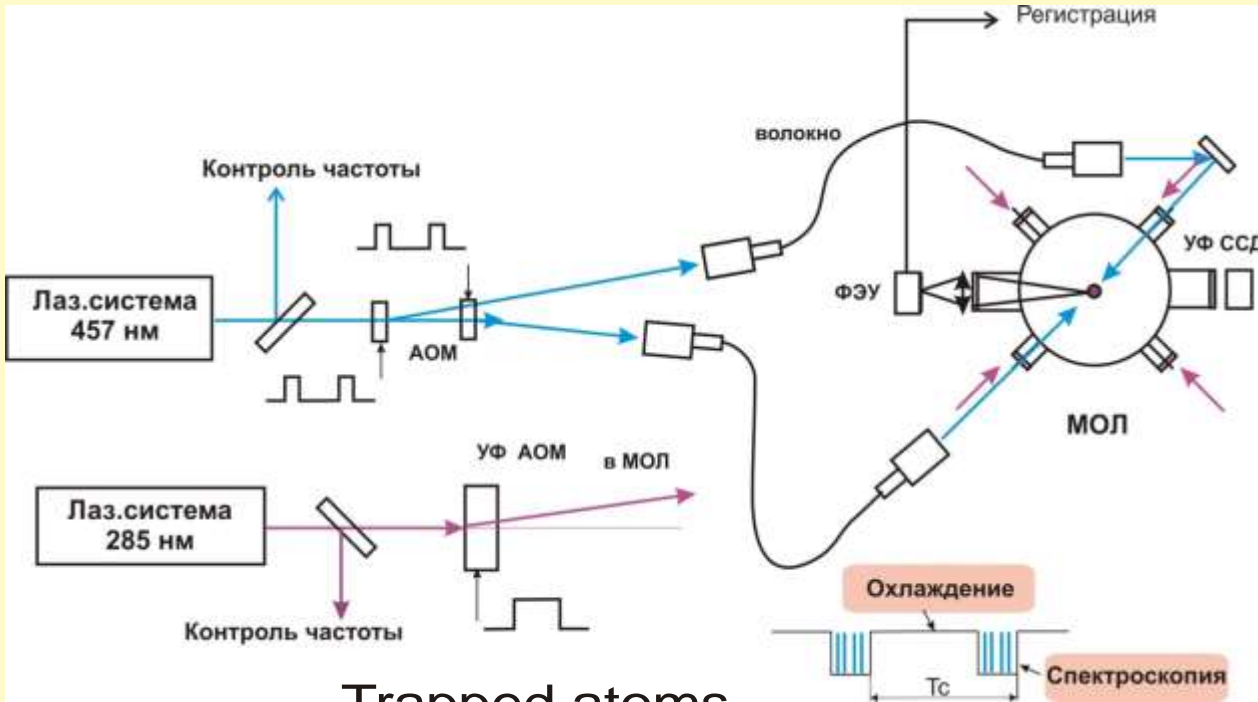
$N_{\text{at}} \sim 10^6 - 10^7$

Диаметр облака $\sim 0.2 - 0.5 \text{ mm}$

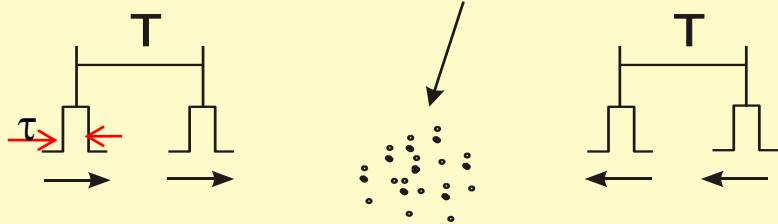
$T \sim 3 - 5 \text{ mK}$

Узкие оптические резонансы наблюдаются в сигнале флуоресценции с уровня 1P1 при взаимодействии атомов с разнесенными во времени полями на длине волны 457 нм

