



СЫКТЫВКАРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ПИТИРИМА СОРОКИНА

# Исследование магнитоупругих колебаний в магнитной пленке при сверхбыстром лазерном возбуждении с использованием техники «transient grating»

Научный руководитель: *К.ф.-м.н., доцент  
Власов Владимир Сергеевич*

Исполнитель: студент 122 группы  
*Перовский Игорь Андреевич*

## Актуальность

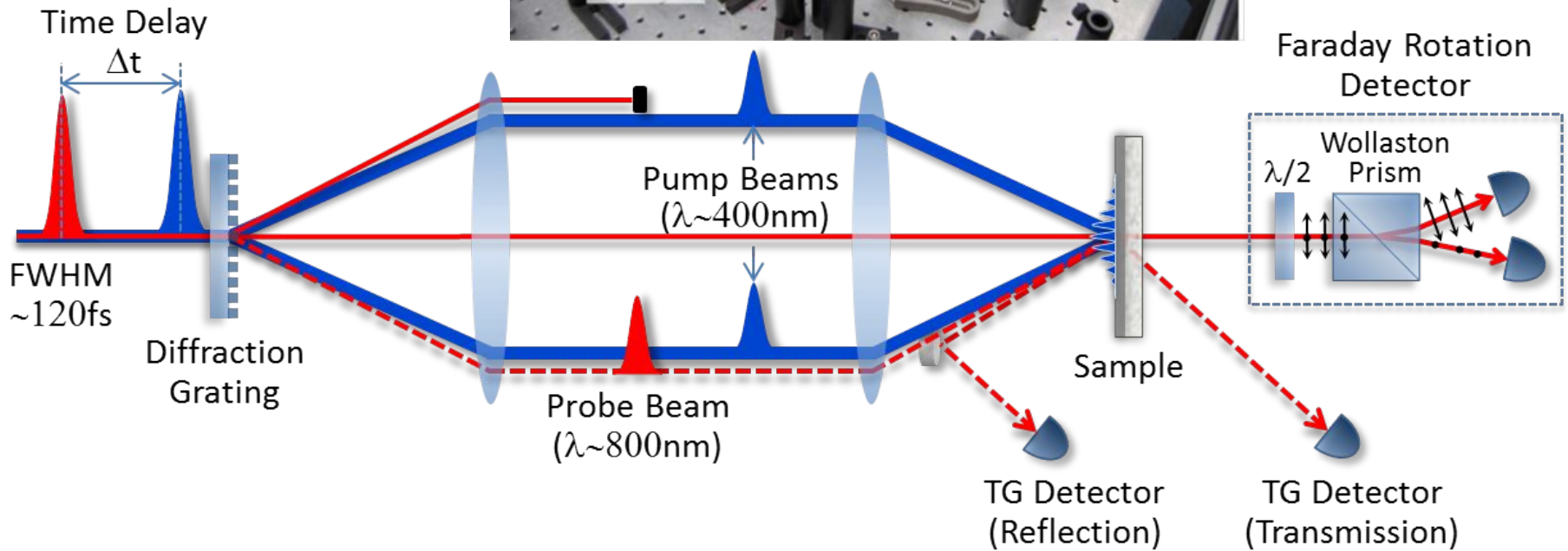
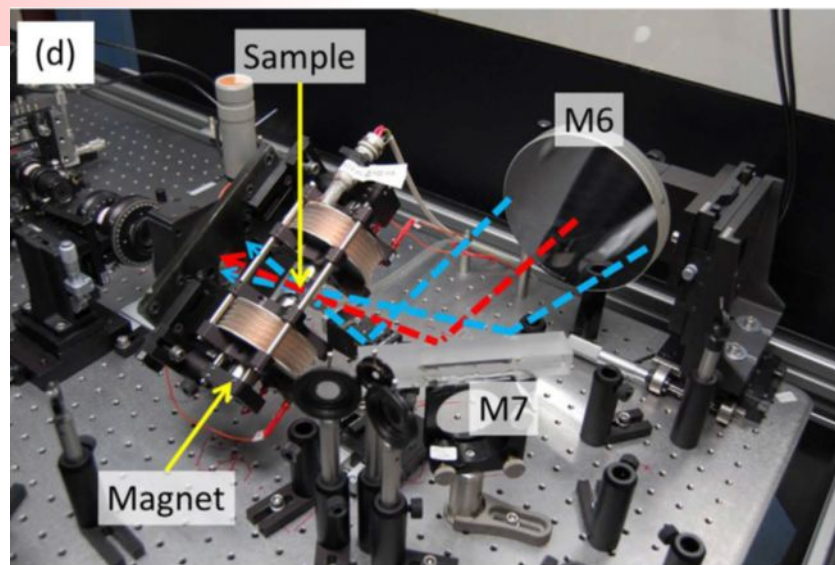
Рассматривается новое направление - сверхбыстрая акустомагнитная оптика. Если говорить о конкретном применении: то это контроль намагниченности в короткие сроки для реализации быстрой магнитной памяти и маломощной магнитной логики.

