

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт
физико-технических и радиотехнических измерений»

«Измерения абсолютного значения частоты часового перехода 1S_0 - 3P_0 в атомах ^{87}Sr »

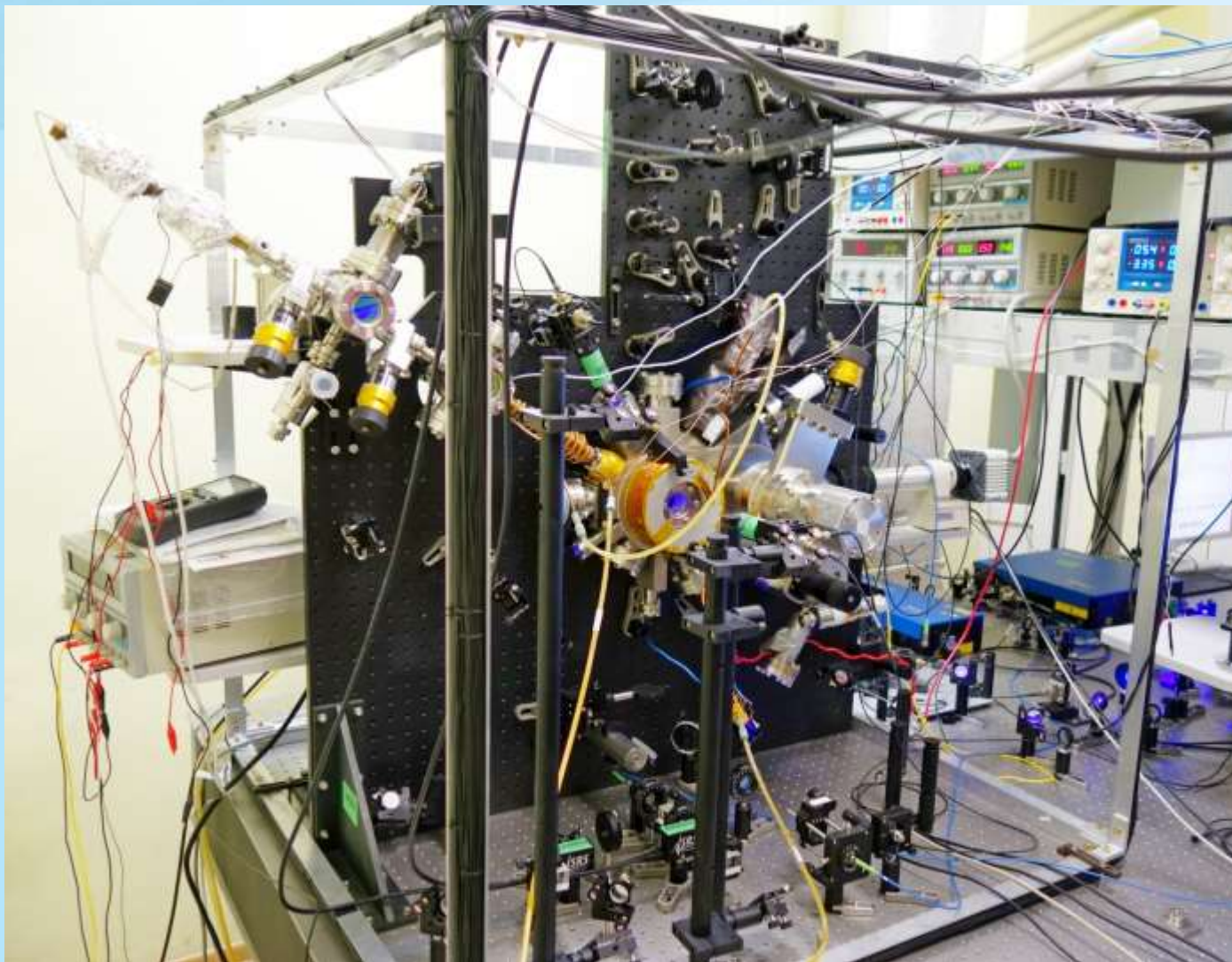
С.А. Стрелкин, О.И. Бердасов, А.Ю. Грибов, Д.В. Сутырин, Г.С. Белотелов,
С.Н. Слюсарев

Москва, 2017

План

1. Подготовка ансамбля атомов ^{87}Sr
 - Первичное охлаждение
 - Вторичное охлаждение
 - Пленение атомов в оптическую решетку
2. Лазерная система для спектроскопии часового перехода
3. Спектроскопия часового перехода
4. Сличение оптического стандарта частоты на атомах ^{87}Sr с водородным мазером
5. Сличение двух оптических стандартов частоты на атомах ^{87}Sr и ^{88}Sr
6. Предварительный результат определения абсолютного значения частоты часового перехода атомов ^{87}Sr

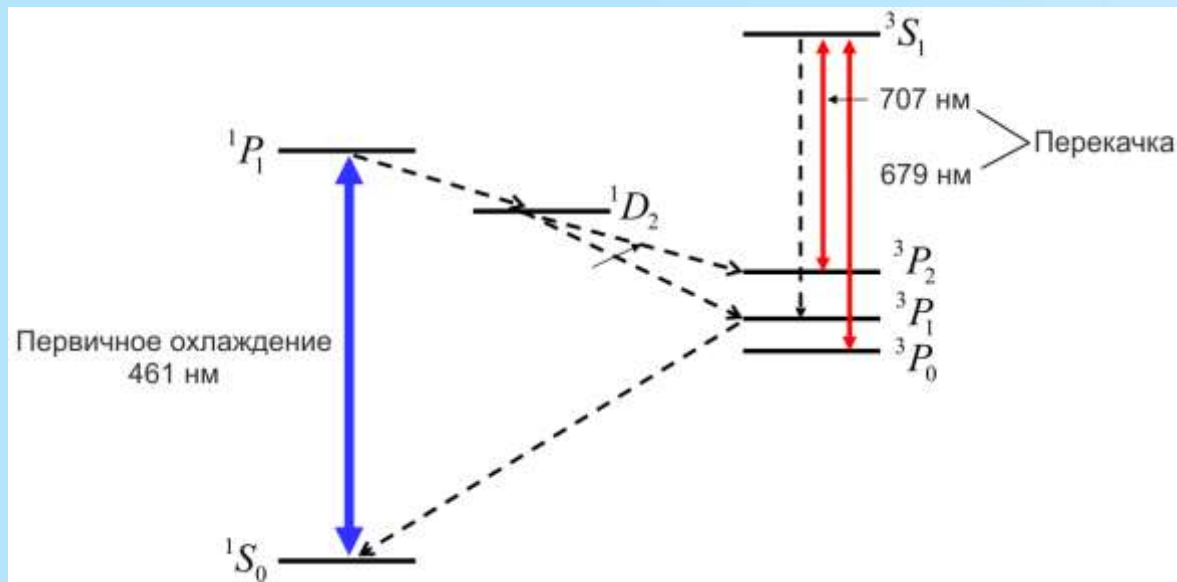
Экспериментальная установка



Первичное охлаждение

Изотопный состав стронция:

Изотоп	Ядерный спин (I)	Содержание (%)
^{88}Sr	0	82.6
^{87}Sr	9/2	7.0
^{86}Sr	0	9.9
^{84}Sr	0	0.56



Первичное охлаждение ($^1S_0 - ^1P_1$)

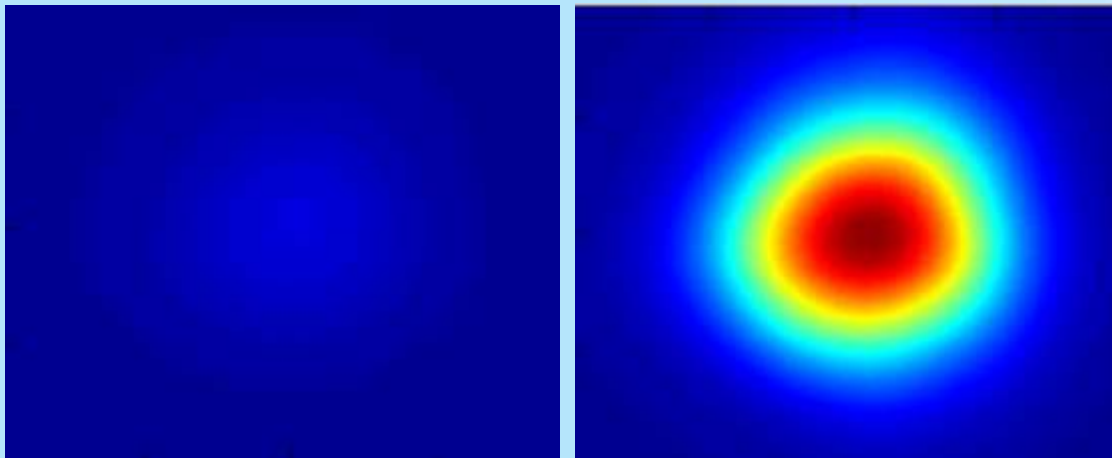
$$T_D = 770 \text{ мкК}$$

$$\gamma = 30 \text{ МГц}$$

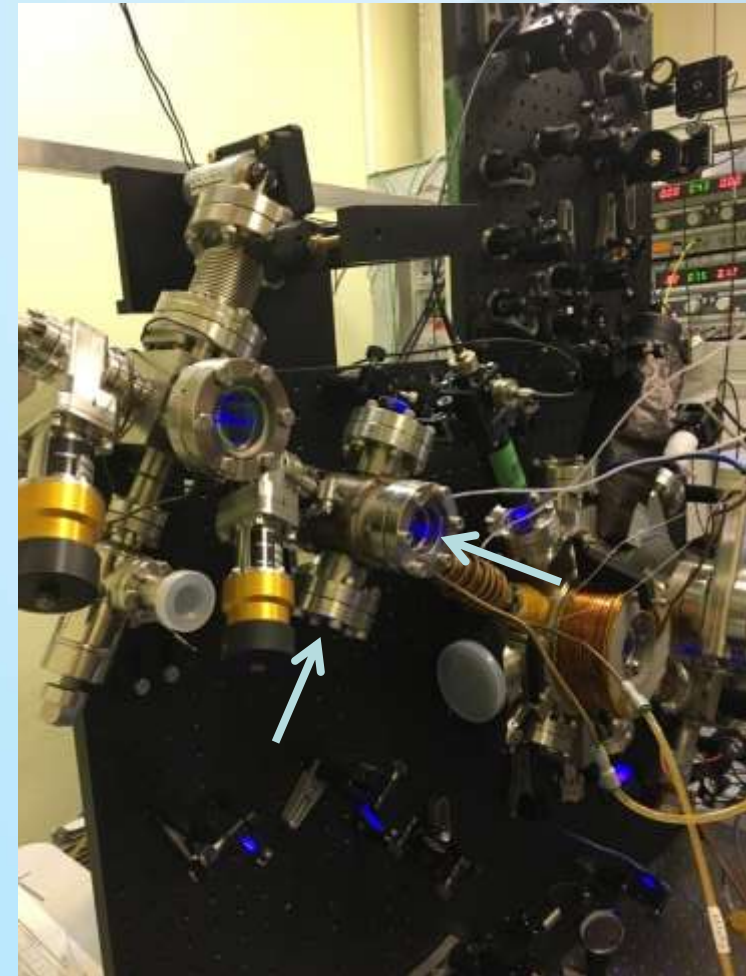
Схема уровней, задействованных в процессе первичного охлаждения

Первичное охлаждение

- Введение дополнительной модуляции для лазера перекачки 707 нм:
 - ширина модуляции: 6 ГГц
 - частота модуляции: 800 Гц
- Введение дополнительных коллимирующих пучков