Схема установки



Trapped atoms

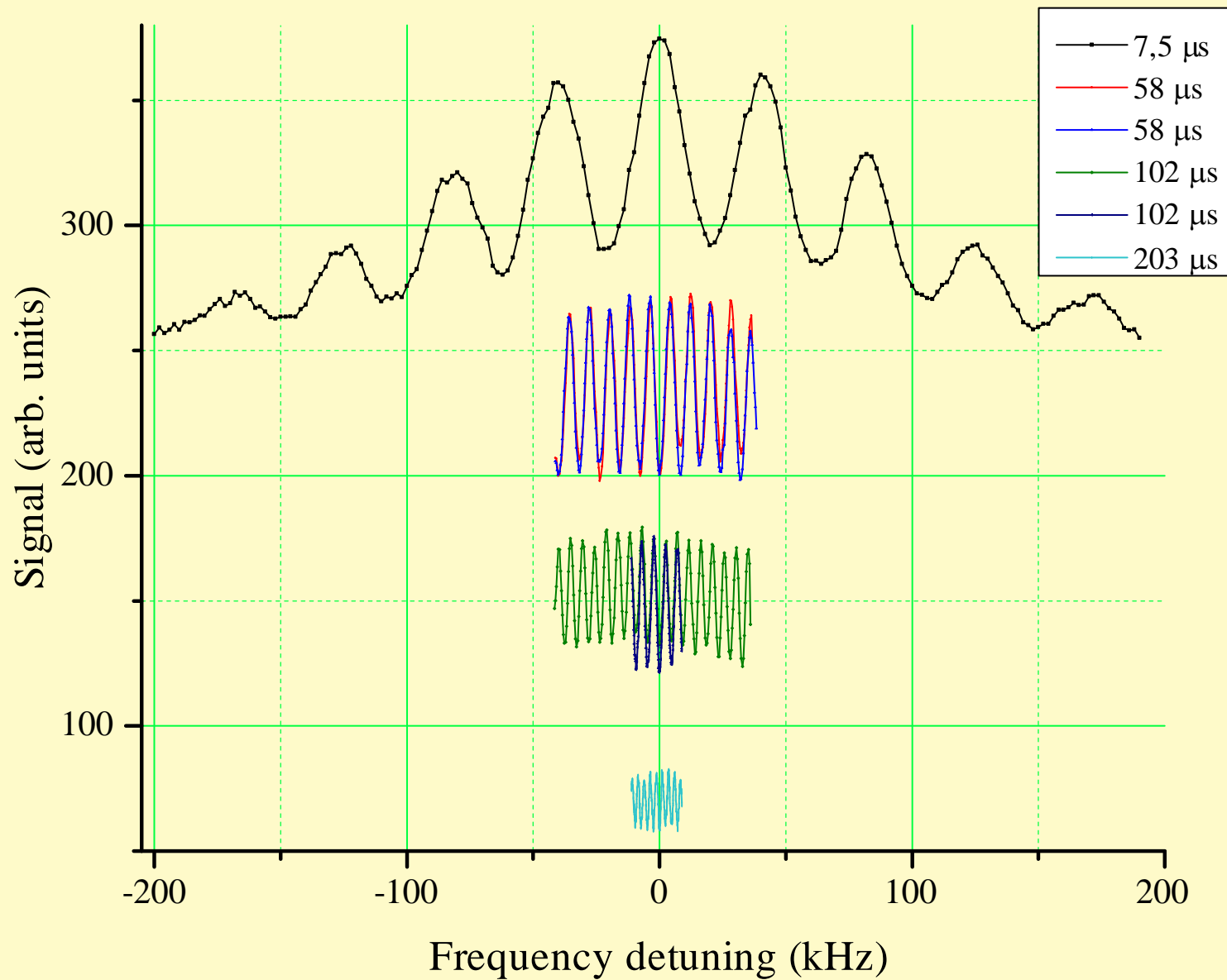


$$S = A \cos[2 T_{\text{eff}} (\Delta\omega \pm \delta) + \phi]$$

Разрешение $\Delta\nu = 1/4T_{\text{eff}}$

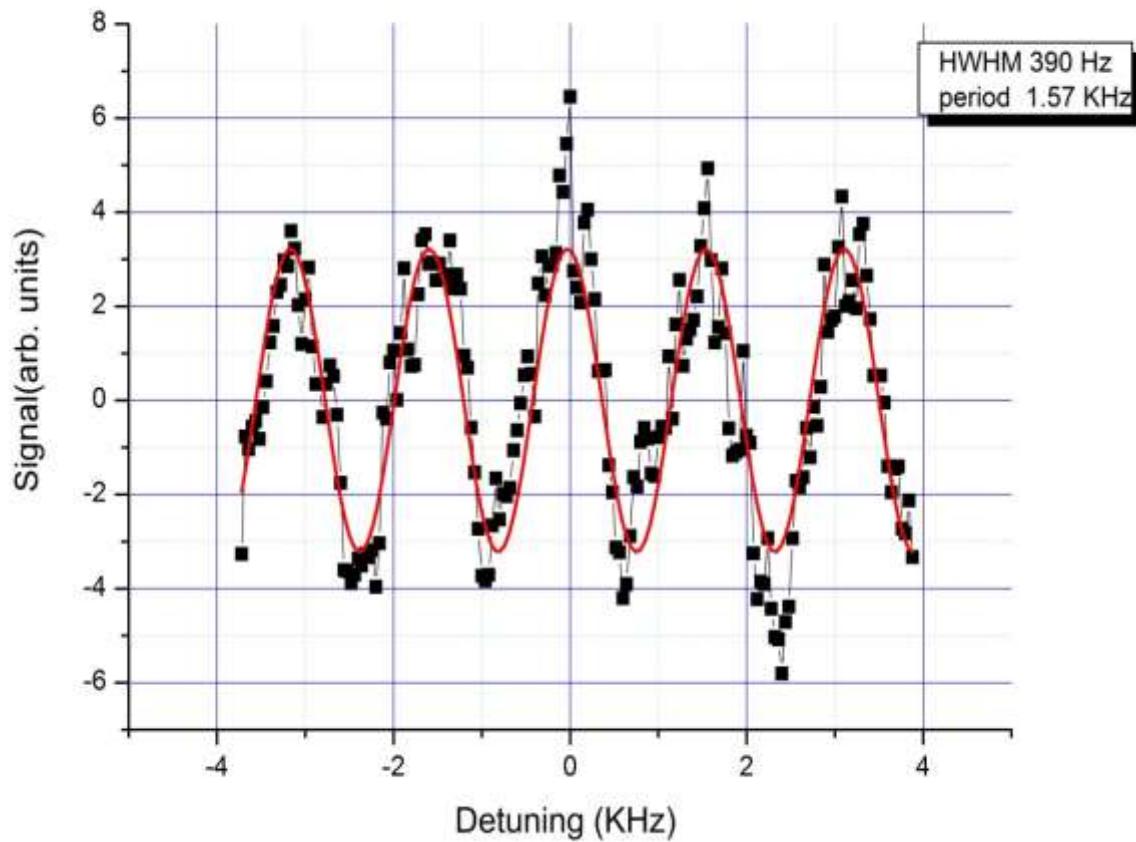
$$T_{\text{eff}} = 4/\pi \tau + T$$

$$\Delta\omega = \omega_L - \omega_0$$



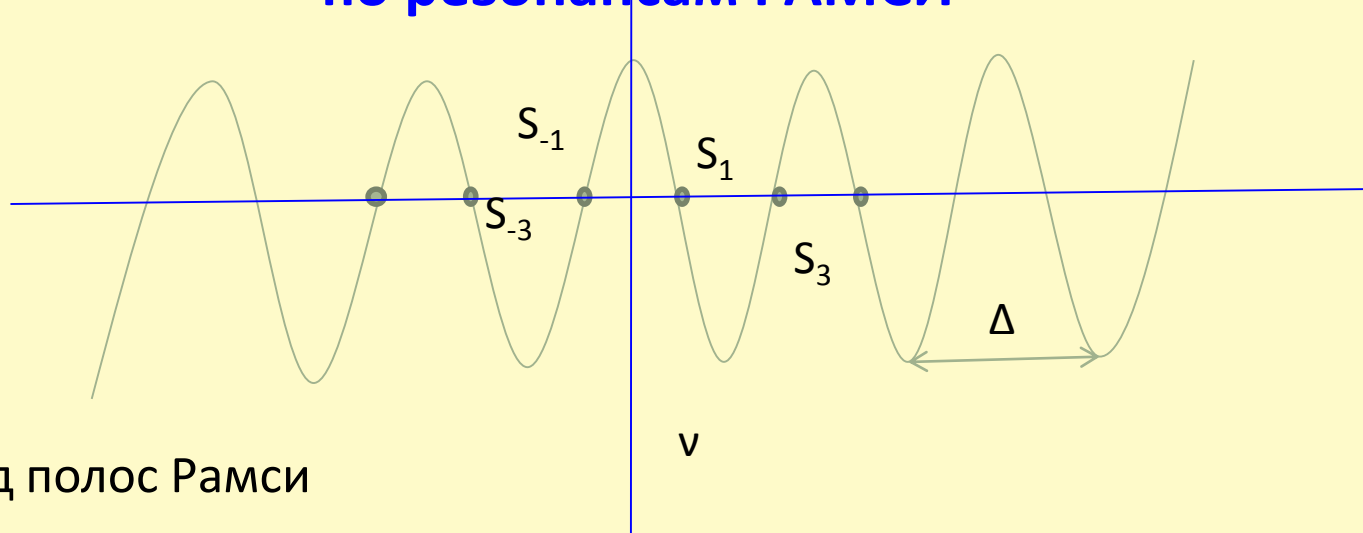
Резонансы Рамси

для различных задержек между однонаправленными импульсами



Резонанс Рамси, разнос 310 мксек

Стабилизация частоты по резонансам РАМСИ



Δ - период полос Рамси

Сигнал S_n – при отстройке ($n \Delta/4$)