**Целью работы является расчет магнитоупругих колебаний в магнитной пленке при сверхбыстром лазерном возбуждении с использованием техники «transient grating»**

### **Задачи:**

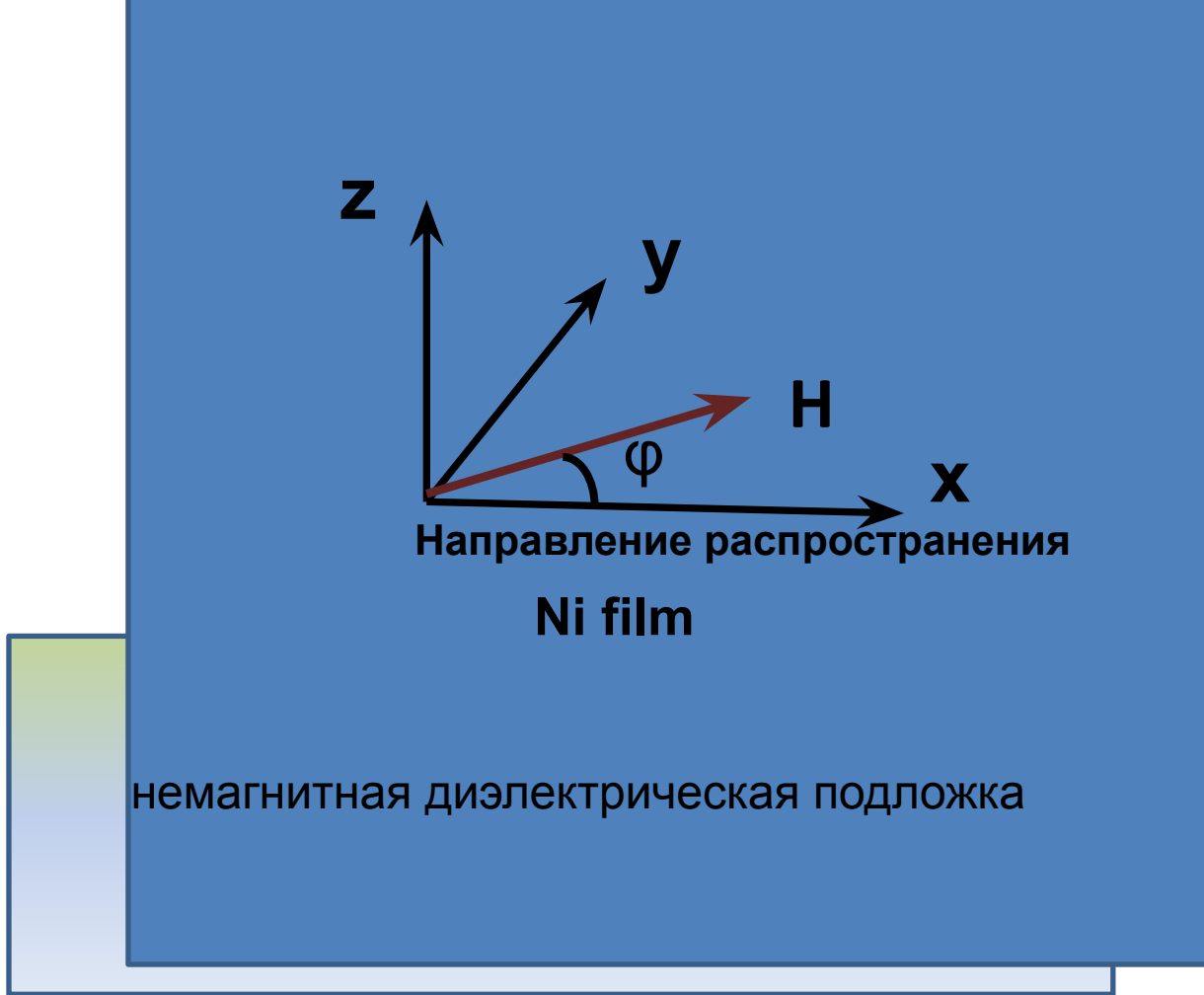
- Определение параметров упругой волны с применением техники «transient grating»**
- Решение задачи о нахождении собственных упругих волн системы пленка +подложка**
- Расчет магнитных колебаний возбуждаемых упругими волнами**