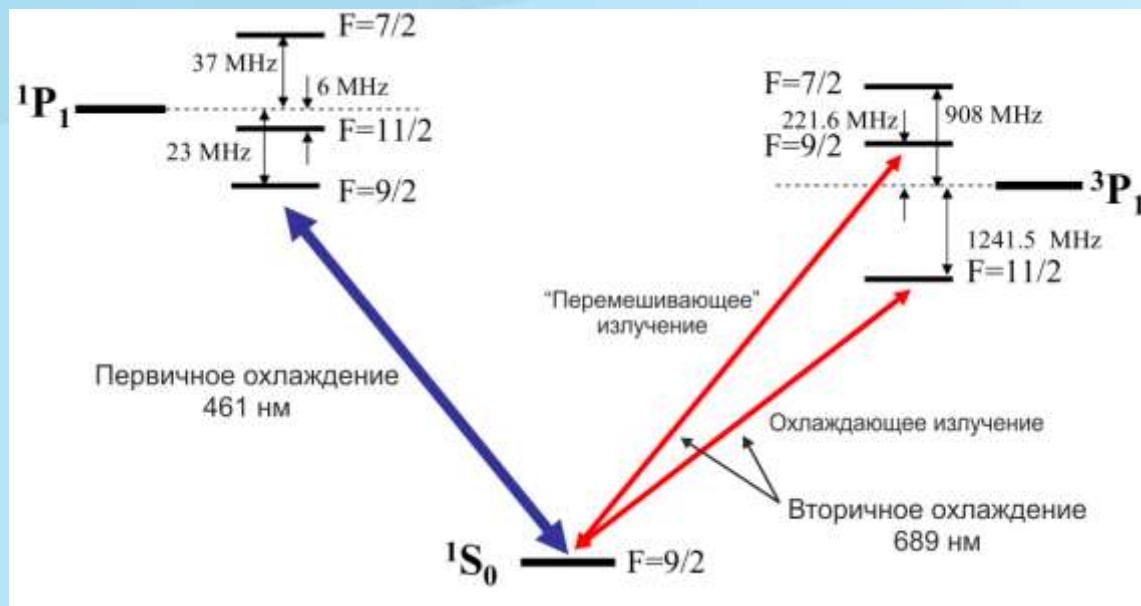


Увеличение количества атомов в первичной МОЛ
в **12 раз**



Реализация коллимирующих пучков

Вторичное охлаждение



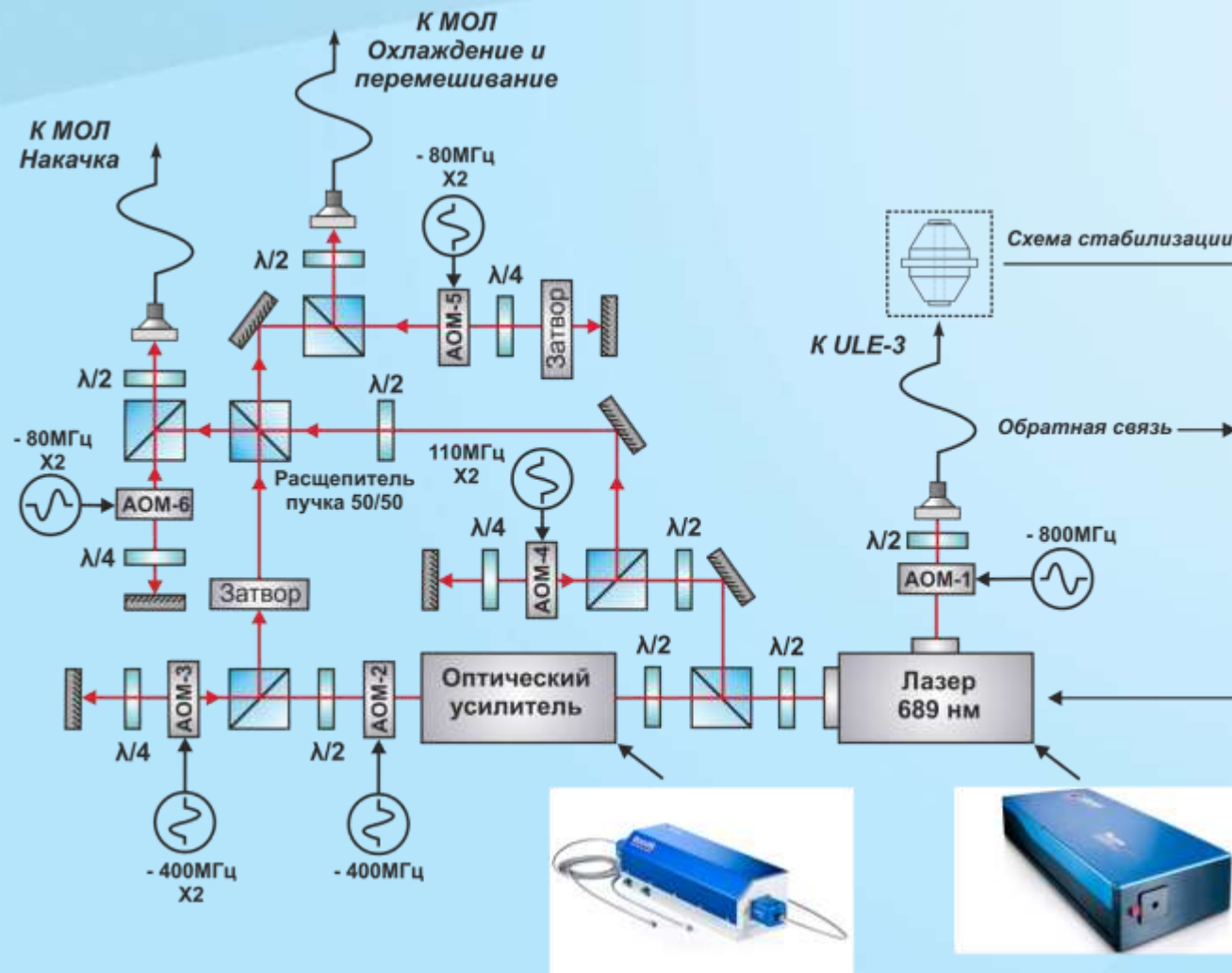
Вторичное охлаждение ($^1S_0 - ^3P_1$)

$$T_D = 200 \text{ нК}$$

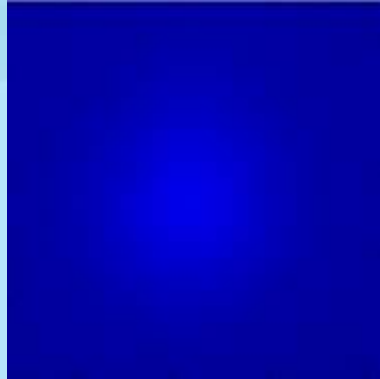
$$\gamma = 7,6 \text{ кГц}$$

Для восстановления требуемого распределения населенностей помимо охлаждающего лазера на частоте перехода 1S_0 ($F = 9/2$) – 3P_1 ($F' = 11/2$) используется дополнительное излучение перекачки на частоте перехода 1S_0 ($F = 9/2$) – 3P_1 ($F' = 9/2$) (F – квантовое число полного углового момента атома).

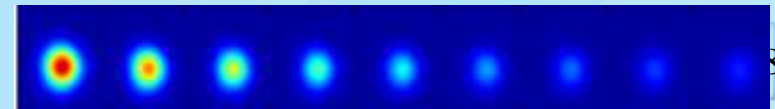
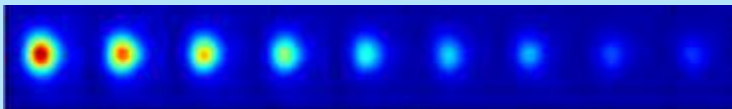
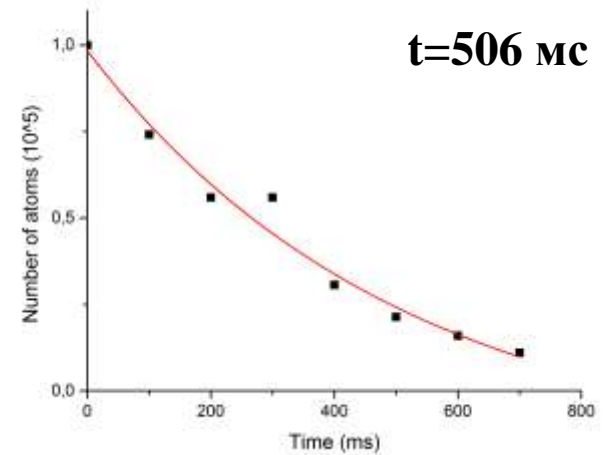
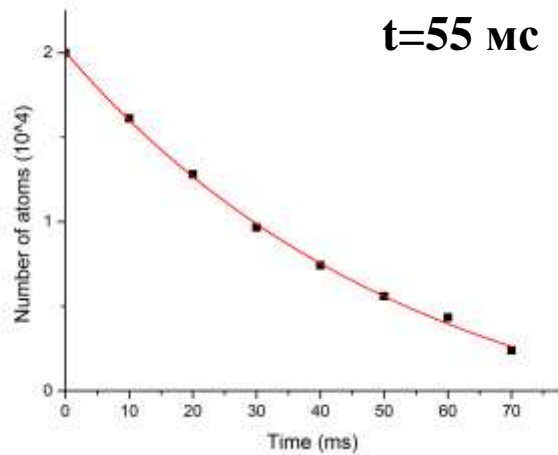
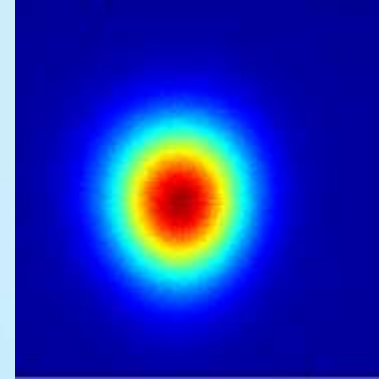
Лазерная система для вторичного охлаждения