$dS_3 = (S_{-3} - 3S_{-1} + 3S_1 - S_3)$ – сигнал ошибки

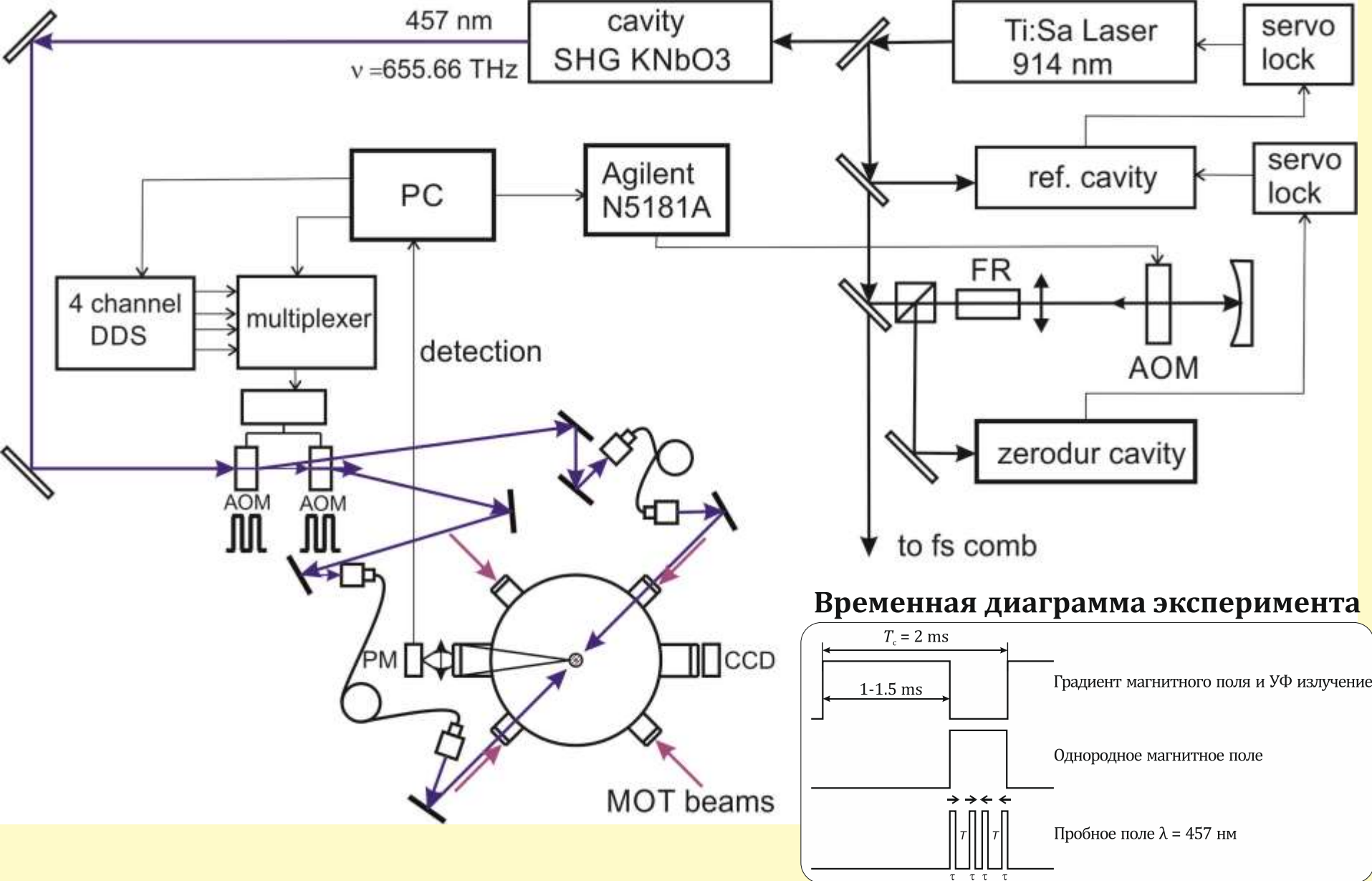
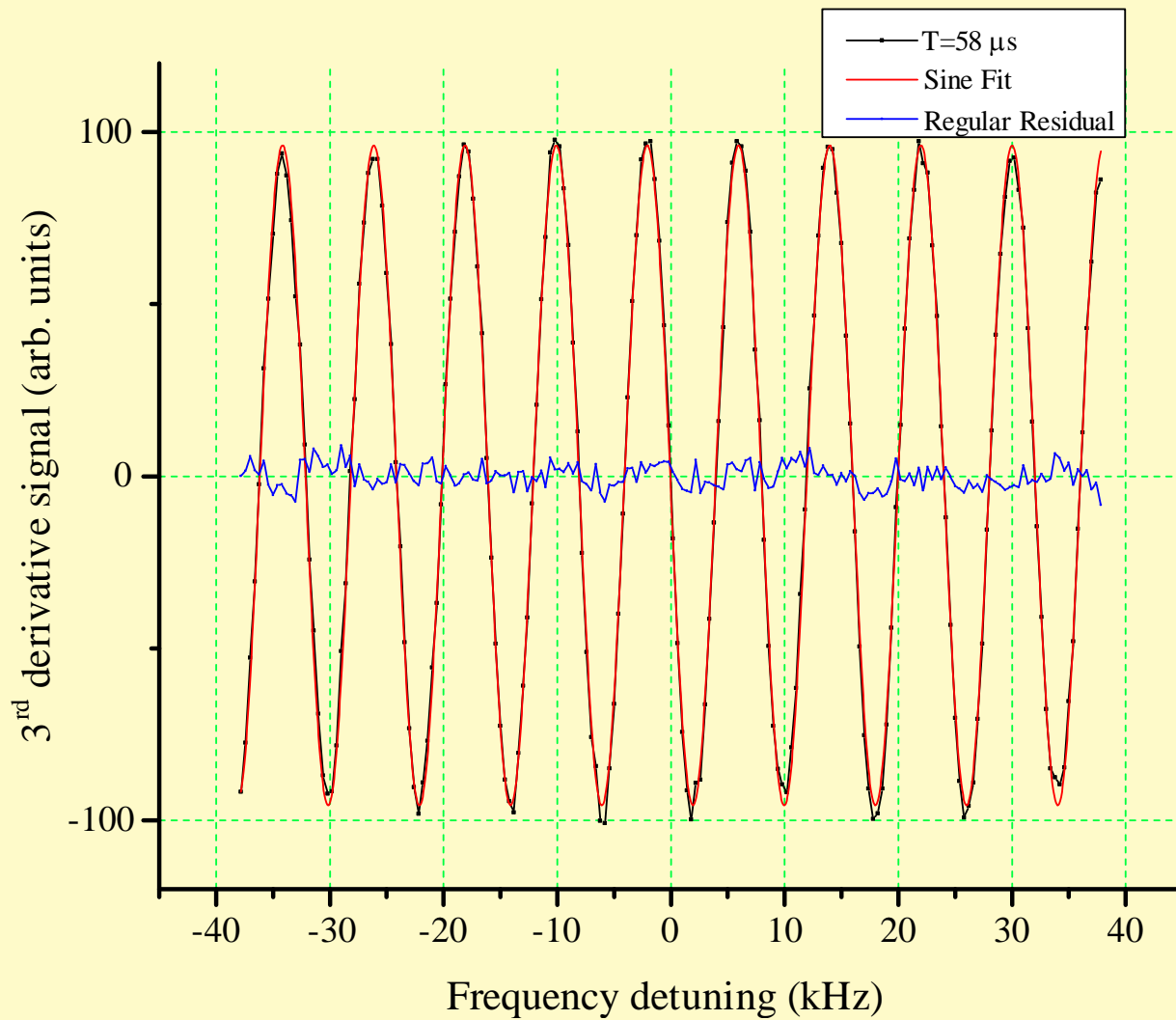
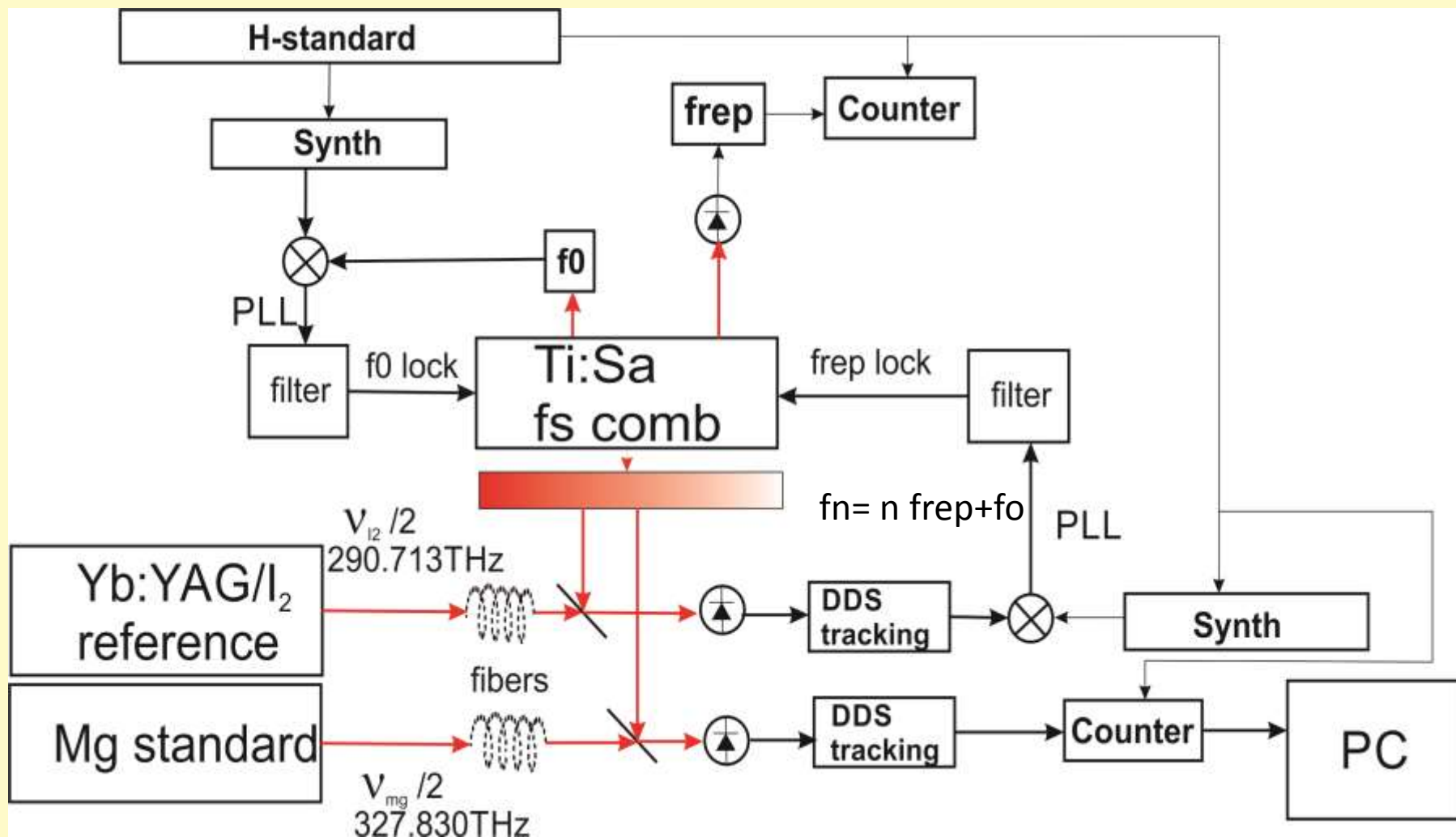


