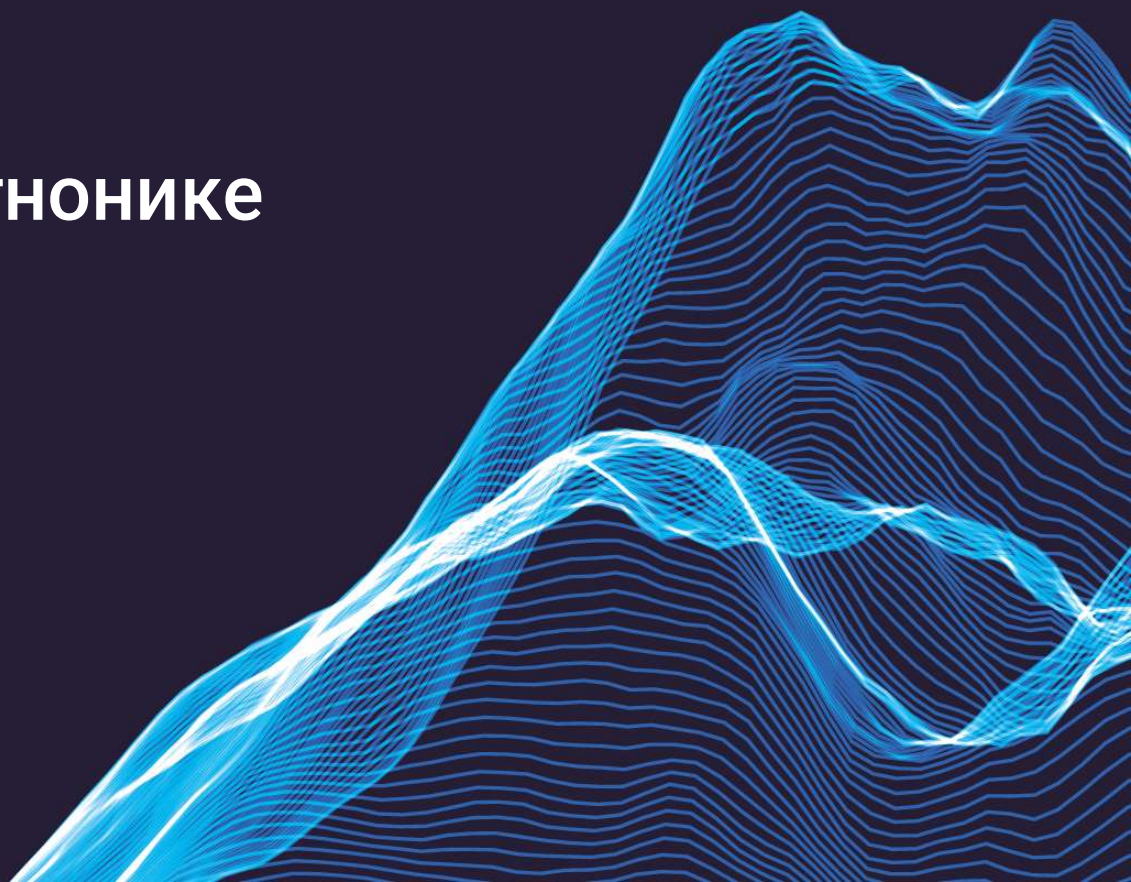


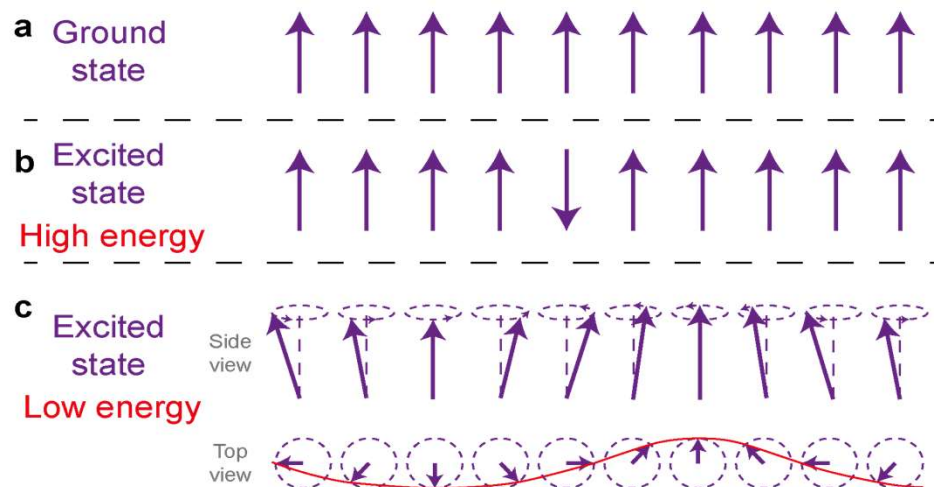
Когерентные магноны в микродисках ЖИГ: на пути к квантовой магноники