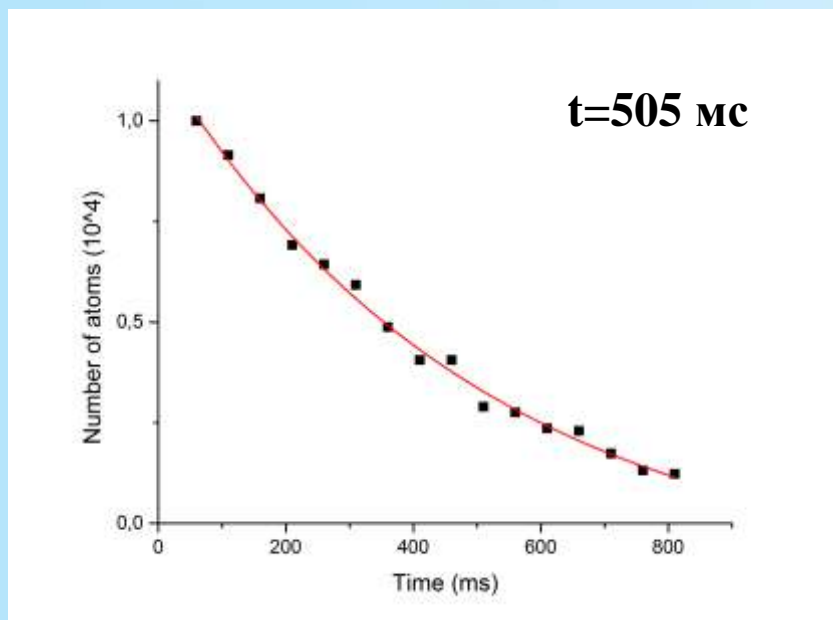
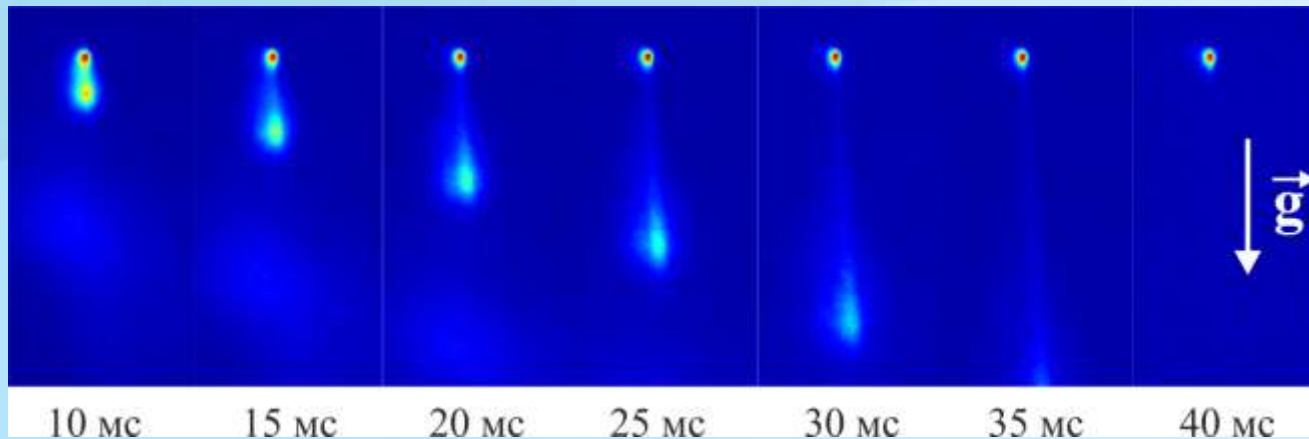
Влияние перемешивающего лазера на количество атомов и время жизни во вторичной МОЛ



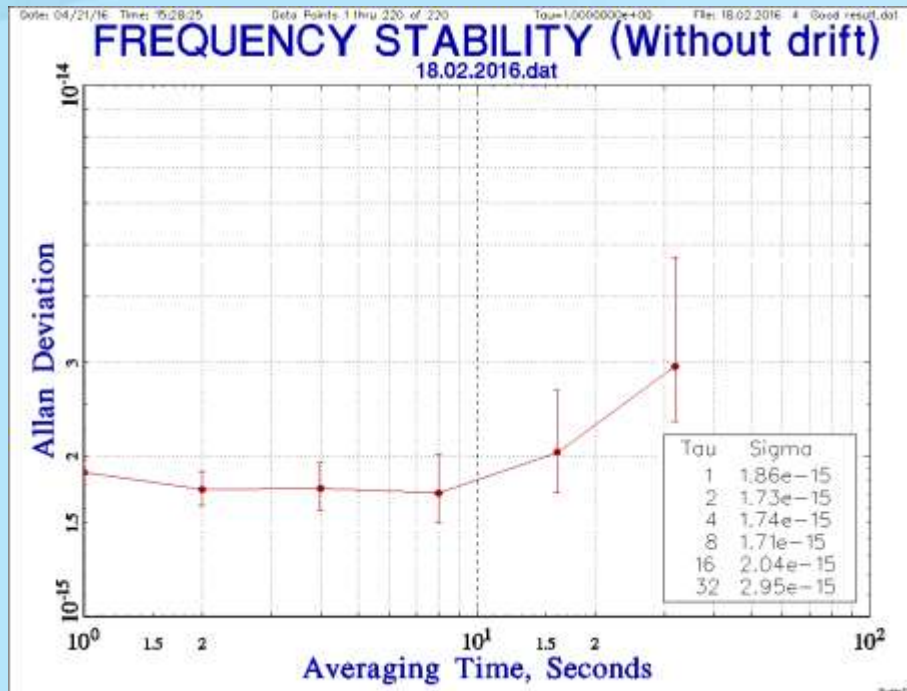
Увеличение количества атомов в 5 раз



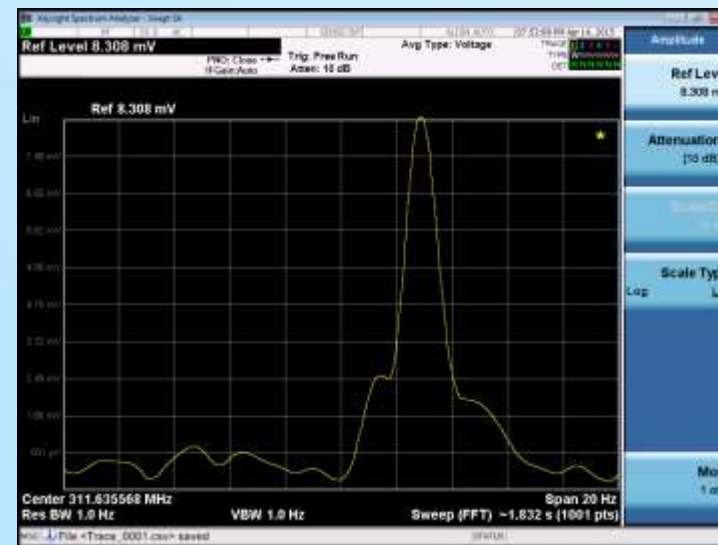
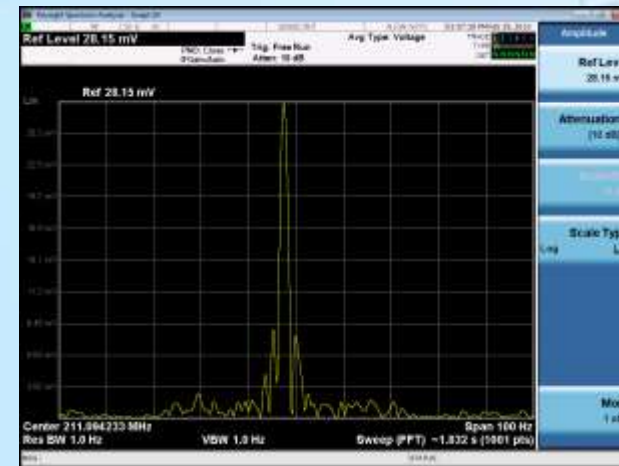
Время жизни атомов в оптической решетке



Лазерная система для спектроскопии часового перехода

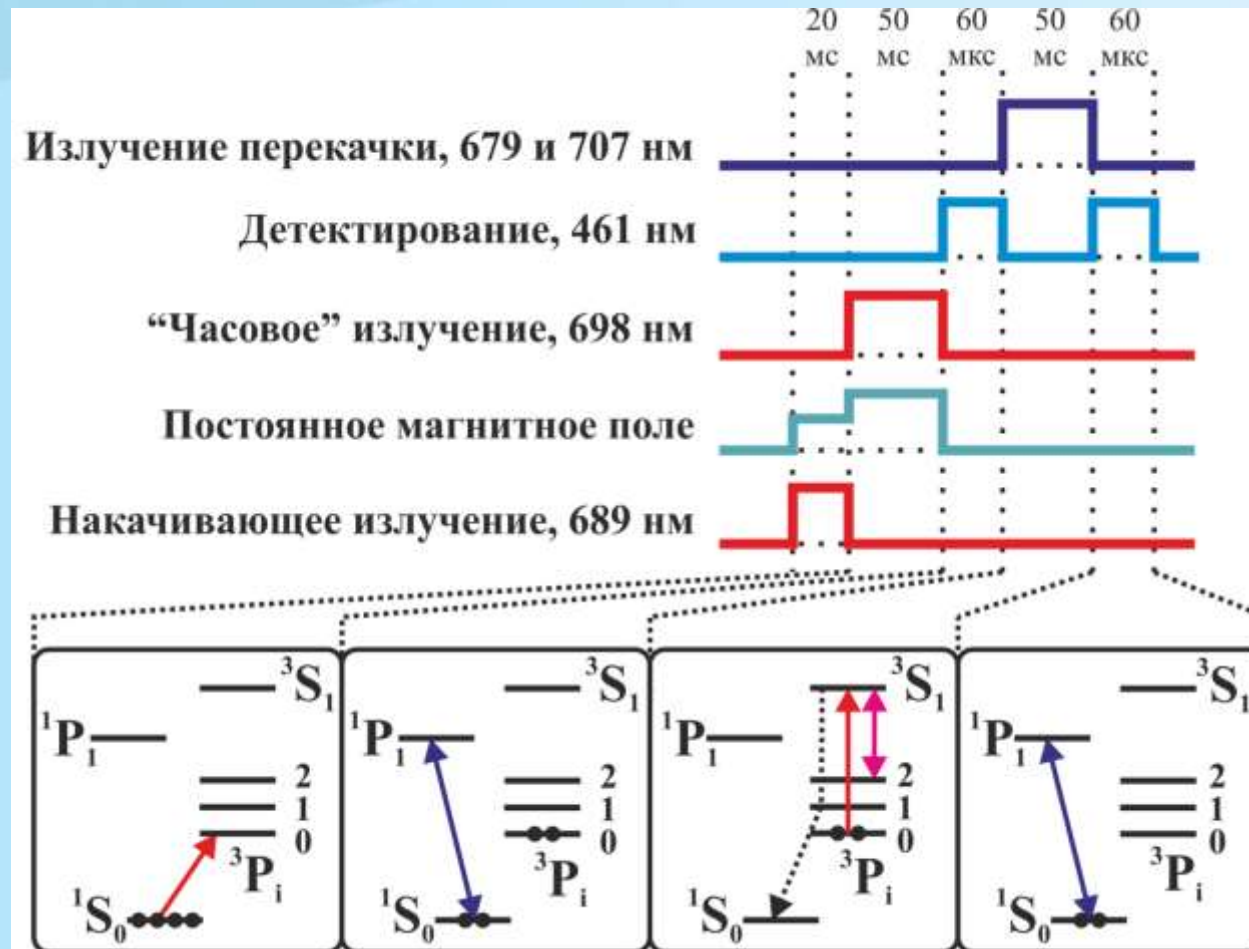


Девиация Аллана частоты сигнала биений двух идентичных лазерных систем, стабилизированных по УЛР резонаторам



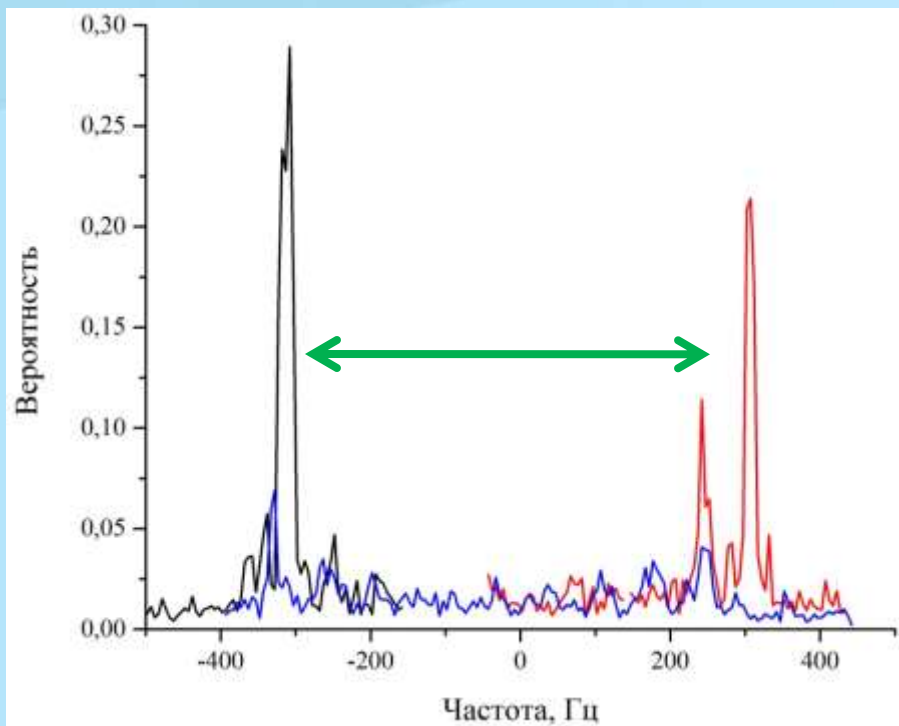
Спектр сигнала биений двух идентичных лазерных систем для спектроскопии часового перехода