Схема стабилизации частоты Ti:Sa лазера по резонансам Рамси

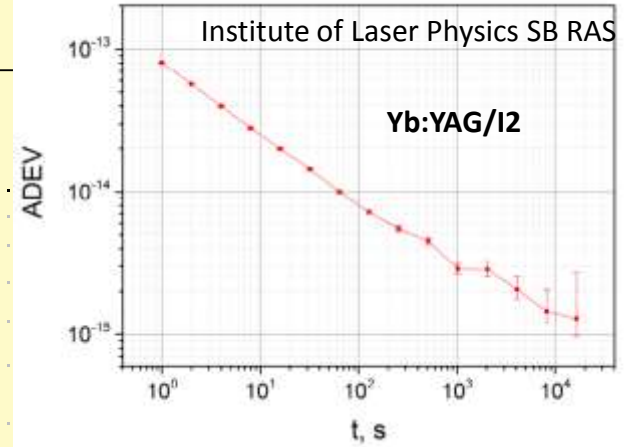
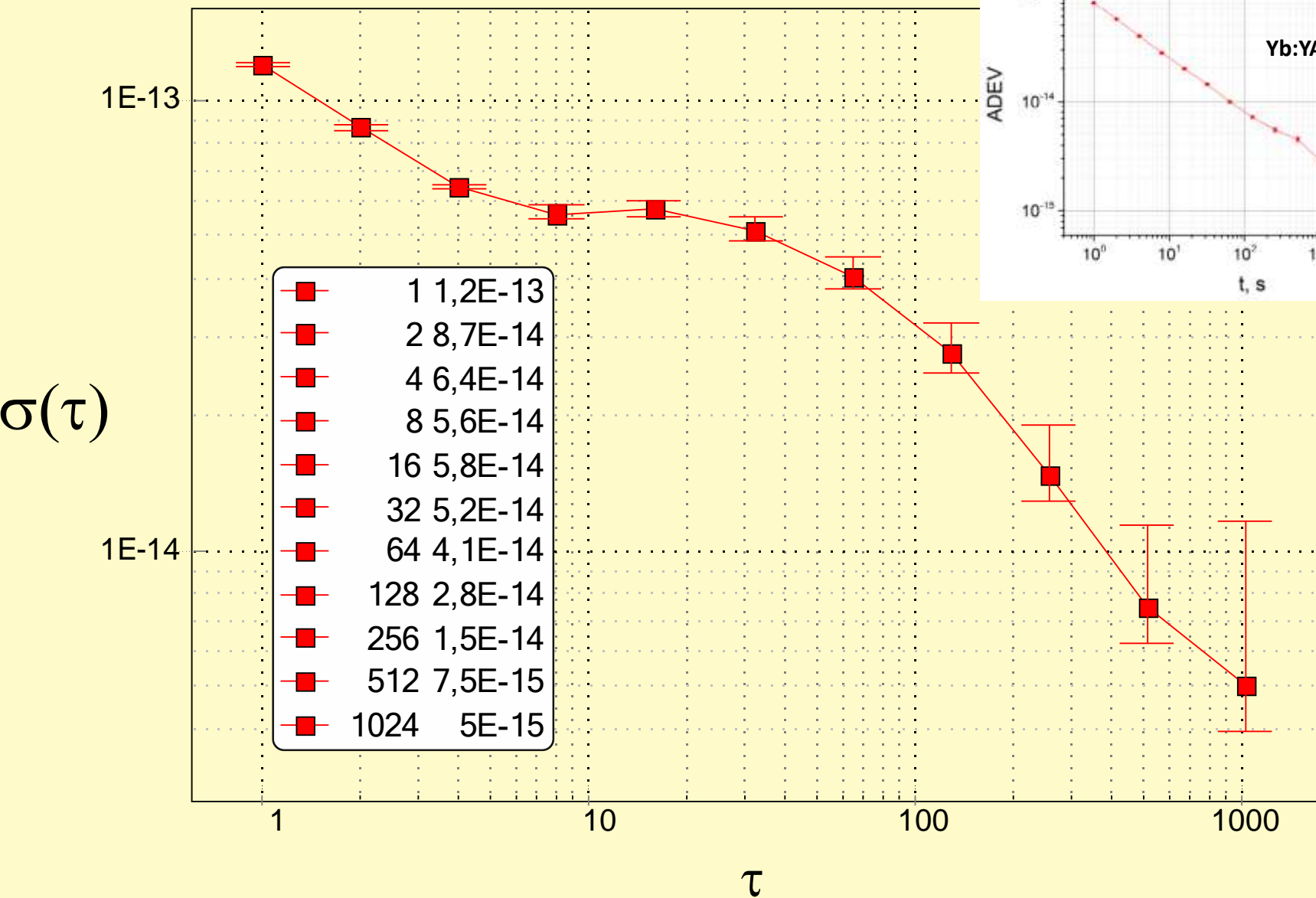


Третья производная от сигнала Рамси, время на точку 1 сек

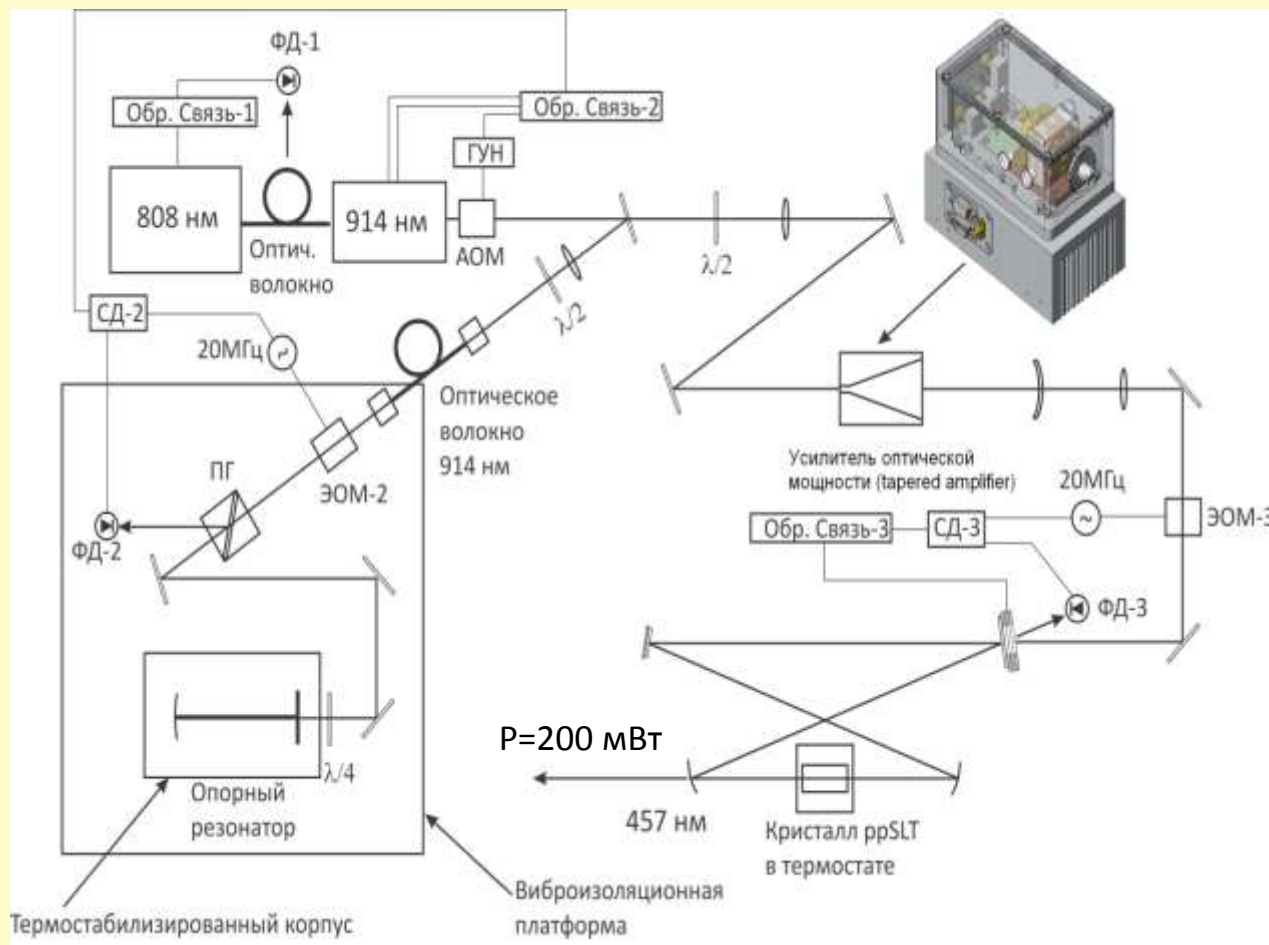
Измерение стабильности с помощью Tisa fs «комба»