В.И. Белотелов

Российский квантовый центр



Магноны



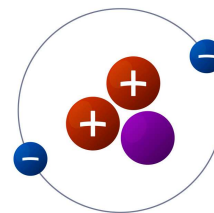
($\sim 10^{22} \text{ cm}^{-3}$)

$$\hat{S}_z = S - \hbar \hat{N}$$
$$s = 1$$

Когерентные квантовые состояния магнонов и квантовый транспорт в сверхтекучем $^3\text{He-B}$

Long-lived induction signal in superfluid $^3\text{He-B}$

A. S. Borovik-Romanov, Yu. M. Bun'kov, V. V. Dmitriev,
and Yu. M. Mukharskii
Institute of Physical Problems, Academy of Sciences of the USSR



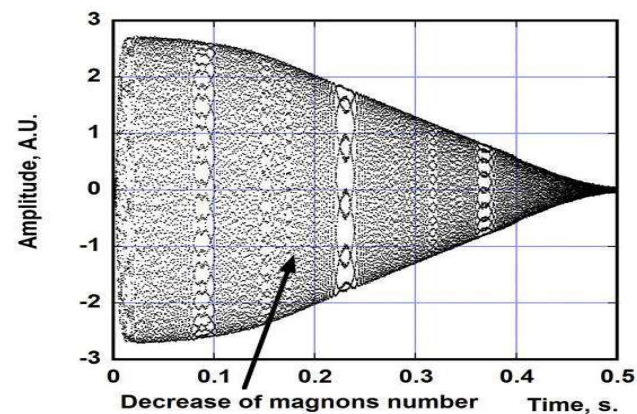
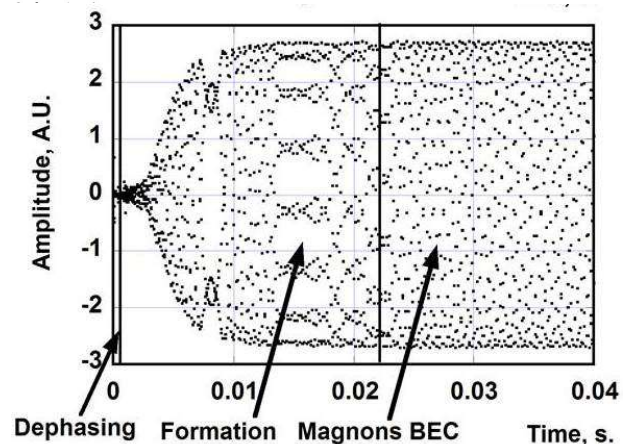
VOLUME 69, NUMBER 21

PHYSICAL REVIEW LETTERS

23 NOVEMBER 1992

Persistent Spin Precession in $^3\text{He-B}$ in the Regime of Vanishing Quasiparticle Density

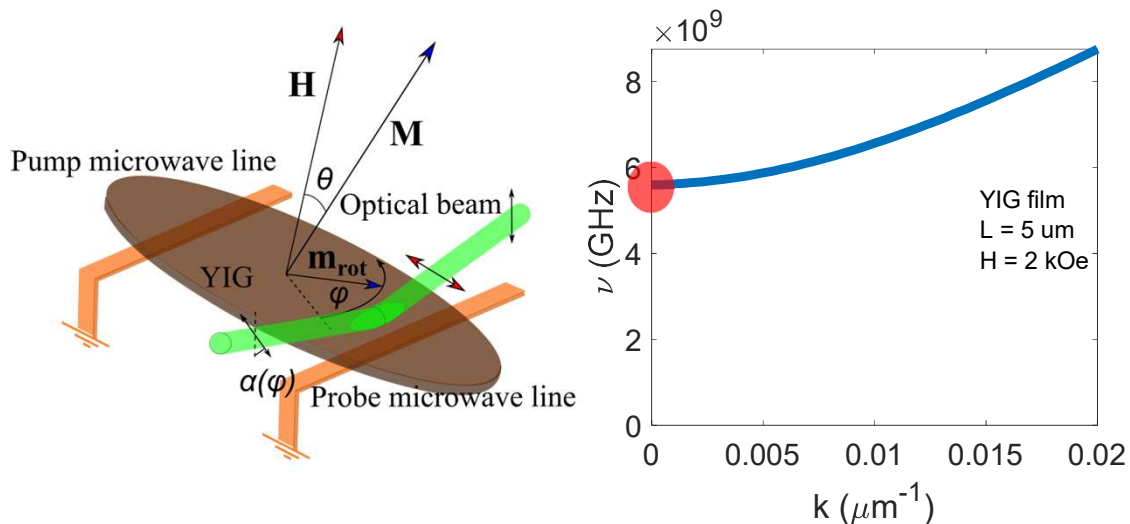
Yu. M. Bunkov, ^(a) S. N. Fisher, A. M. Guénault, and G. R. Pickett



проф. Ю.М. Буньков

Формирование магنونного Бозе-Эйнштейновского конденсата при $T = 1 \text{ мК}$

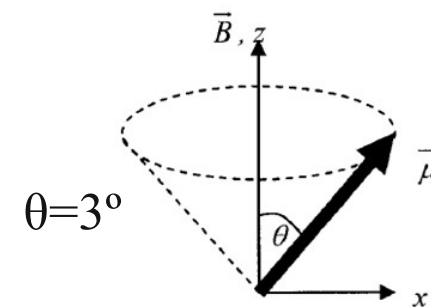
Когерентные квантовые состояния магнонов в твёрдом теле



Yu.M. Bunkov, A.N. Kuzmichev, T.R. Safin, P.M. Vetoshko, V.I. Belotelov, and M.S. Tagirov, Scientific Reports 11, 7673 (2021).

$$\omega(k) \approx \omega_H + \omega_{ex}(ak)^2$$

$$T_{BEC} \simeq 4\pi \frac{\varepsilon_{ex}}{k_B} \left(\frac{\varepsilon_{ex}}{\varepsilon_0} \right)^{1/2} \left(a^3 \frac{N_p}{V_s} \right) = 320 \text{ K (for YIG)}$$



Yu.M. Bunkov, V.L. Safonov. JMMM 452, 30 (2018).