# Геометрия эксперимента



- Поликристаллические пленки никеля толщиной 40-80 нм на подложках
- Магнитное поле приложено в плоскости образца
- Средняя мощность лазера 1-5 мВ/см<sup>2</sup>





**z**

**y**

**H**

$\varphi$

**x**

Направление распространения

**Ni film**

немагнитная диэлектрическая подложка

# Основные уравнения

$$\frac{\partial m_x}{\partial t} = -\frac{\gamma\mu_0}{1+\alpha^2} \cdot \left[ (m_y + \alpha m_x m_z) \cdot H_{eff,z} - (m_z - \alpha m_y m_x) \cdot H_{eff,y} - \alpha \cdot (m_y^2 + m_z^2) \cdot H_{eff,x} \right]$$

$$\frac{\partial m_y}{\partial t} = -\frac{\gamma\mu_0}{1+\alpha^2} \cdot \left[ (m_z + \alpha m_y m_x) \cdot H_{eff,x} - (m_x - \alpha m_z m_y) \cdot H_{eff,z} - \alpha \cdot (m_z^2 + m_x^2) \cdot H_{eff,y} \right]$$

$$\frac{\partial m_z}{\partial t} = -\frac{\gamma\mu_0}{1+\alpha^2} \cdot \left[ (m_x + \alpha m_z m_y) \cdot H_{eff,y} - (m_y - \alpha m_x m_z) \cdot H_{eff,x} - \alpha \cdot (m_x^2 + m_y^2) \cdot H_{eff,z} \right]$$

$$H_{eff,i} = -\frac{1}{\mu_0 M_0} \cdot \frac{\partial F}{\partial m_i}$$

# Акустическая часть задачи

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = c_{ijkl} \frac{\partial^2}{\partial x_j \partial x_l} u_k$$

$$\rho \cdot c^2 \cdot a_i = c_{ijkl} \cdot l_j \cdot l_l \cdot a_k$$

$$u_i = a_i \exp(ik(l_1 x + l_2 y + l_3 z - ct))$$

$$\det(c_{ijkl} \cdot l_j \cdot l_l - \rho \cdot c^2 \cdot \delta_{ik}) = 0$$

$$u_i = \sum_{n=1}^3 C_n a_i^{(n)} \exp(ik(l_3^{(n)} z + l_1 x + l_2 y - ct))$$

## Граничные условия

$$\sigma_{zj} \Big|_{z=0} = c_{zjkl} u_{kl} \Big|_{z=0} = 0$$

$$c_{zjkl} \sum_{n=1}^3 C_n a_k^{(n)} l_l^{(n)} = 0 \quad \sigma_{zj} \Big|_{z=-d} = \sigma_{zj}^* \Big|_{z=-d}$$