Allan STD DEV

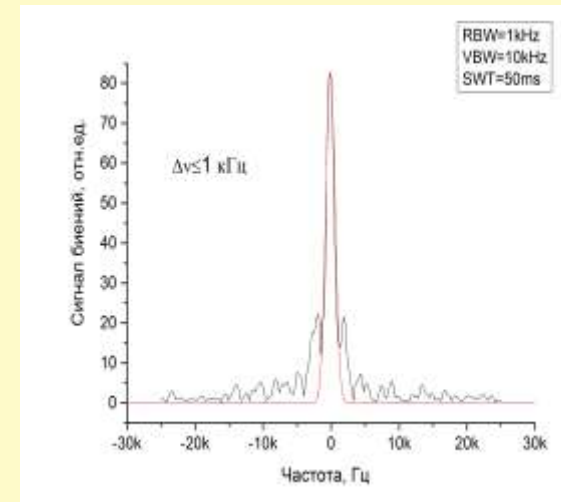


Функция Аллана



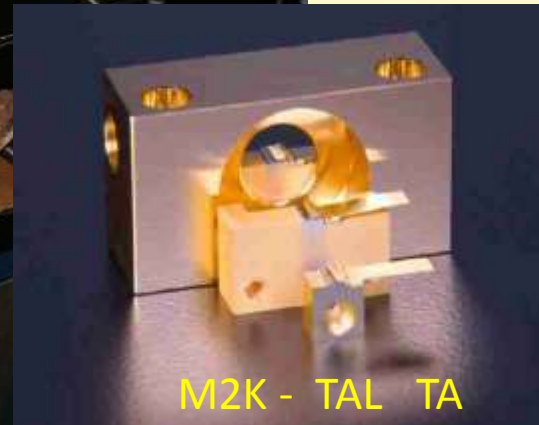
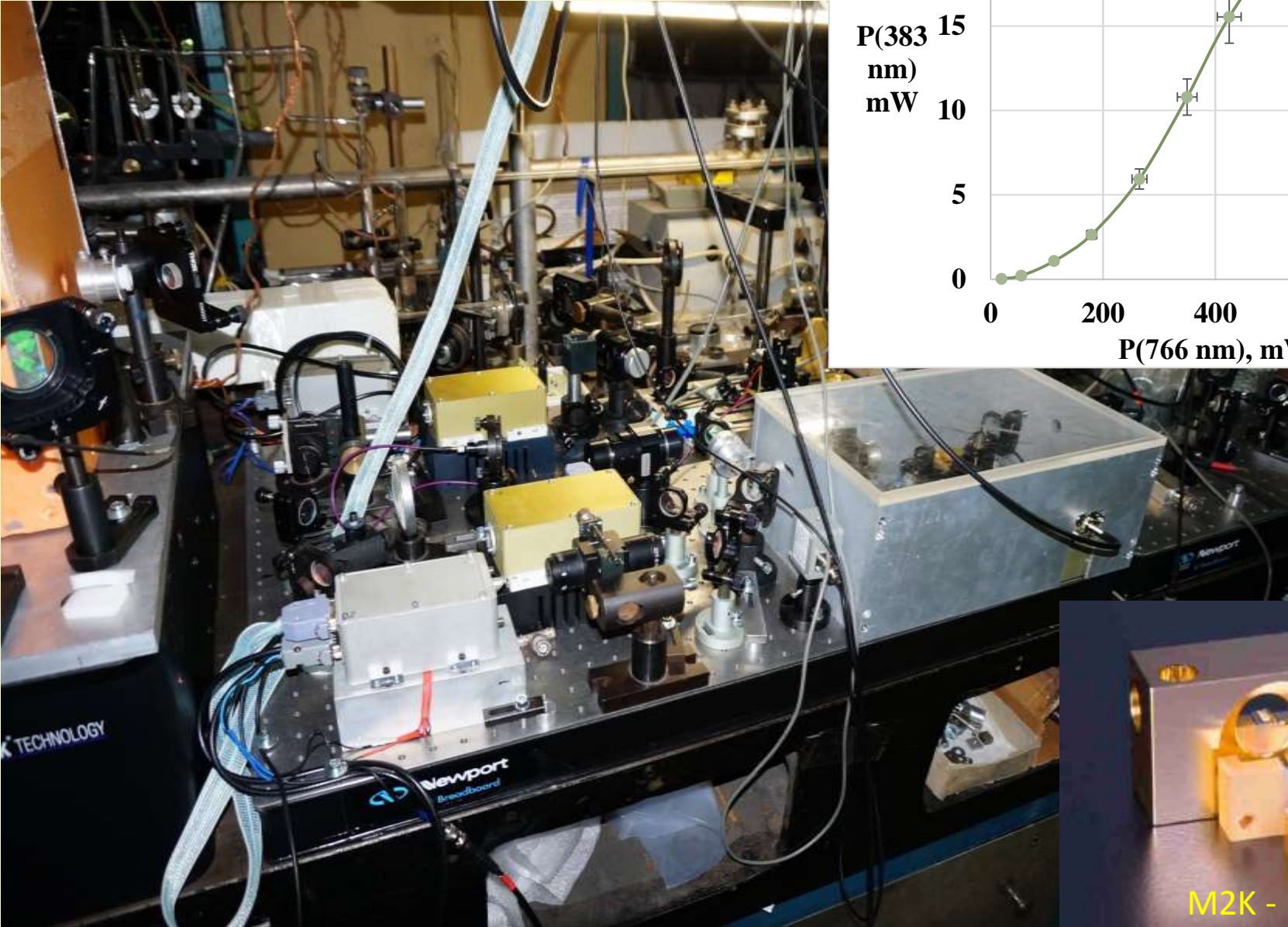
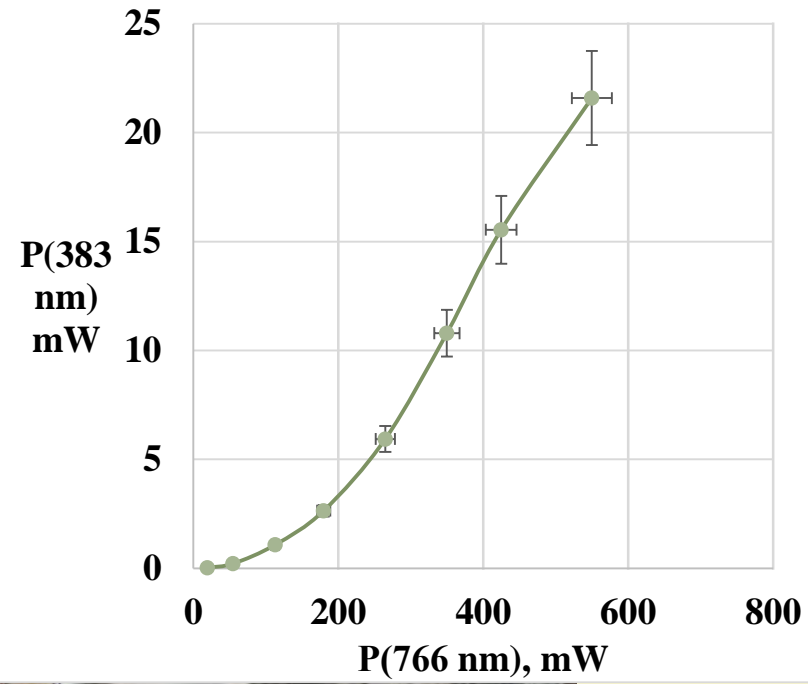
Дрейф частоты <math><10 Гц

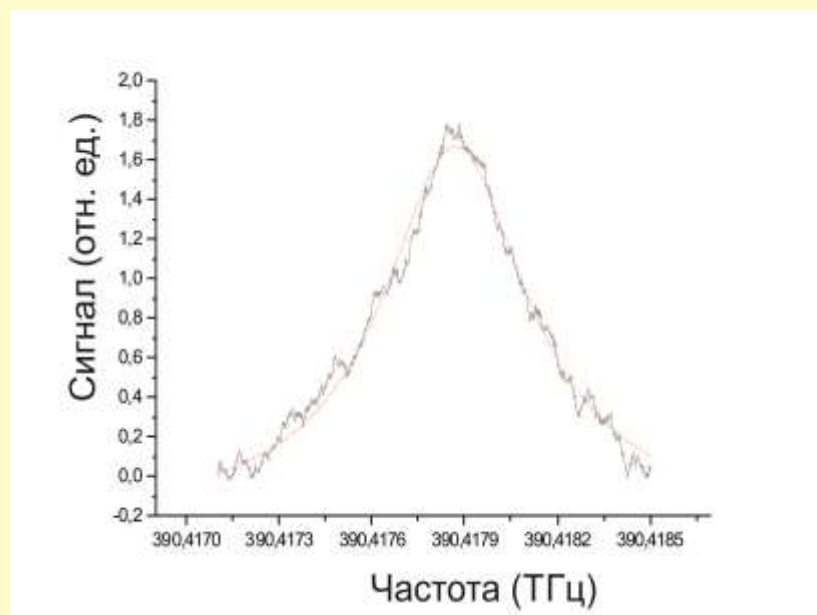
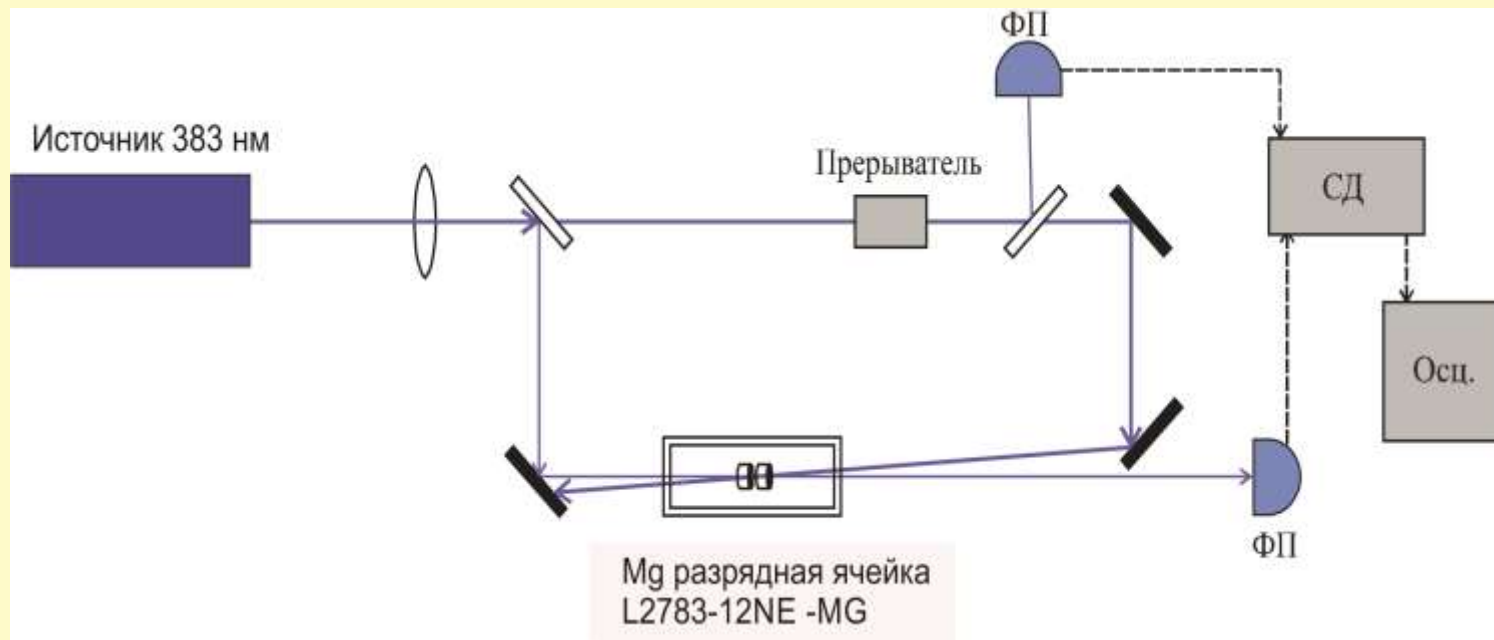
Ширина линии