Магнонный БЭК при комнатной температуре

Общий план проекта “Квантовая магноника”

2021 – Экспериментальная демонстрация мБЭК в ЖИГ при комнатной температуре

2022 – Разработка физических принципов магنونного кубита

2023 – Демонстрация магنونного кубита

2024 – Разработка двухкубитных затворов

Этап-1 (2021 г) – 59 этап ДК по Квантовым технологиям

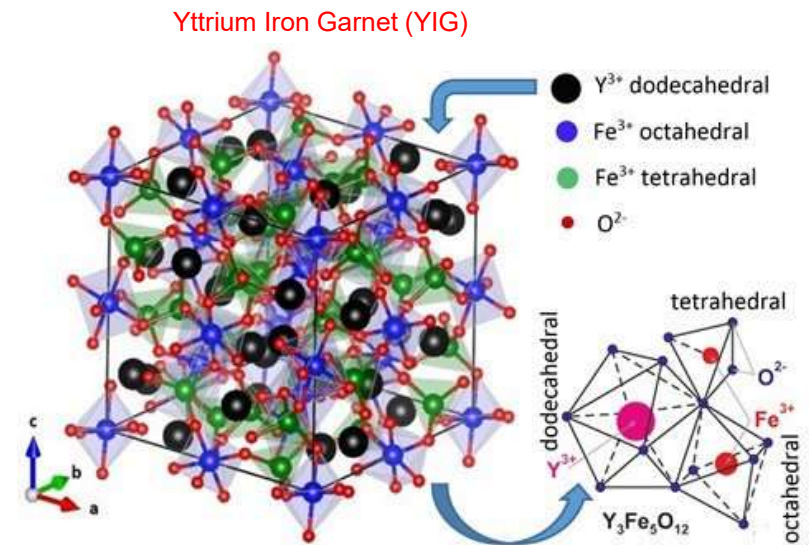
- **Разработка технологического процесса изготовления плёнок ЖИГ с требуемыми параметрами, изготовление образцов ЖИГ.**
- **Экспериментальное исследование характеристик мБЭК в плёнках ЖИГ.**
- **Моделирование динамики мБЭК в плёнке ЖИГ и в наборе взаимодействующих ячеек с БЭК.**

Выбор оптимального материала

	T	Frequency	Coherence time	Q
3He	0.001 K	10 MHz	100 s	10^9
MnCO₃	1 K	500 MHz	100 μ s	10^4
ЖИГ	300 K	5 GHz	0.1 μ s	10^3

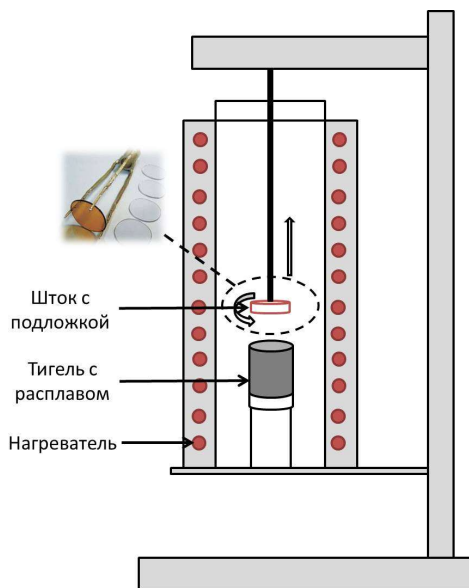
Цель: разработать и синтезировать новые плёнки ЖИГ с минимальным числом дефектов и рекордной добротностью:

$Q=10^4$ at 300 K and $Q=10^6$ at 1K



Разработка технологического процесса и изготовление плёнок ЖИГ

Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского (Симферополь)