Спектроскопия часового перехода

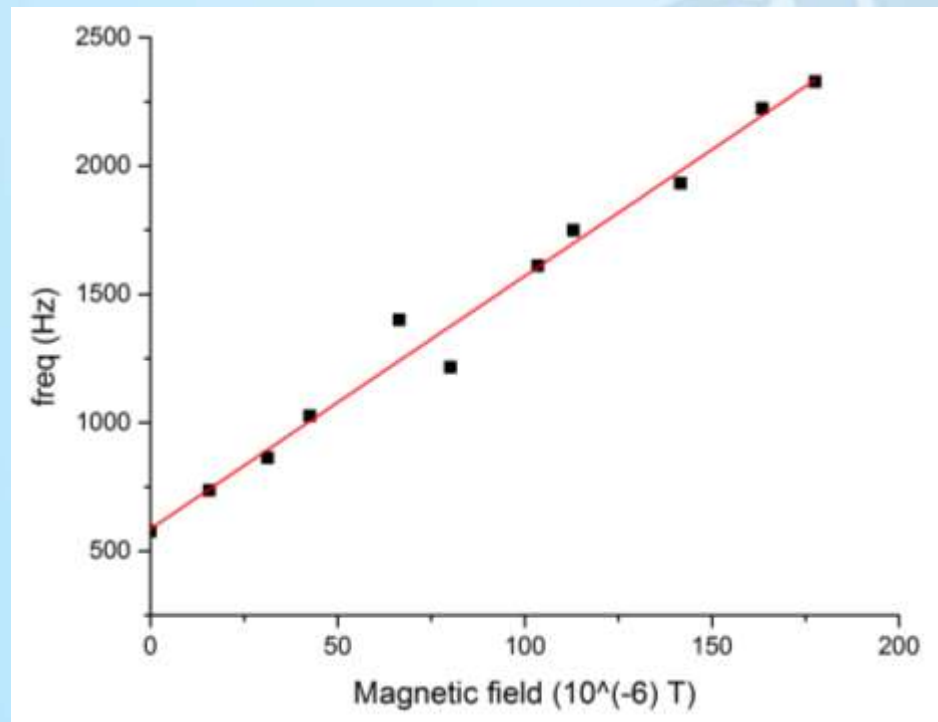


Пошаговый процесс спектроскопии «часового» перехода и временная диаграмма последовательности импульсов лазерного излучения и магнитного поля

Спектроскопия часового перехода



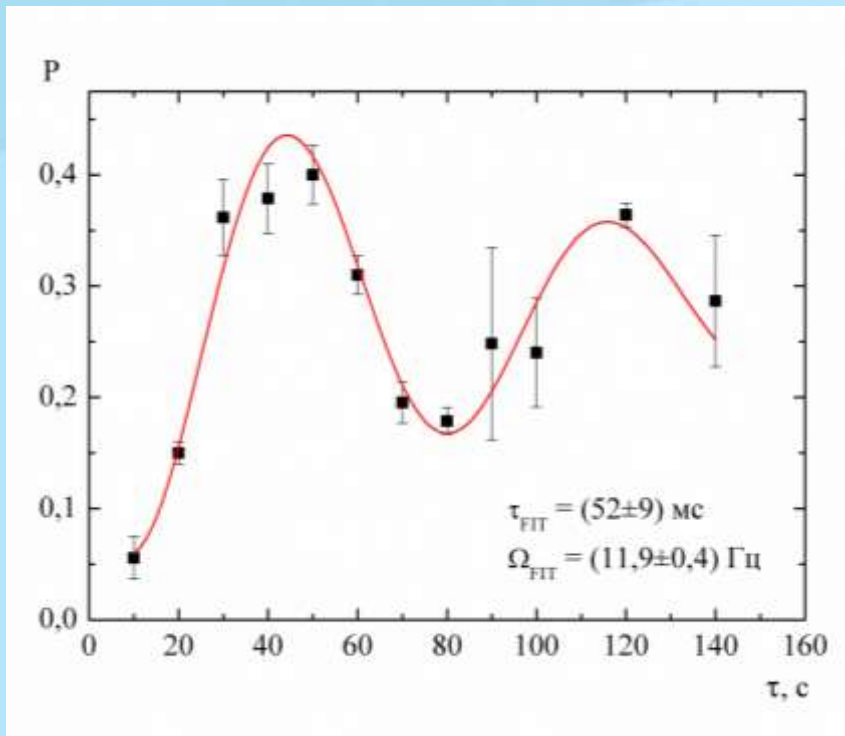
Спектр «часового» перехода $1S_0-3P_0$ в отсутствие перекачивающего излучения 689 нм (синий); после осуществления накачки в состояния $+9/2$ (красный) и $-9/2$ (черный)



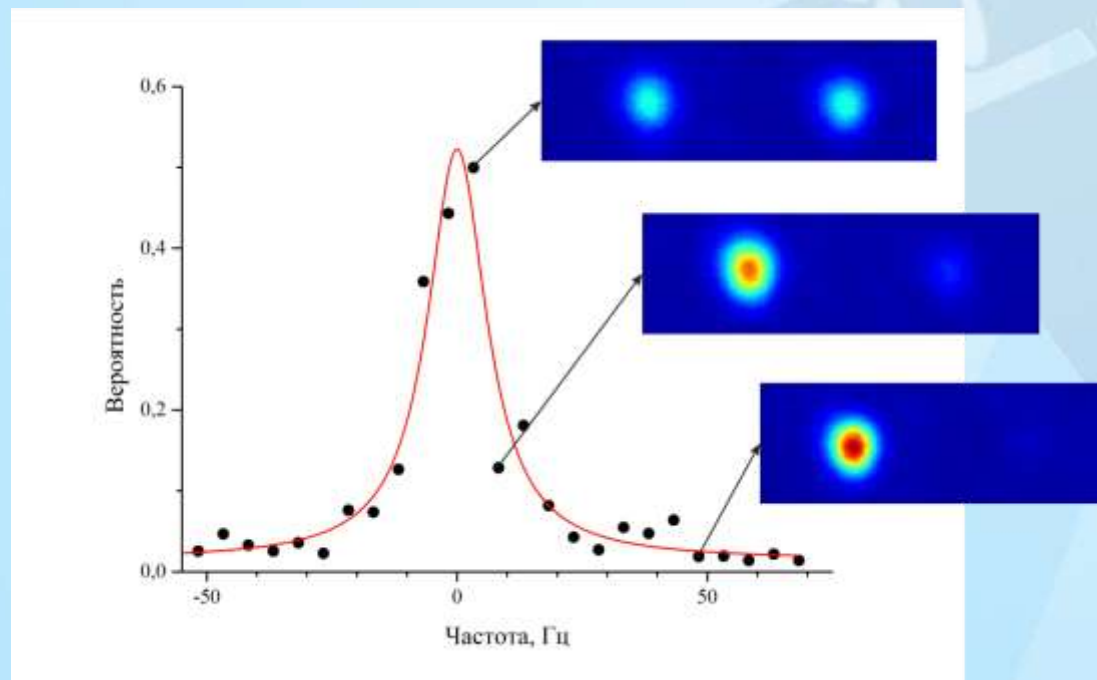
Зависимость расстояния между переходами $1S_0-3P_0$ ($-9/2 \rightarrow -9/2$) и ($9/2 \rightarrow 9/2$) от величины внешнего магнитного поля

Величина остаточного магнитного поля ~ 59 мкТ

Спектроскопия часового перехода

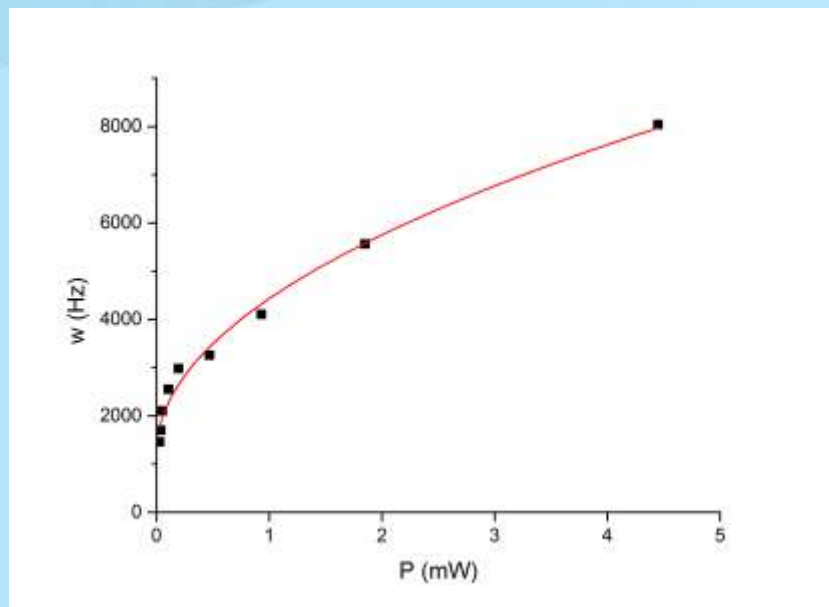


Определение частоты Раби

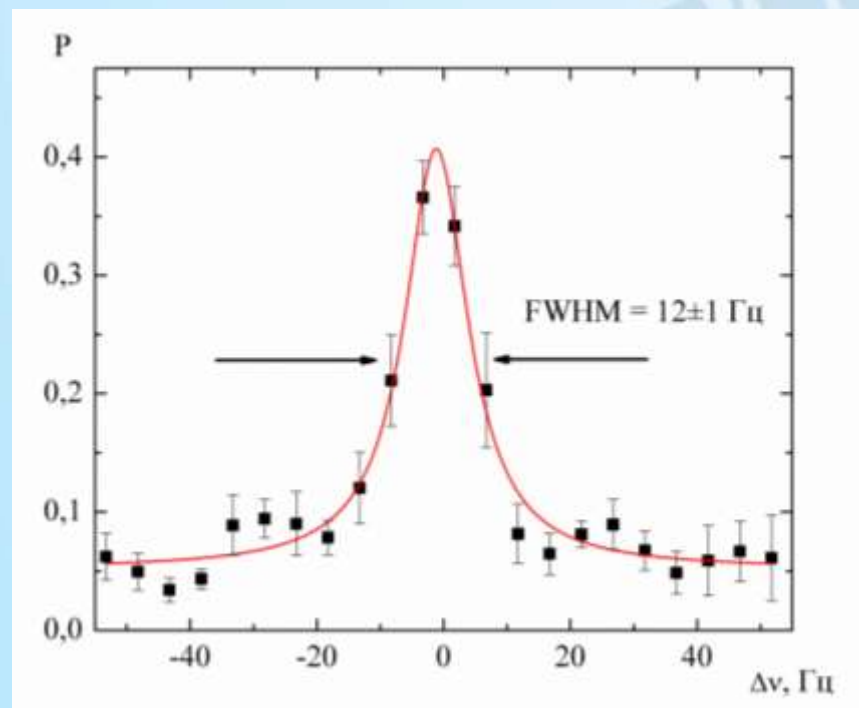


Спектр часового перехода (FWHM=14 Гц). Фотографии облака атомов в оптической решетке при первом и втором детектирующем импульсе, соответствующие указанным точкам спектра