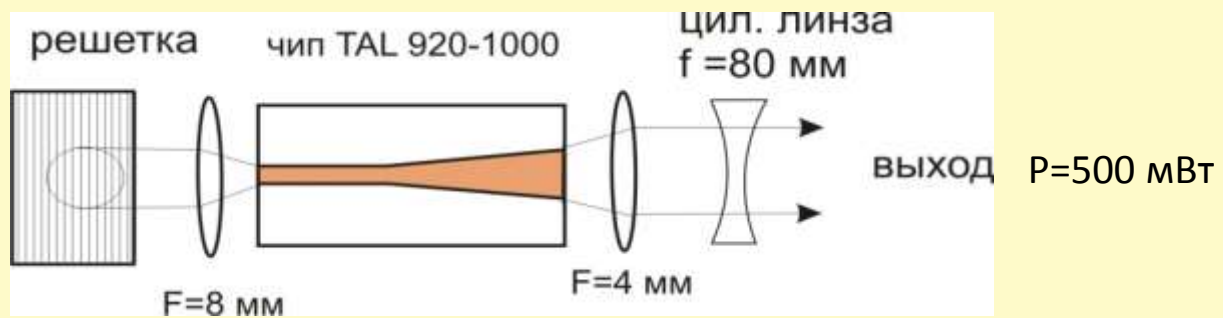
«Часовая» лазерная система на длине волны 457 нм на основе Nd:YVO₄ лазера

Laser system for Mg second stage cooling ($\lambda=383\text{nm}$)

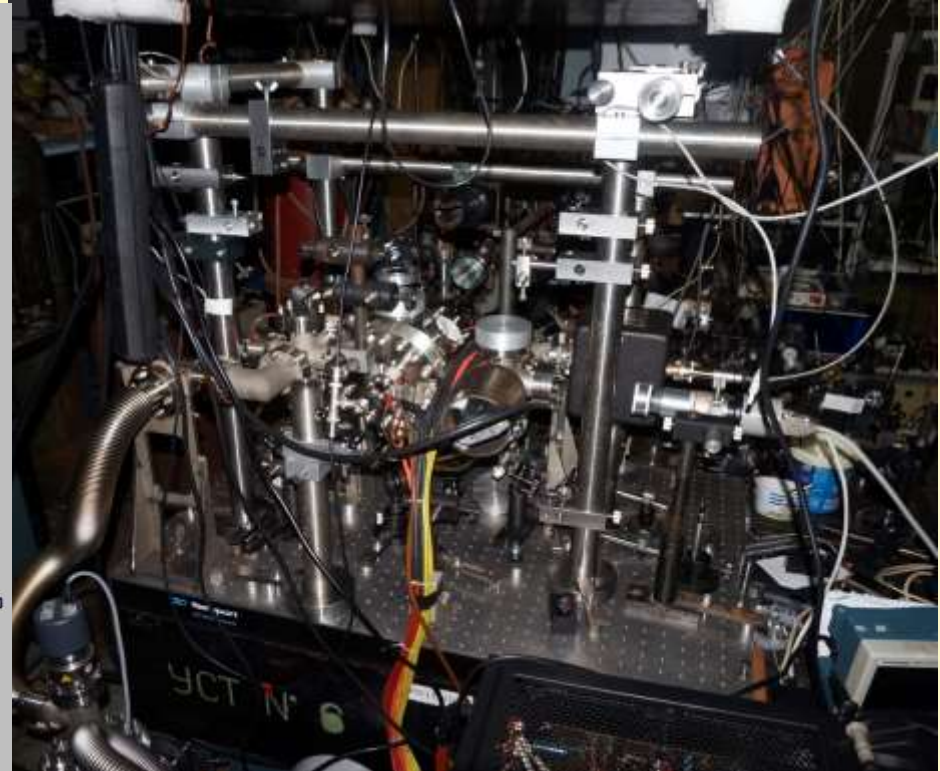
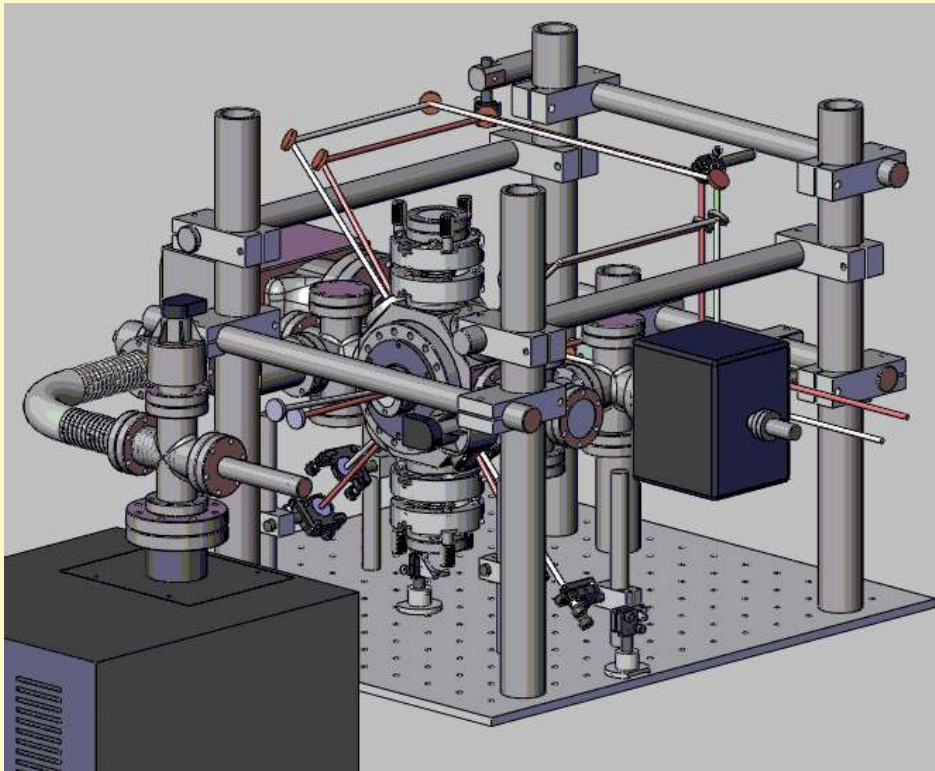