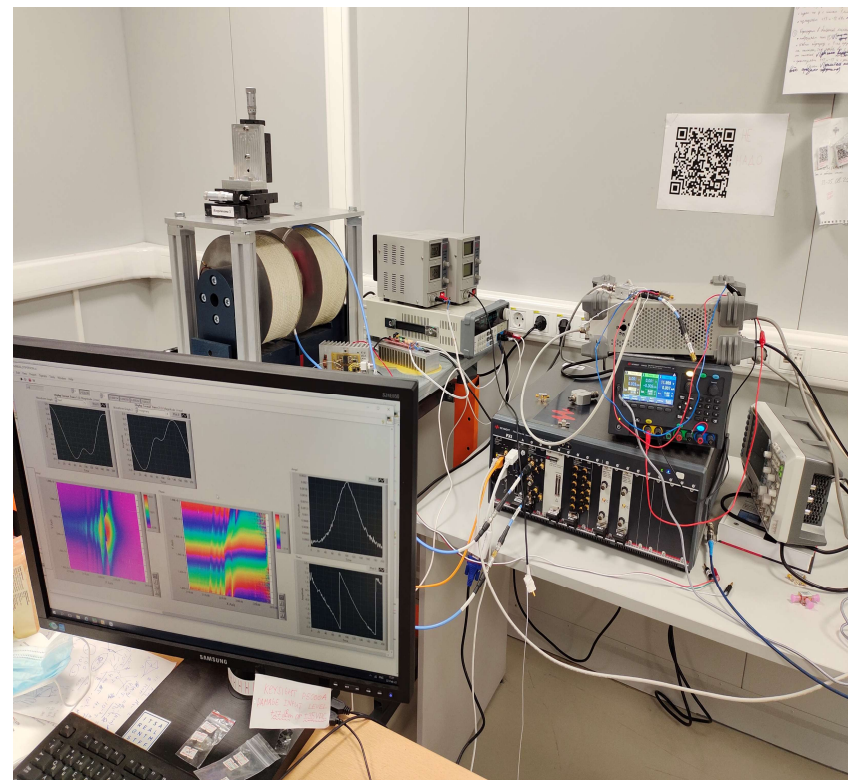
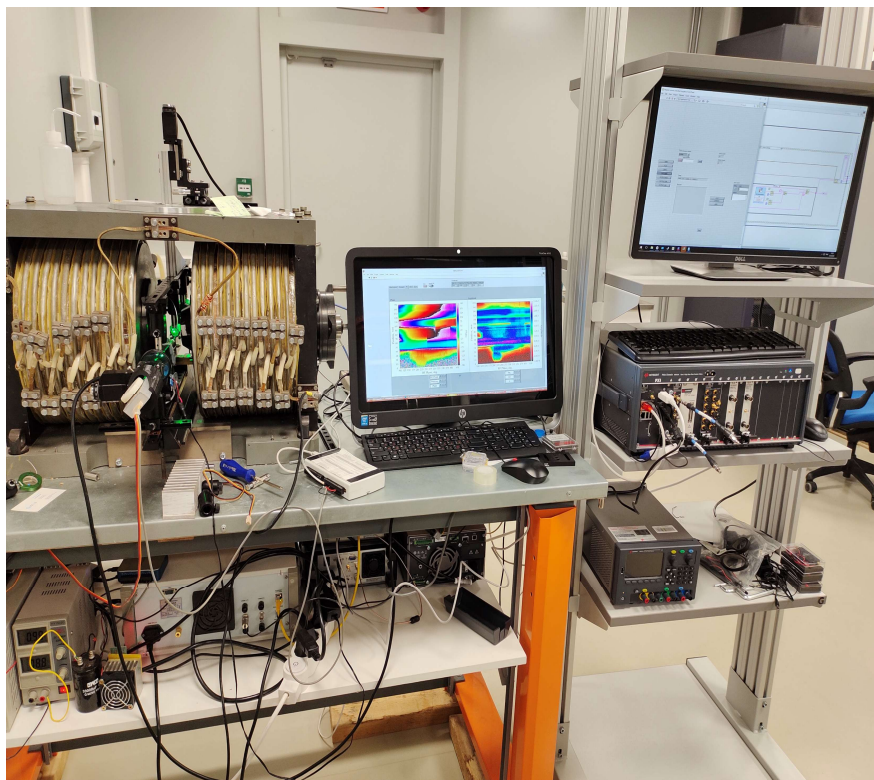


№ п/п	Образец №	h, мкм	$\Delta a \cdot 10^{-3}$, Å	H_{eff} , Э	K_u , эрг/см ³	ΔH , Э, ГГц
1	21.12.03.01	1,8	-0,3	-1851	-7070	1,9
2	21.12.08.02	0,1	-	-1731	1330	2,9
3	21.12.10.01	3,5	-	-1663	6090	2,6
4	21.12.16.02	1,1	0,9	-1679	4970	2,5
5	21.12.17.02	2,0	5	-1689	4270	2
6	21.12.18.01	2,1	3,5	-1703	3290	2,5

Этап-1 (2021 г) – 59 этап ДК по Квантовым технологиям

- Разработка технологического процесса изготовления плёнок железо – иттриевого граната ЖИГ с требуемыми параметрами, изготовление образцов (ЖИГ).
- **Экспериментальное исследование характеристик магнотонного Бозе–Эйнштейновского Конденсата (мБЭК) в плёнках ЖИГ.**
- Моделирование динамики мБЭК в плёнке ЖИГ и в наборе взаимодействующих ячеек с БЭК.