Спектроскопия часового перехода

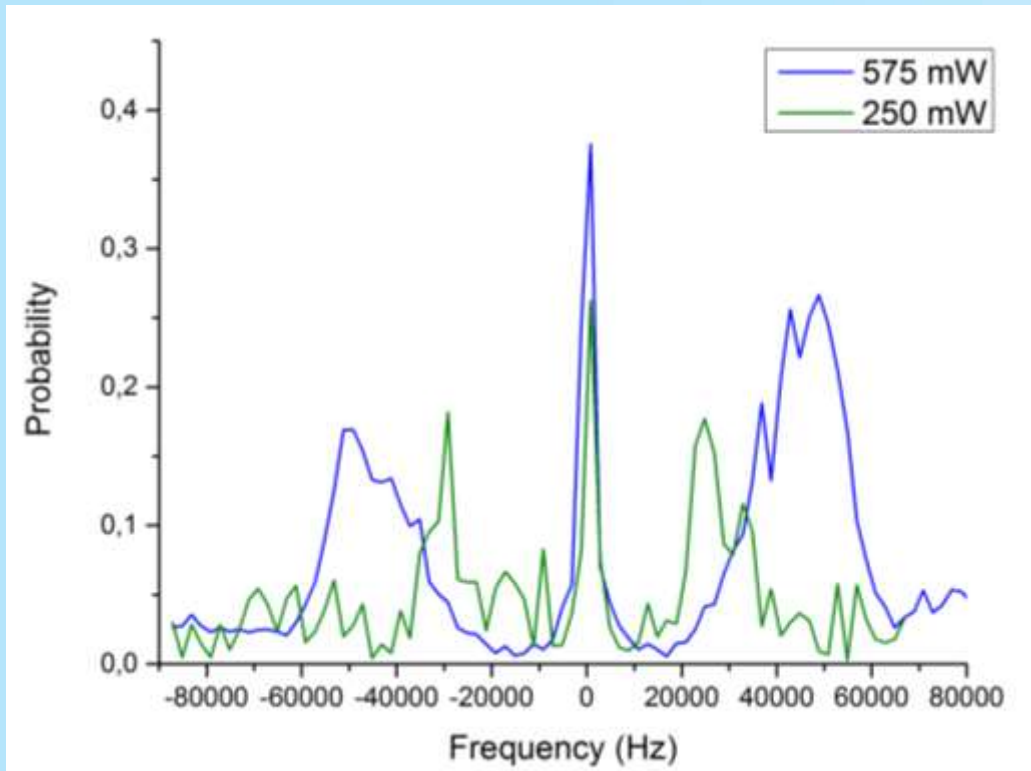


Зависимость ширины спектра часового перехода от мощности часового излучения



Спектр «часового» перехода

Оценка глубины оптической решетки



- $\lambda_{\text{magic}} = 813,418(10)$ нм
- Частота продольных боковых полос – 50 кГц
- Глубина оптической решетки: $U_{\text{trap}} \approx 56 E_{\text{rec}}$

Измерение абсолютного значения частоты

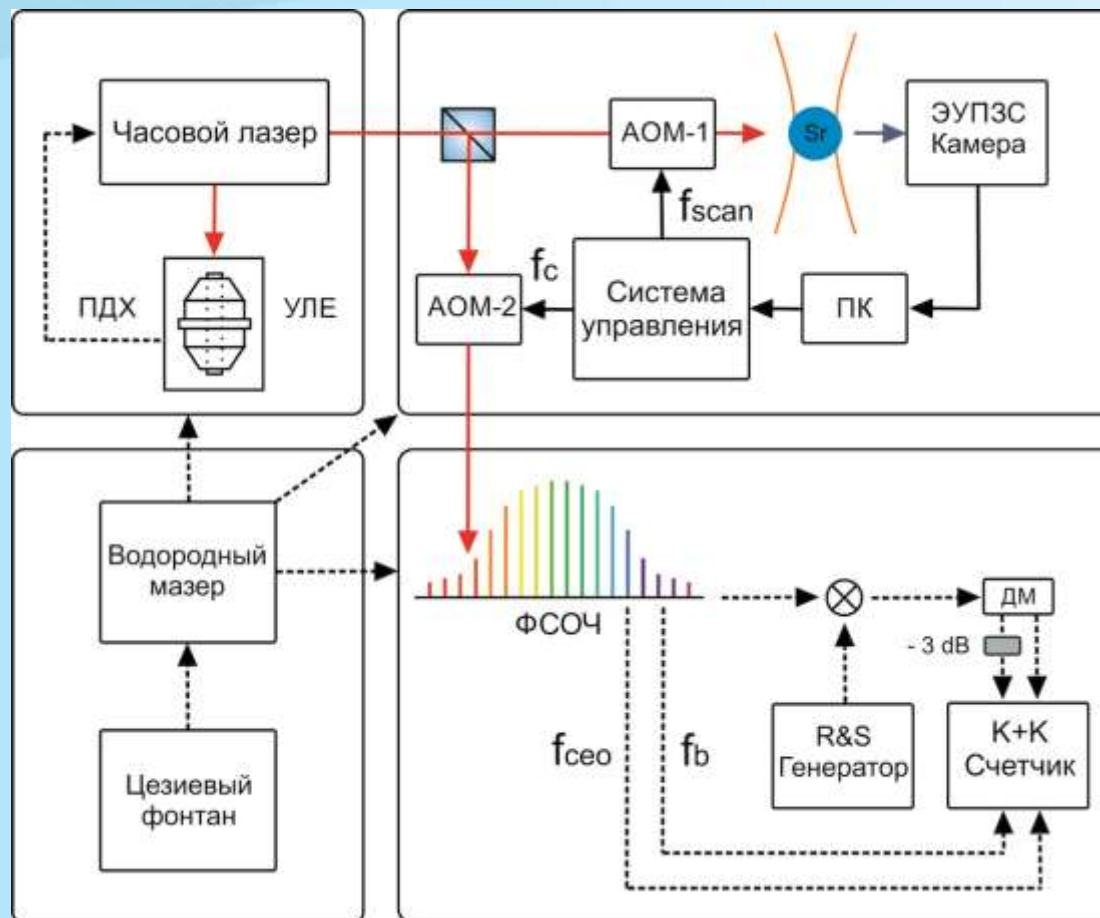
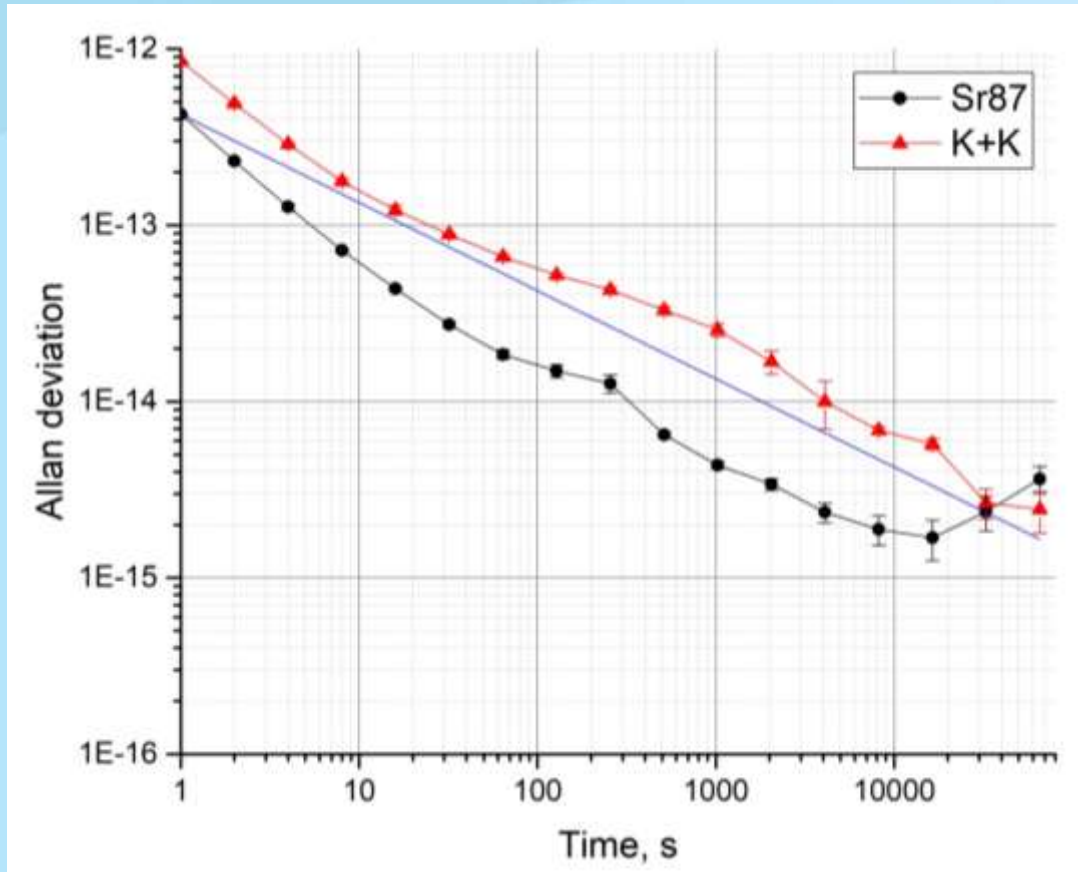
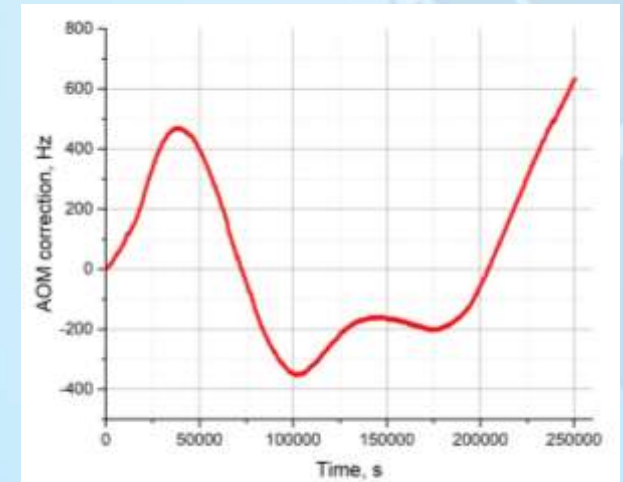