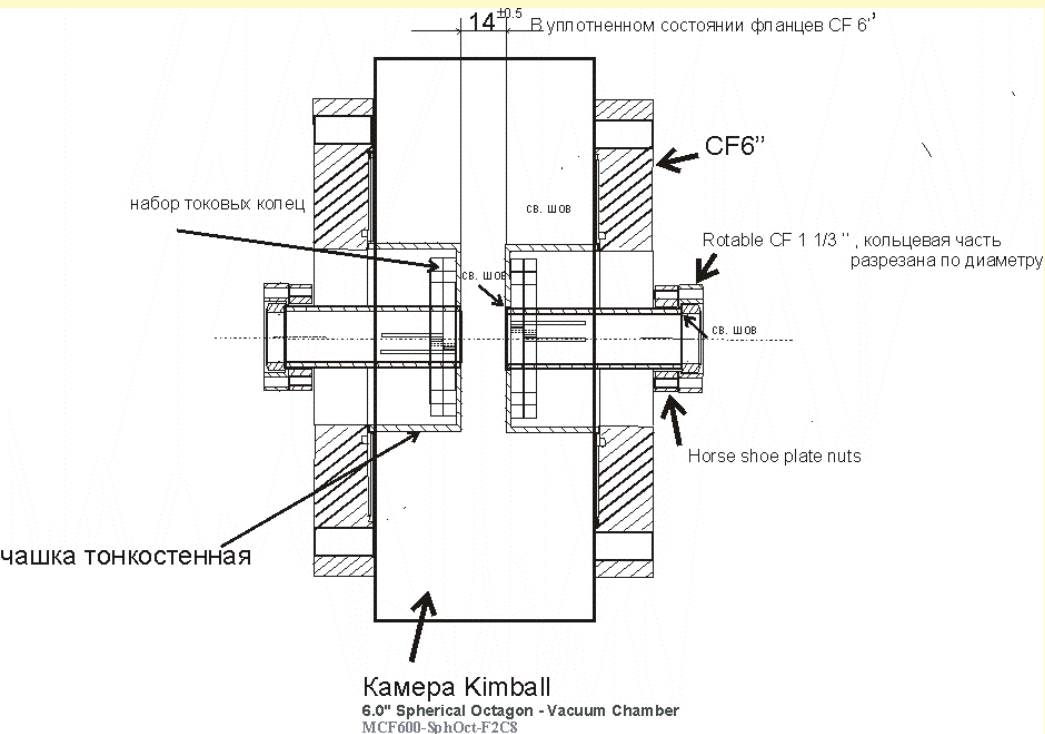
Резонанс насыщения на переходе 3P2 -3D3 магния.



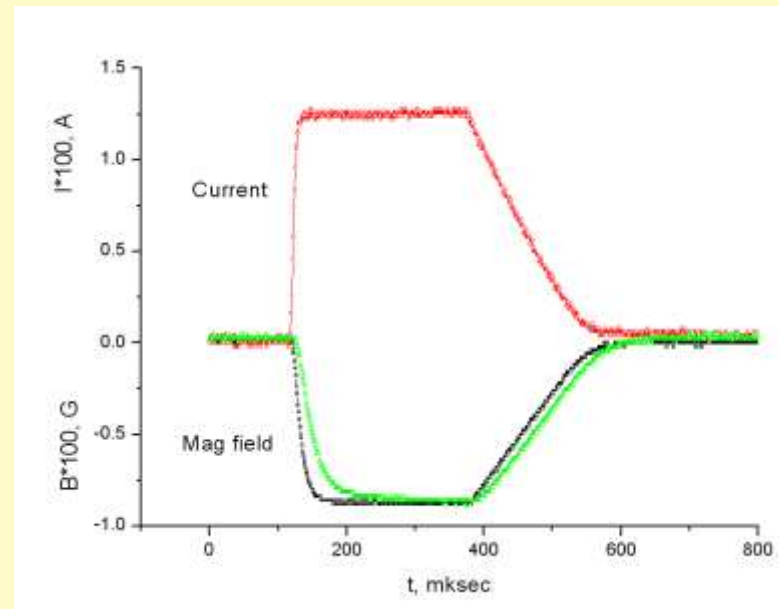
Лазер на 936 нм на основе TAL



Общий вид MOT LATTICE ловушки

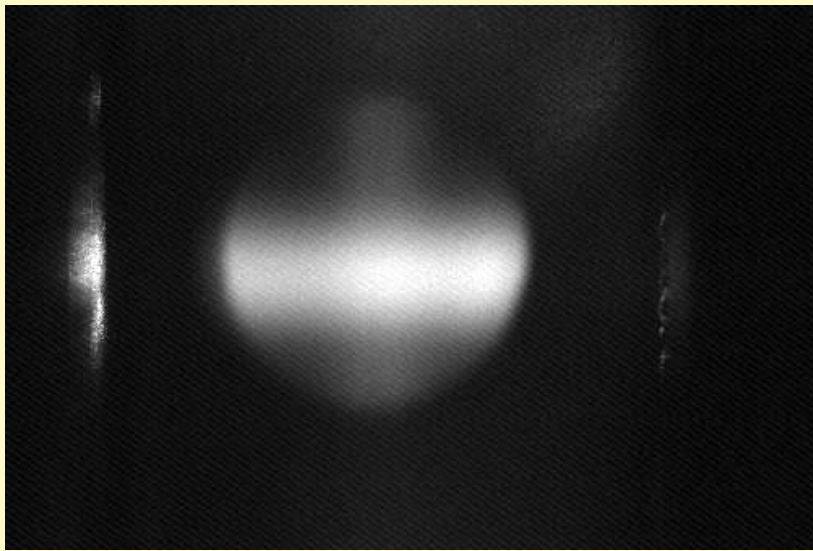


Конструкция ввода

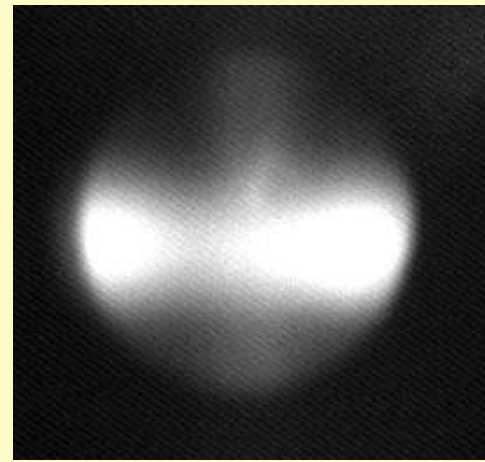


Проникновение магнитного поля
через вакуумную стенку на оси, $z=7$ мм
Одна обмотка