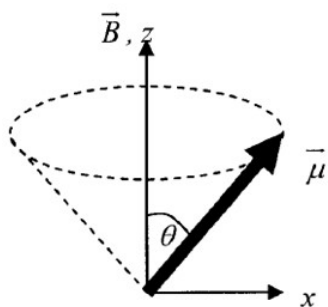
Лаборатория “Квантовая магнетика” в РКЦ



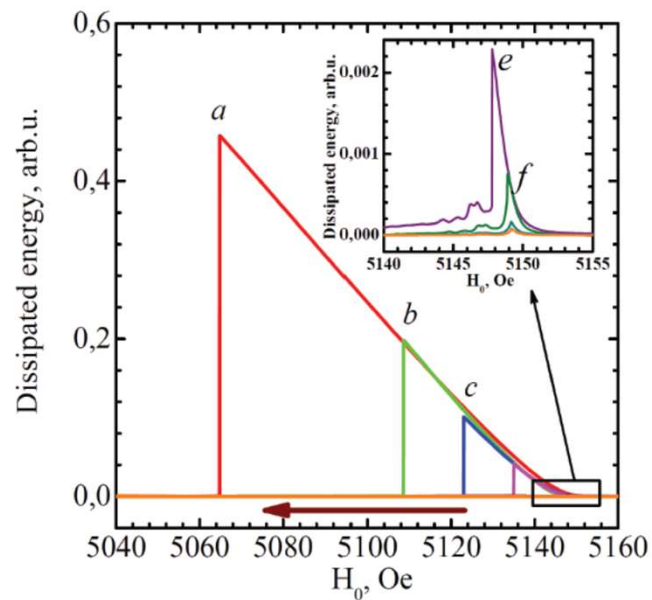
Регистрация мБЭК индуктивным методом

$$\omega = \gamma(H_0 - 4\pi M_S \cos \beta). \quad (\text{Due to decrease of the demagnetization field})$$

$$\omega - \omega_0 = \gamma 4\pi M_S (1 - \cos \beta) \quad \text{Repulsive interaction of magnons}$$

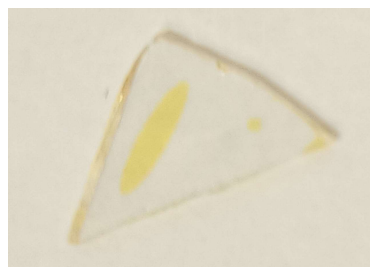
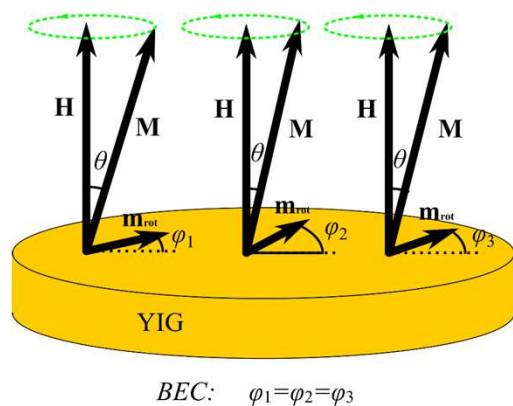


$$\Psi = \langle \hat{\Psi} \rangle = \sqrt{\frac{2S}{\hbar}} \sin \frac{\beta}{2} e^{i(\alpha + \omega t)}$$

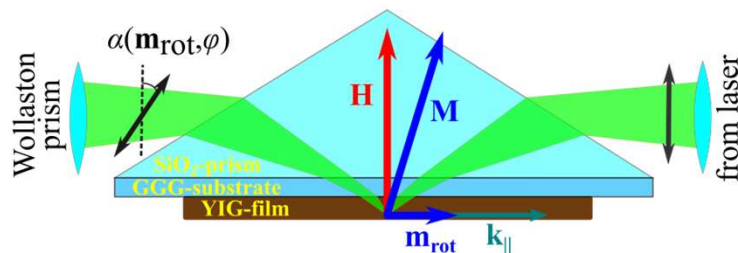
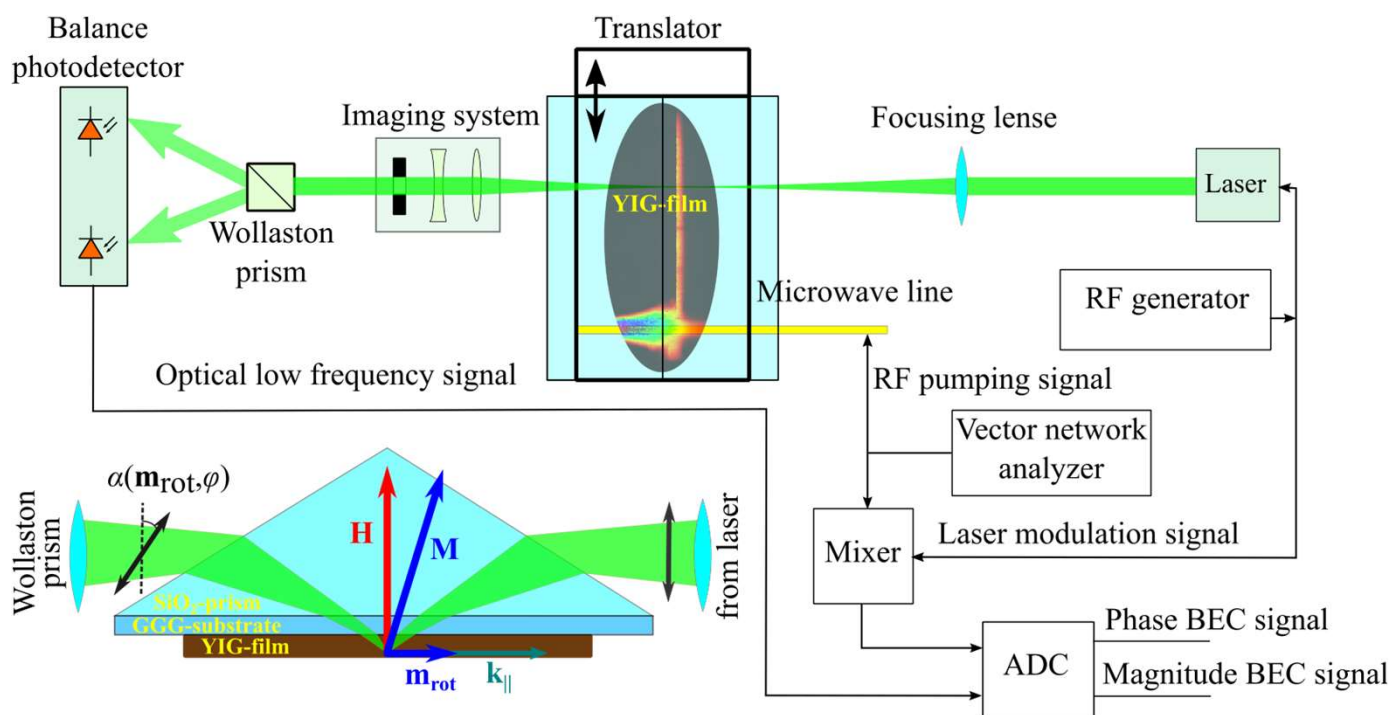