Схема измерений

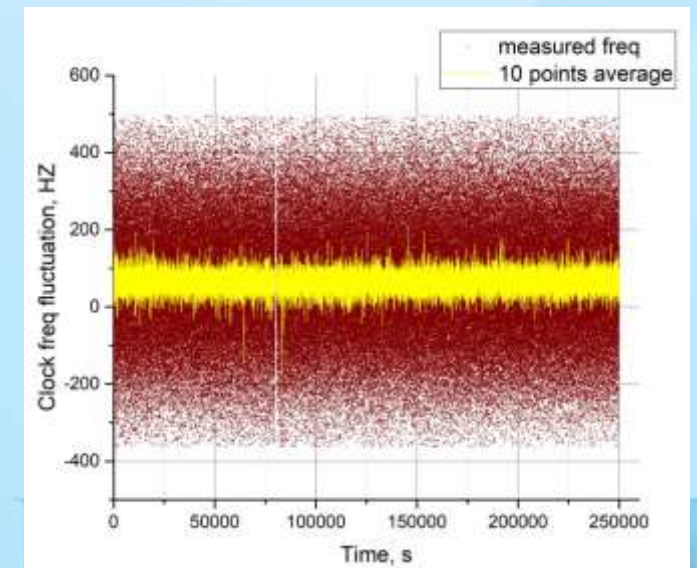
Измерение абсолютного значения частоты



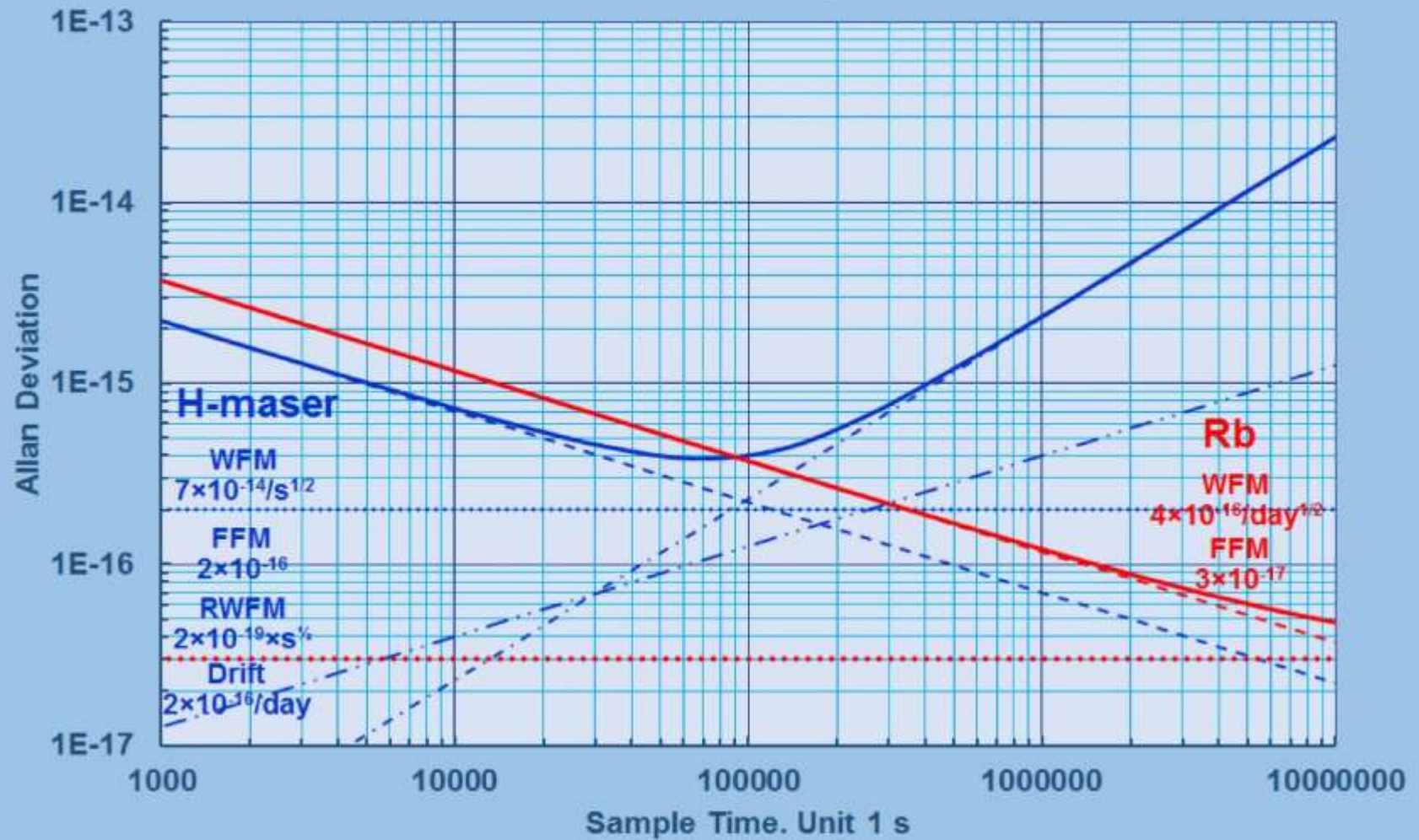
Относительная нестабильность оптического репера на атомах ^{87}Sr при сличении с водородным мазером



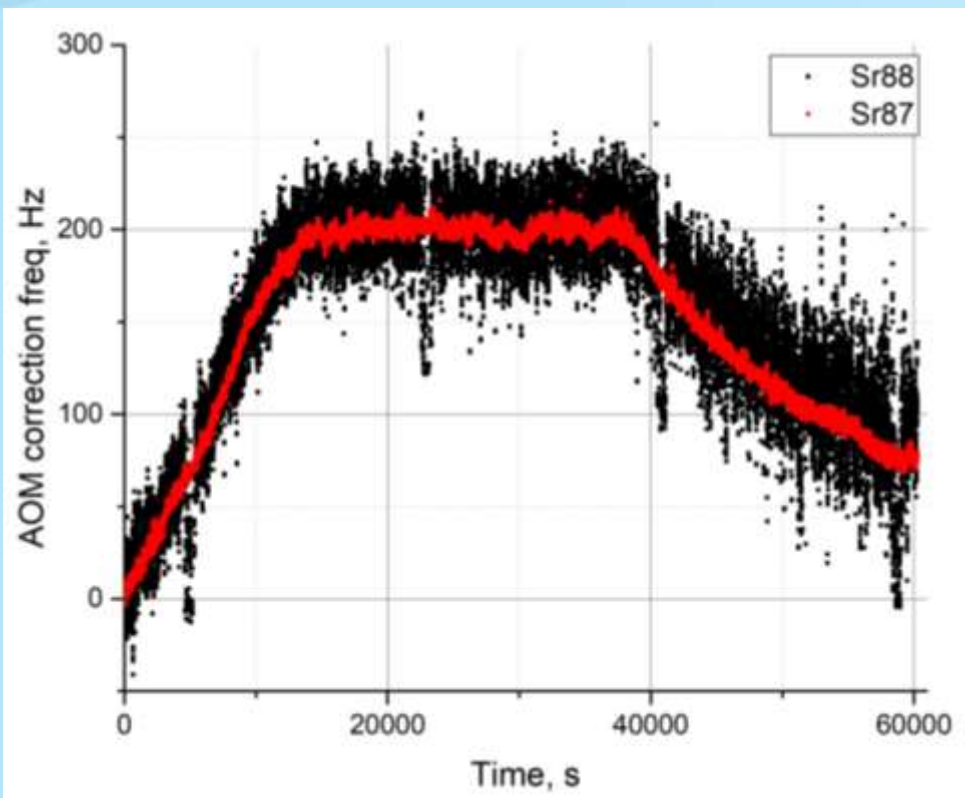
Корректировочная частота АОМа за вычетом линейного дрейфа



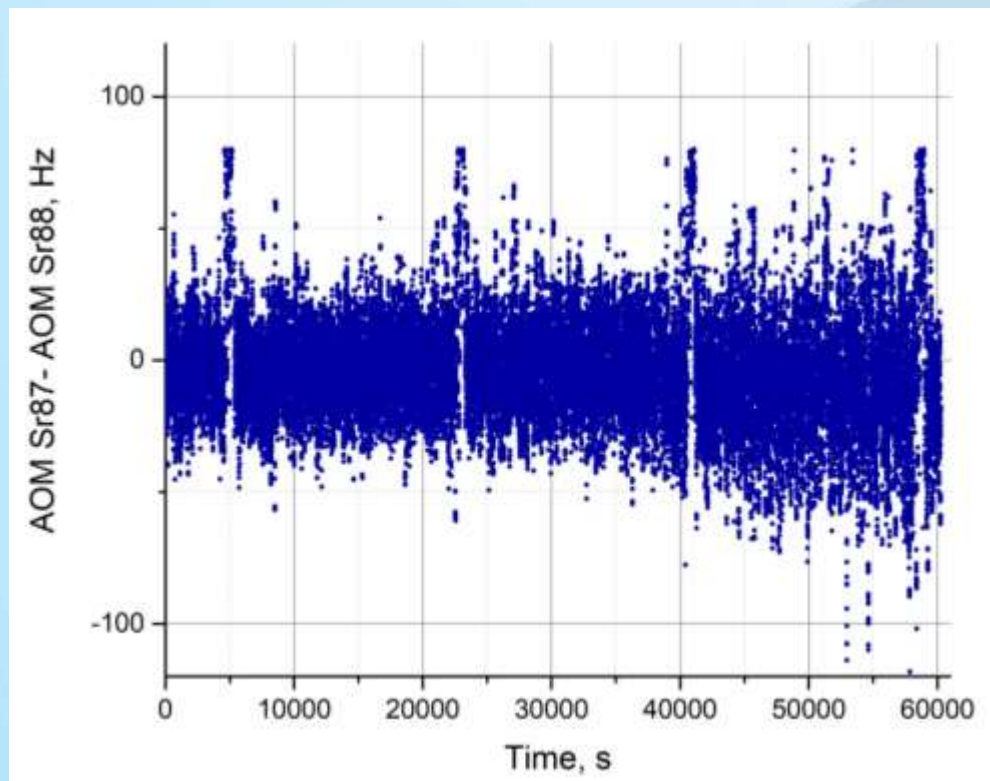
Rb/H-maser Stability Plot



Сличение оптических стандартов частоты на атомах ^{87}Sr и ^{88}Sr

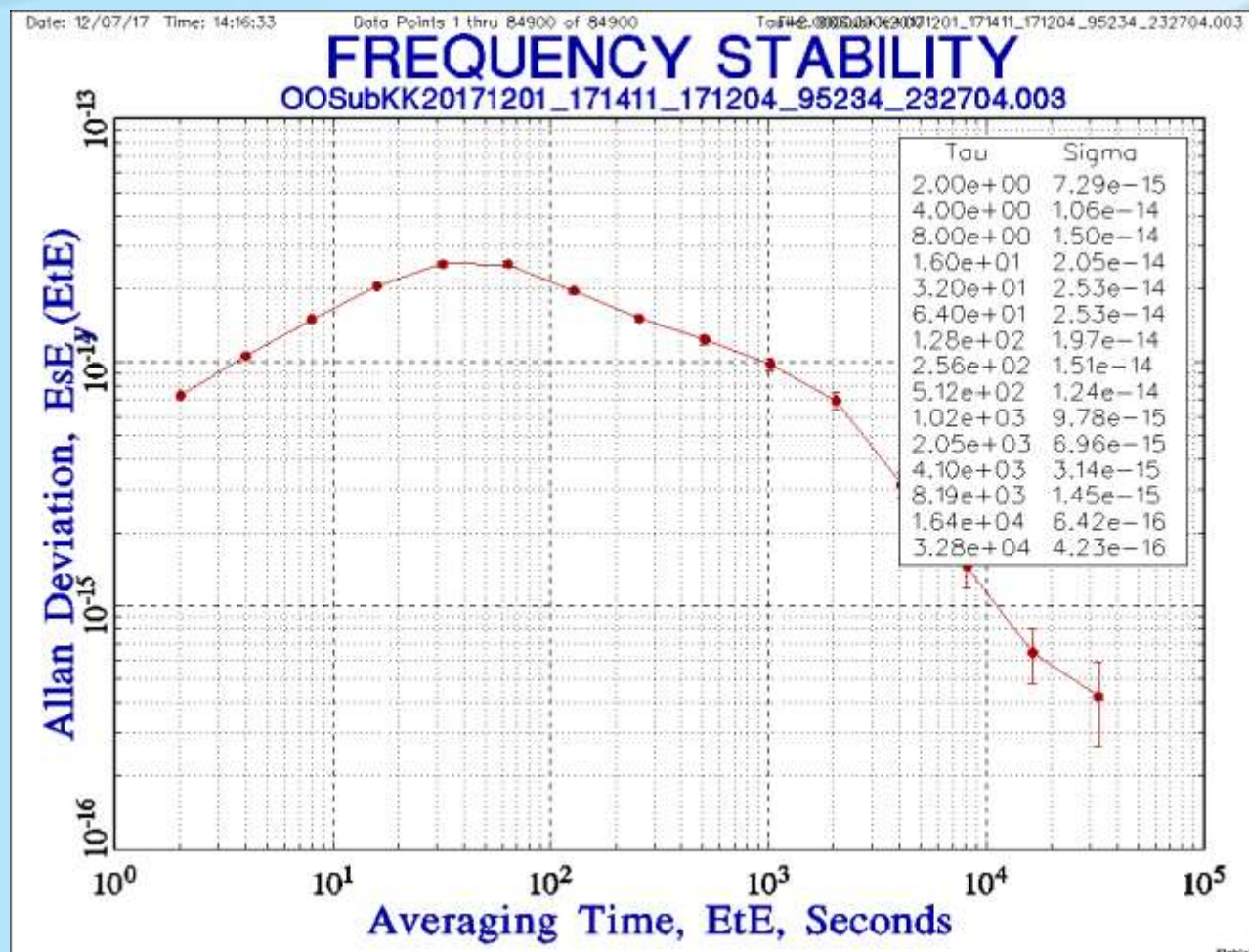


Корректировочная частота АОМов, используемых для настройки на часовой переход атомов ^{87}Sr и ^{88}Sr , за вычетом линейного дрейфа