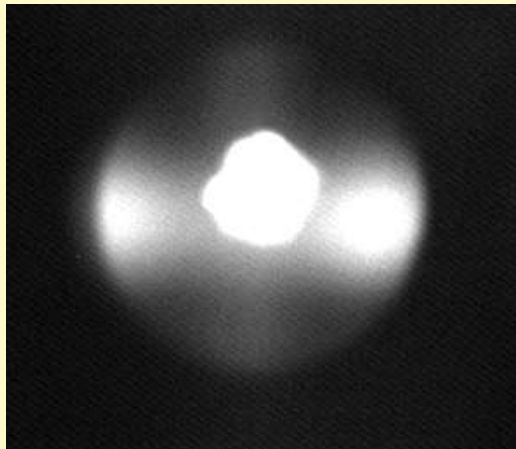
Ввод магнитного поля в вакуумную камеру



Магнитное поле выключено



Поле включено

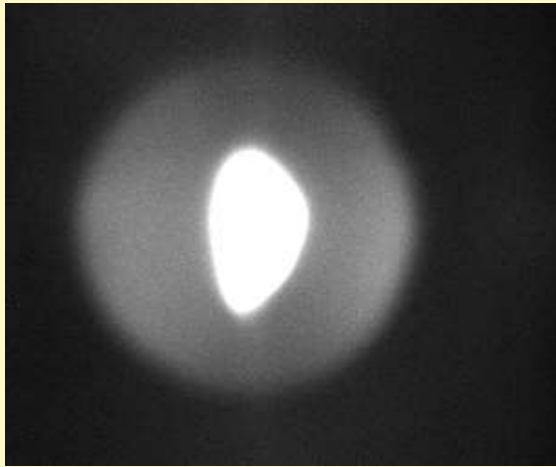


Подстройка пучков

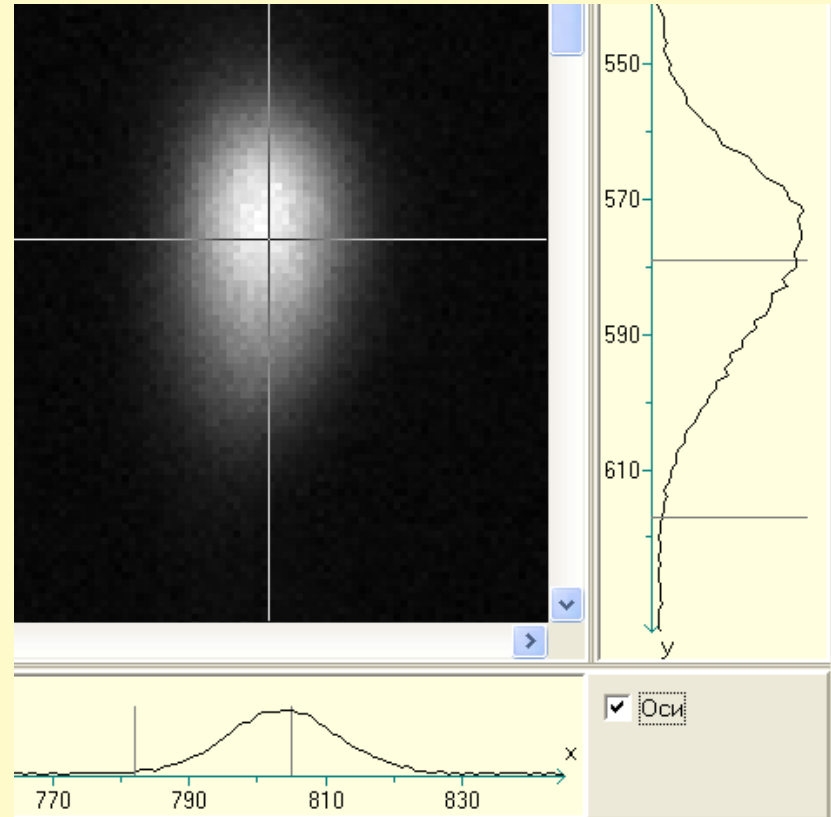


Экспозиция уменьшена в 40раз
Диаметр облака $1/e$ 0.7 мм

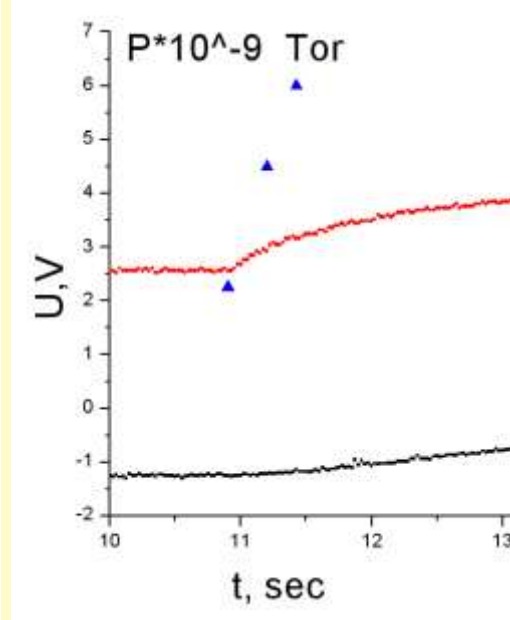
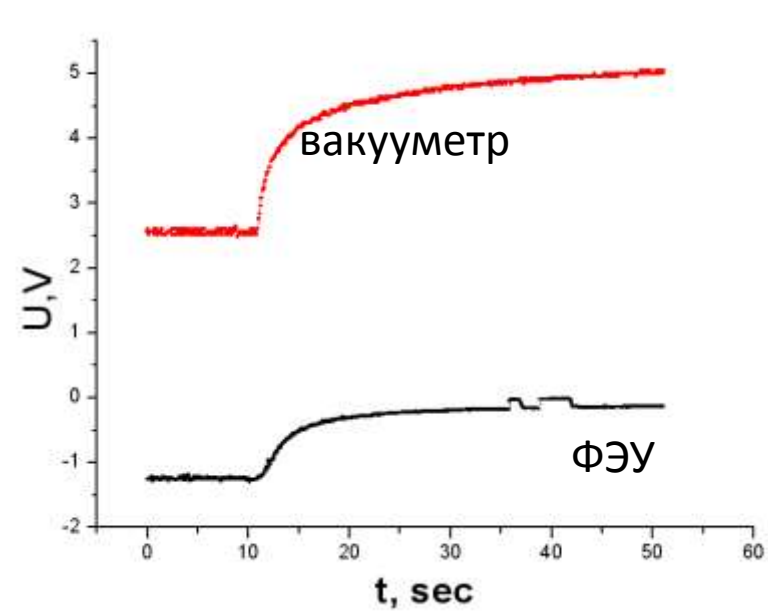
Вид на MOT навстречу магниевому пучку, 30 мВт, $2w_0=2$ мм, отстройка -50 МГц



Диаметр охлаждающих пучков
увеличен до $2w_0=5$ мм

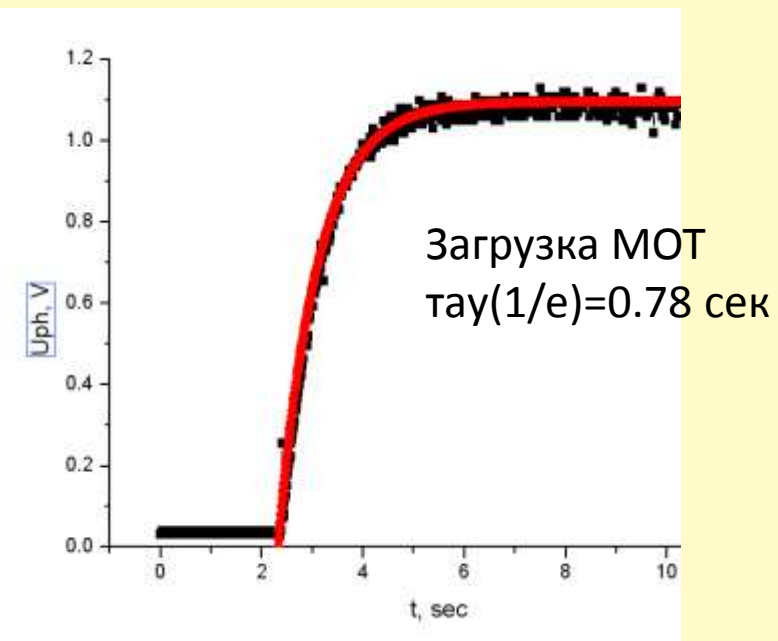


Экспозиция уменьшена в 50 раз
Размер изображения увеличен
Размер облака $1/e$ 0.8 * 1.2 мм



Число атомов магния в облаке падает в два раза при $P=3 \cdot 10^{-8}$ Торр

Выключение откачки



Везде мощность на 285 нм 30 мВт
 $2w_0 = 5$ мм

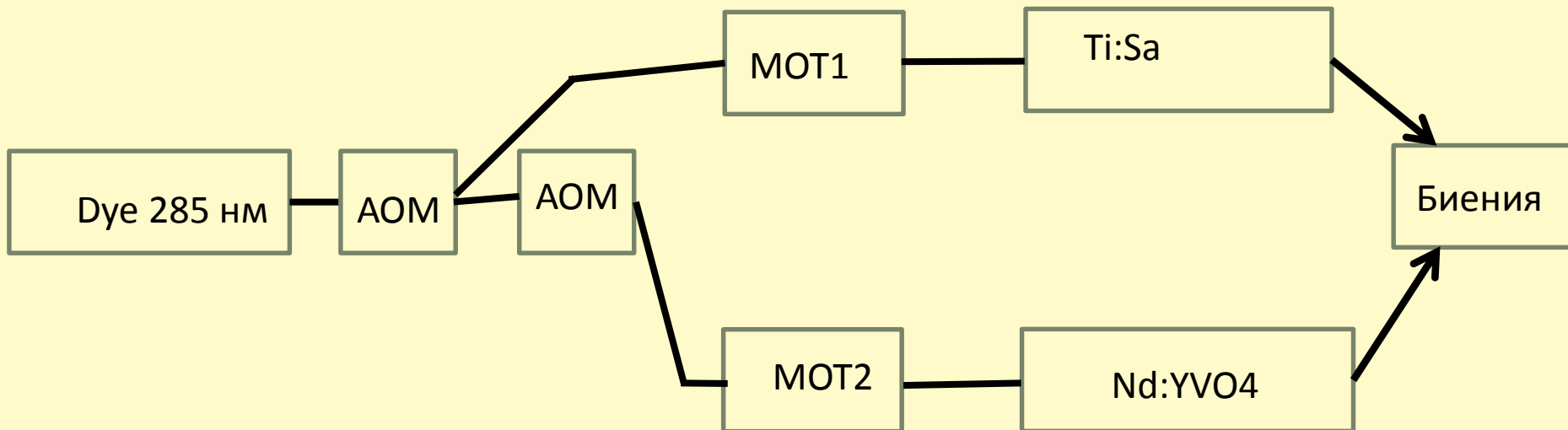


Схема возможного эксперимента

Работа поддерживалась:

РФФИ (грант # 15-02-06087)

РНФ (грант# 16-12-00054)

Особая благодарность коллегам :

Сергею Кузнецову

- проведение измерений с помощью фемтосекундного комба

Степану Игнатовичу - за опорный Yb:Yag/I2 лазер

Вадиму Васильеву, Сергею Фарносову, Николаю Квашнину,

Владимиру Гительсону

– за поддержку с электронными системами

Заключение

Созданы лазерные системы для субдоплеровского охлаждения атомов магния

Получена мощность 200 мВт от второй часовой системы (Nd:YVo4)

Получены резонансы насыщенного поглощения на переходе триплетного охлаждения.

Получено разрешение ~ 400 Гц в холодных атомов магния в МОЛ на переходе $1S_0 - 3P_1$

Улучшены результаты по стабилизации по резонансам Рамси $5 \cdot 10^{-15}$



Спасибо за внимание