Как измерить распределение амплитуды и фазы магнонов?

Магнитооптический метод регистрации распределения амплитуды и фазы магнонов

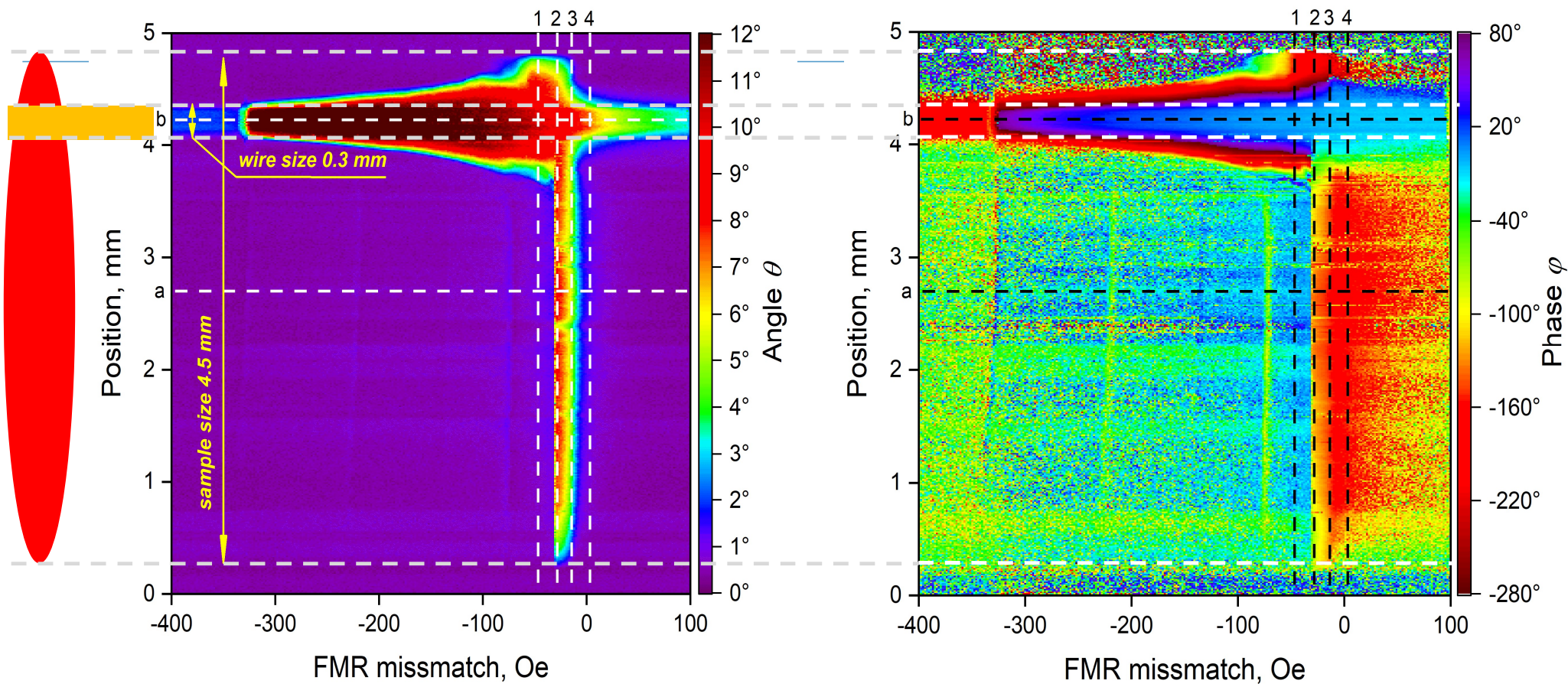


$\text{Y}_{2.8}\text{Lu}_{0.2}\text{Fe}_{3.6}\text{Sc}_{1.4}\text{O}_{12}$
900 x 200 μm , $h=1.2 \mu\text{m}$