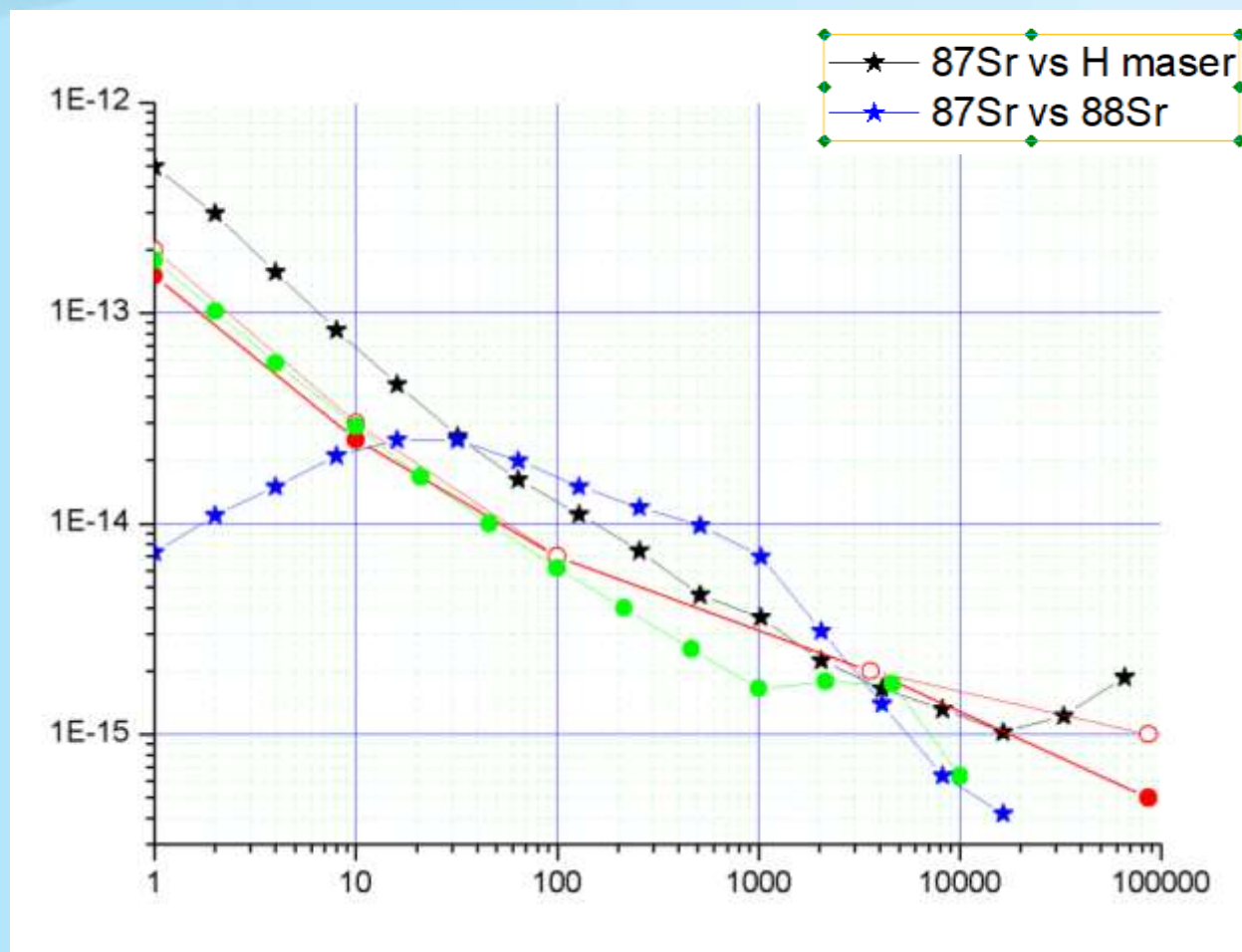


Разность частот АОМов, используемых для настройки на часовой переход атомов ^{87}Sr и ^{88}Sr

Сличение оптических стандартов частоты на атомах ^{87}Sr и ^{88}Sr

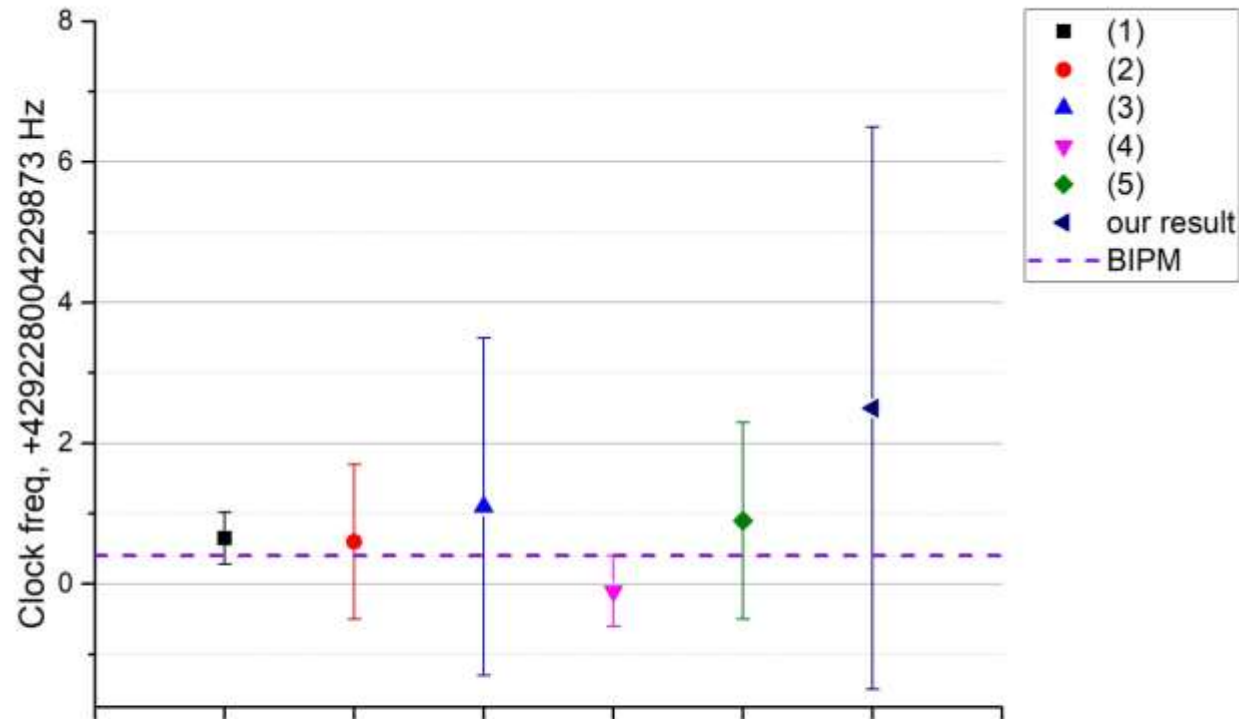


Сличение оптических стандартов частоты на атомах ^{87}Sr и ^{88}Sr



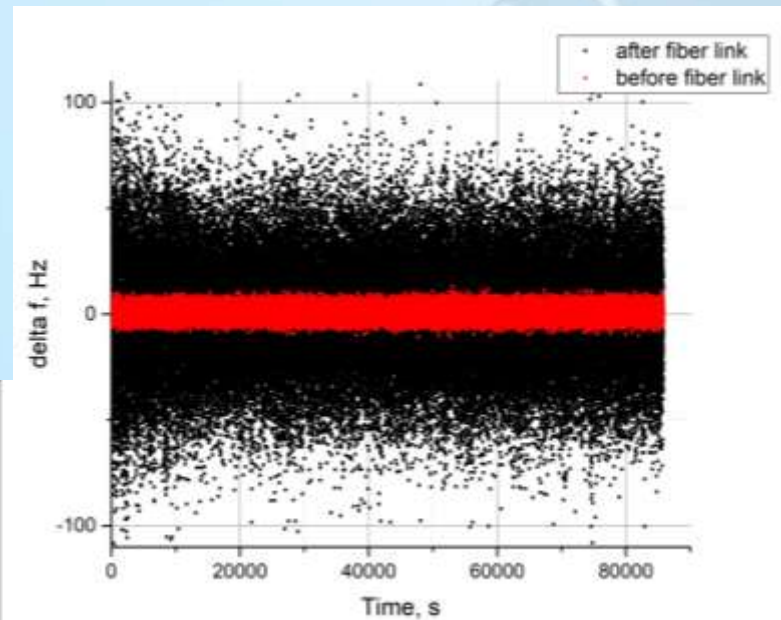
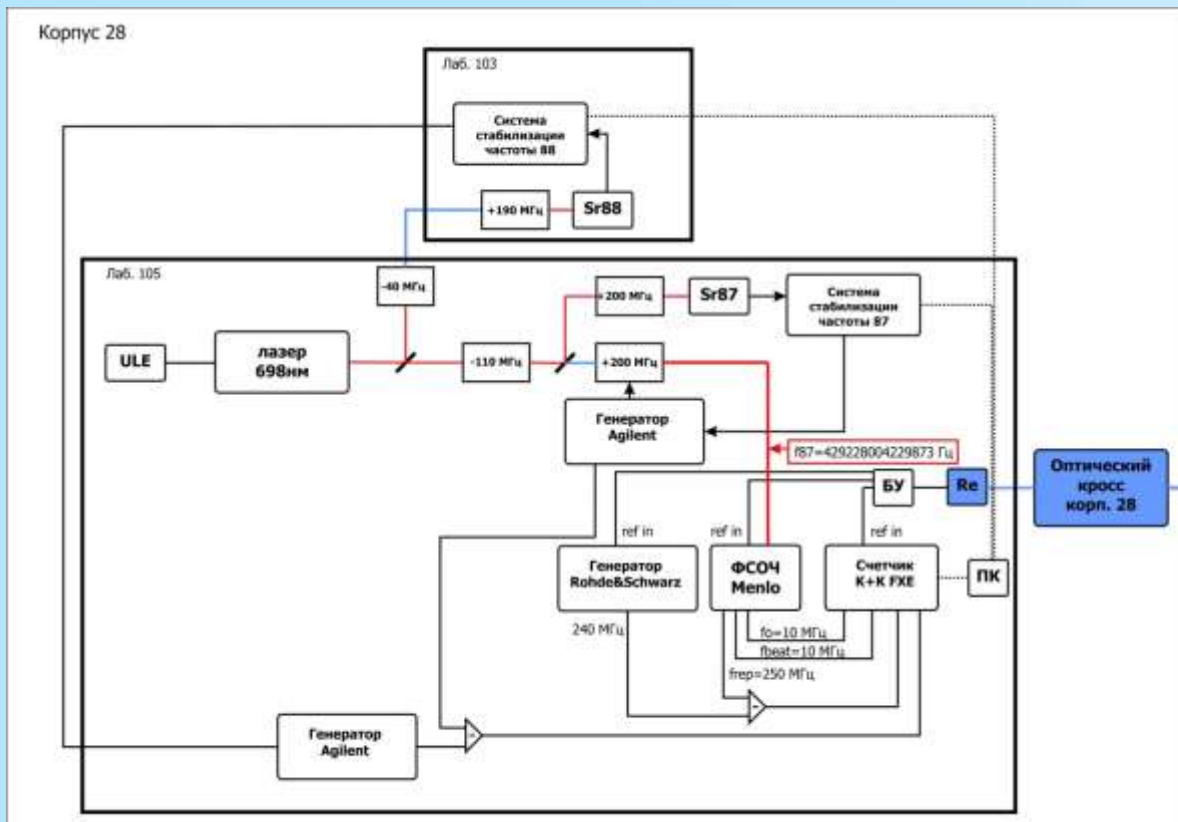
Предварительное значение абсолютной частоты часового перехода $^1S_0 - ^3P_0$ в атомах ^{87}Sr

429 228 004 229 875.5 (3.9) Hz

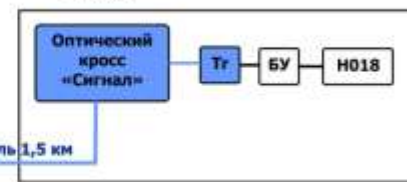


- [1] G. K. Campbell, A. D. Ludlow, S. Blatt, J. W. Thomsen, M. J. Martin, M. H. G. de Miranda, T. Zelevinsky, M. M. Boyd, J. Ye, S. A. Diddams, Th. P. Heavner, Th. E. Parker, S. R. Jefferts: The absolute frequency of the ^{87}Sr optical clock transition. *Metrologia* 45, 539 (2008).
- [2] X. Baillard, M. Fouché, R. Le Targat, P. G. Westergaard, A. Lécaille, F. Chapelet, M. Abgrall, G. D. Rovera, P. Laurent, P. Rosenbusch, S. Bize, G. Santarelli, A. Clairon, P. Lemonde, G. Grosche, B. Lipphardt, H. Schnatz: An optical lattice clock with spin-polarized ^{87}Sr atoms. *Eur. Phys. J. D* 48, 11 (2008).
- [3] F.-L. Hong, M. Misha, M. Takamoto, H. Inaba, S. Yanagimachi, A. Takamizawa, K. Watabe, T. Ikegami, M. Imae, Y. Fujii, M. Amemiya, K. Nakagawa, K. Ueda, H. Katori: Measuring the frequency of a Sr optical lattice clock using a 120 km coherent optical transfer. *Opt. Lett.* 34, 692 (2009).
- [4] St. Falke, H. Schnatz, J. S. R. Vellore Winfrid, Th. Middelmann, St. Vogt, S. Weyers, B. Lipphardt, G. Grosche, F. Riehle, U. Sterr and Ch. Lisdat: The ^{87}Sr optical frequency standard at PTB. *Metrologia* 48, 399 (2011).
- [5] A. Yamaguchi, N. Shiga, S. Nagano, Y. Li, H. Ishijima, H. Hachisu, M. Kumagai, and T. Ido: Stability Transfer between Two Clock Lasers Operating at Different Wavelengths for Absolute Frequency Measurement of Clock Transition in ^{87}Sr . *Appl. Phys. Express* 5, 022701 (2012).

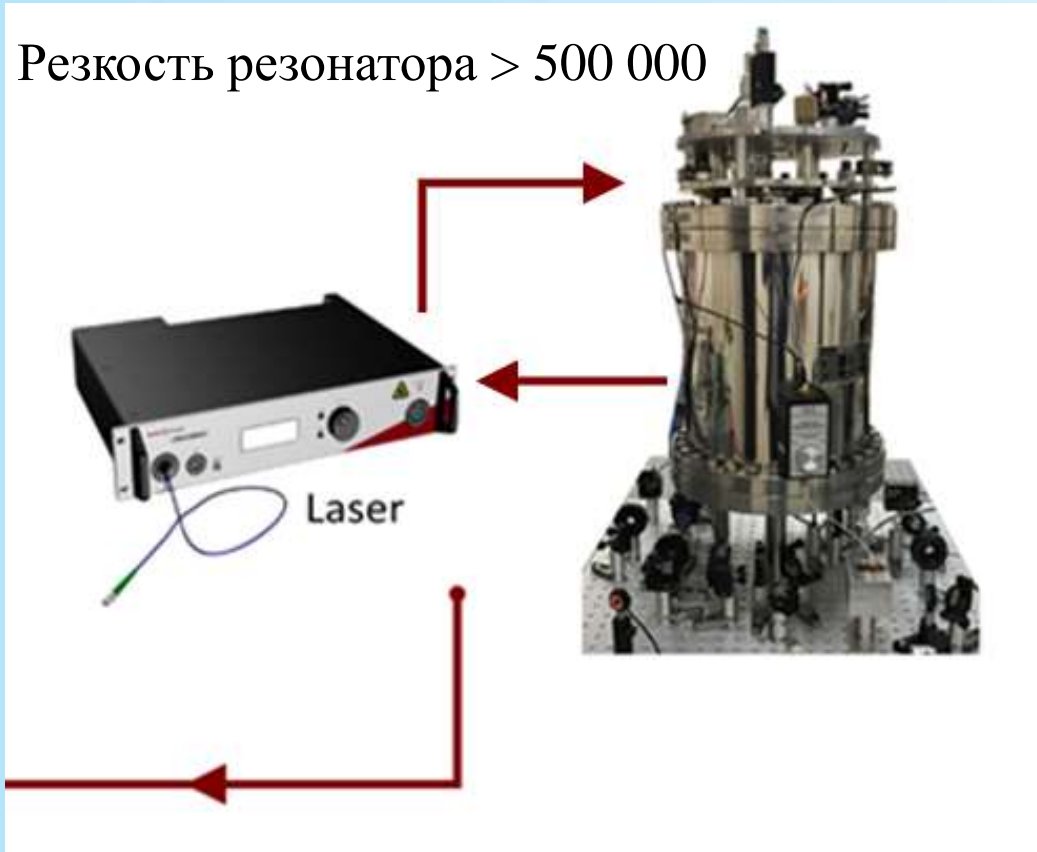
Схема измерений



Объект «Сигнал»
1 этаж



Предложение по улучшению системы измерений абсолютной частоты часового перехода



Использование волоконного лазера 1.5 мкм, стабилизированного по внешнему кремниевому криогенному резонатору, для передачи сигнала от оптического репера частоты к водородным хранителям

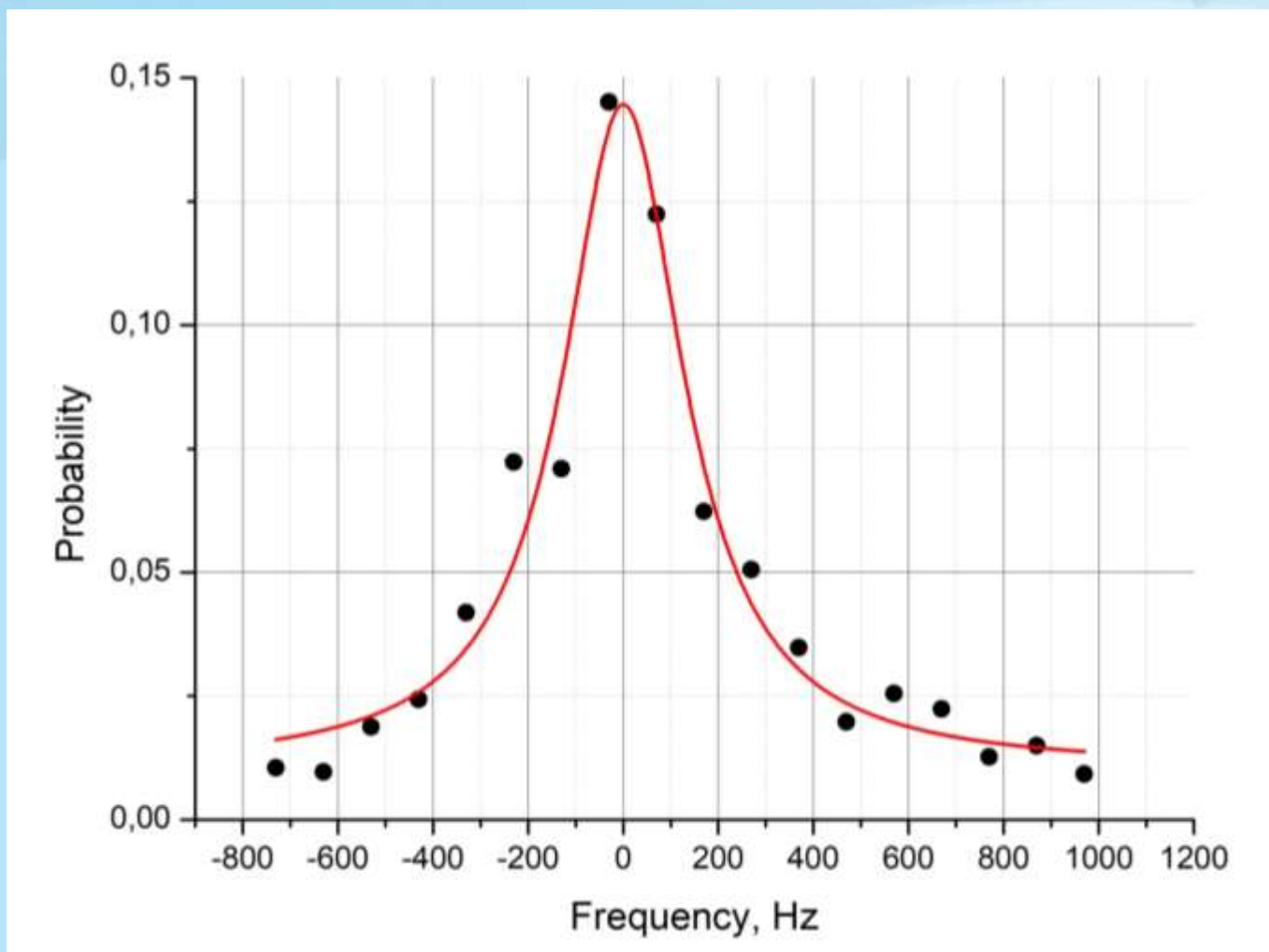
Заключение

Основные результаты выполненной работы:

- проведены эксперименты по спектроскопии часового перехода в атомах ^{87}Sr
- проведены эксперименты по измерению абсолютного значения частоты часового перехода в атомах ^{87}Sr
- исследованы и охарактеризованы различные схемы измерений
- намечен путь дальнейшего улучшения методики измерений



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



Спектр часового перехода в атомах ^{88}Sr , полученный методом магнитоиндуцированной спектроскопии (FWHM=310 Гц).