Yu.M. Bunkov et al., Scientific Reports 11, 7673 (2021)

Распределение амплитуды и фазы магнонов



P.E. Petrov et al. *Optics Express*, **30**, 2 (2022)

Этап-1 (2021 г) – 59 этап ДК по Квантовым технологиям

- Разработка технологического процесса изготовления плёнок железо – иттриевого граната ЖИГ с требуемыми параметрами, изготовление образцов (ЖИГ).
- Экспериментальное исследование характеристик магнотонного Бозе–Эйнштейновского Конденсата (мБЭК) в плёнках ЖИГ.
- **Моделирование динамики мБЭК в плёнке ЖИГ и в наборе взаимодействующих ячеек с БЭК.**

Микромагнитное моделирование



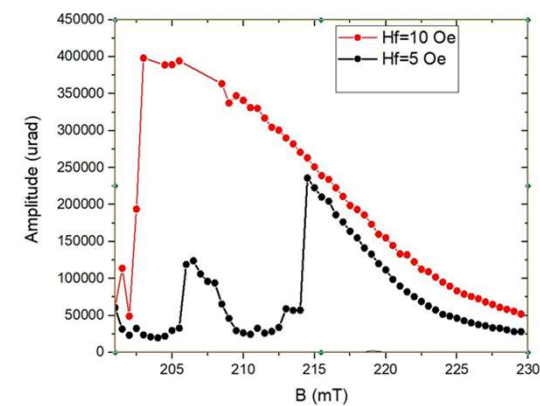
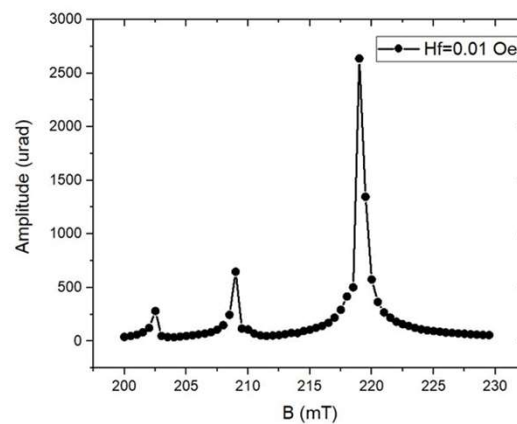
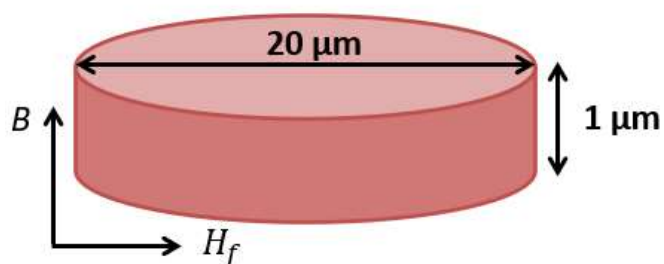
mumax³

GPU-accelerated micromagnetism

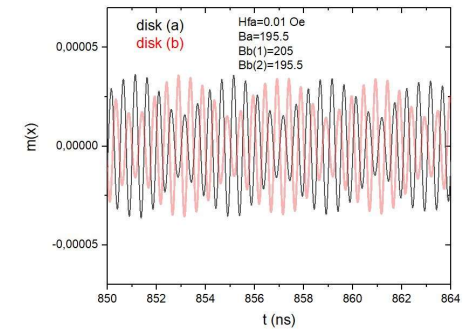
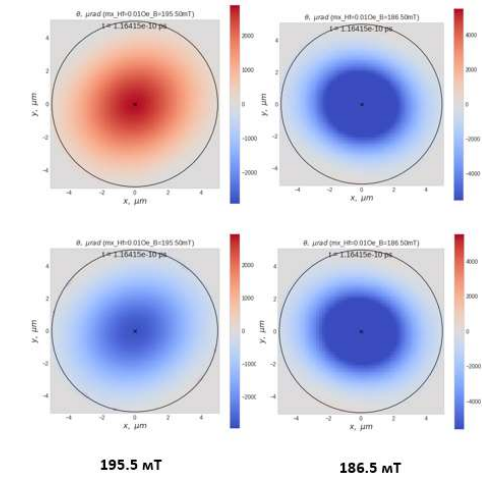
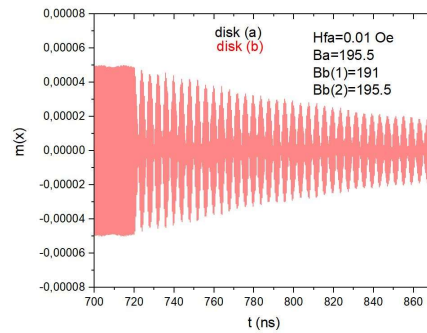
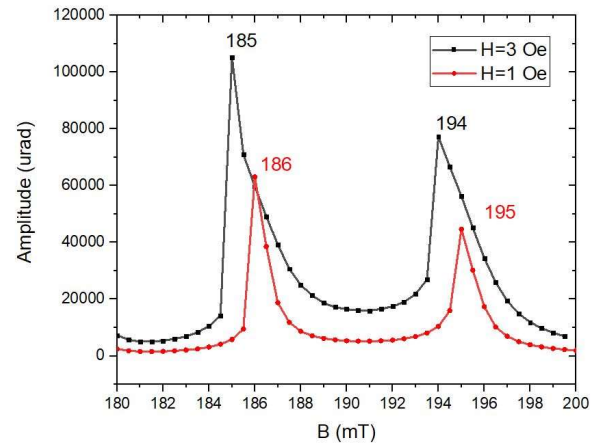
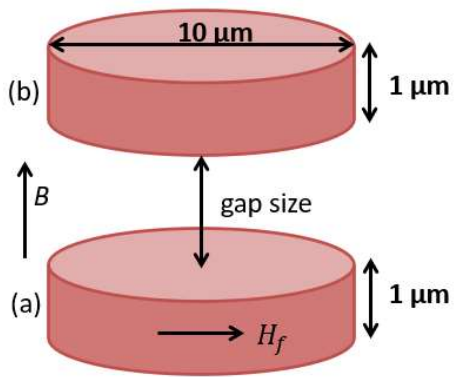
<https://mumax.github.io/index.html>

AIP Advances 4, 107133 (2014)

Основные параметры моделирования:
 $4\pi M_{sat} = 1740 \text{ G}$
 $K_{u1} = 6100 \text{ erg}\times\text{cm}^3$
 $\alpha = 0.001$

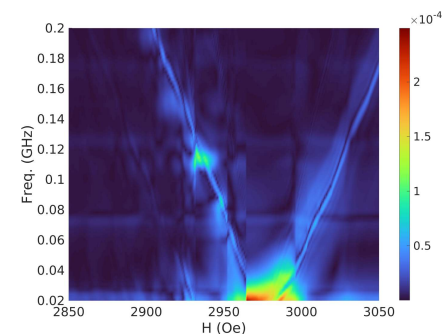
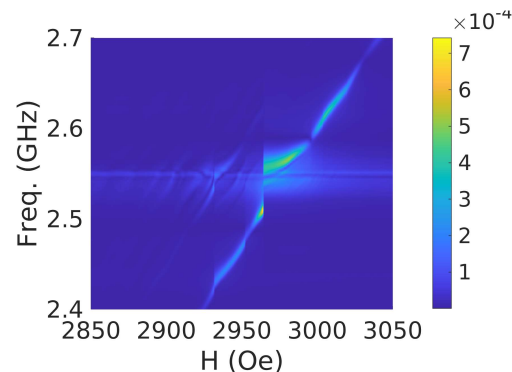
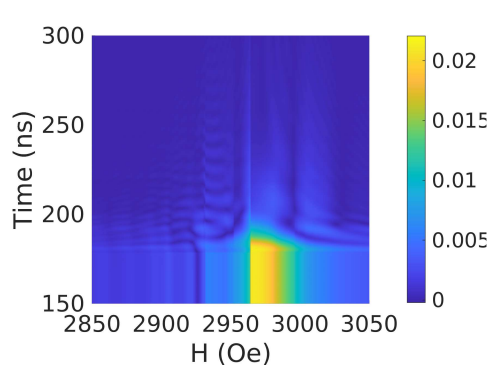
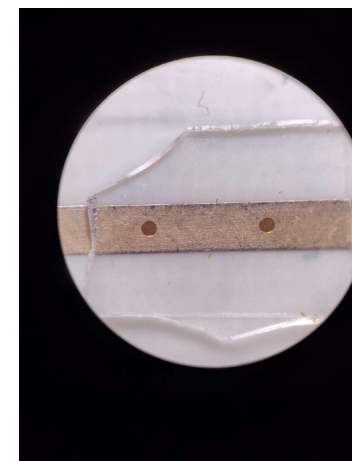
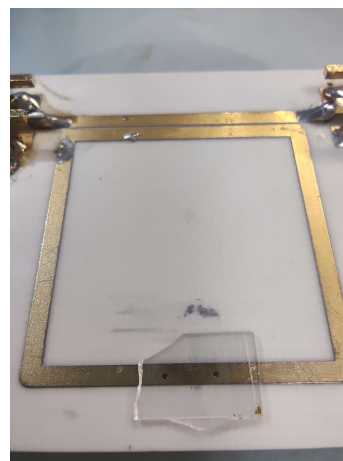


Микромагнитное моделирование: система двух связанных дисков



Этап-2 (2022 г) – 60 этап ДК по Квантовым технологиям

- 1) Разработка архитектуры прототипа магнонного кубита (mQ1).
- 2) Разработка методики считывания состояния прототипа кубита.
- 3) Измерение параметров прототипа кубита (mQ1), его времен когерентности и помехоустойчивости.



Спасибо за внимание