Деформации действующие на намагниченность релеевской волны и вытекающей продольной волны

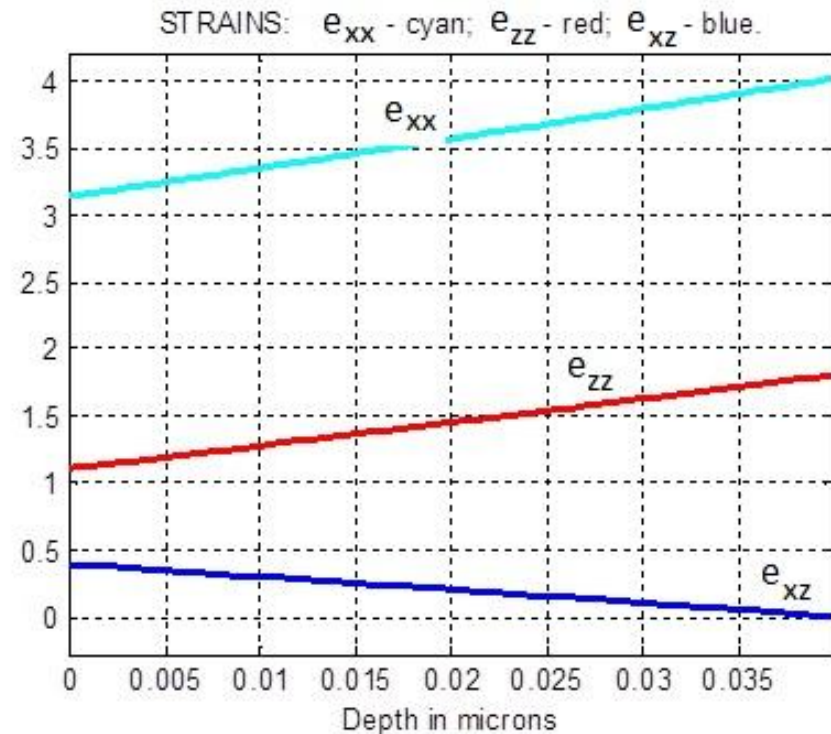
$$e_{xx}^{SAW}(t) = e_{xx} \cos(kx) \cos(\omega_{SAW} t)$$

$$e_{zz}^{SAW}(t) = -e_{zz} \cos(kx) \cos(\omega_{SAW} t)$$

$$e_{xz}^{SAW}(t) = e_{xz} \cos(kx) \sin(\omega_{SAW} t)$$

$$e_{xx}^{SSLW}(t) = e_{xx} \cos(kx) \cos(\omega_{SSLW} t) / t$$

## Зависимость деформаций релеевской волны от глубины





# Магнито-акустические динамики при малых углах $\varphi$

$$m_x = 1 \quad m_y = \varphi + m_{yd} \quad m_z = m_{zd} \quad \alpha = 0$$



$$m_{yd} + \Omega^2 m_{yd} + \varphi \cdot D m_{yd} e_{xz}(t) = A e_{xz}(t) + \varphi \cdot B e_{xx}(t)$$

$$\Omega^2 = \gamma^2 \mu_0^2 H \cdot (H + M_0) + \frac{2\gamma^2 b_1 \mu_0}{M_0} (H \cdot e_{zz}(t) - (2H + M_0) e_{xx}(t)) - \varphi \frac{4\gamma b_2}{M_0} e_{xz}(t)$$

$$D = -\frac{4\gamma \cdot b_2}{M_0} \quad A = -\frac{2\gamma \cdot b_2}{M_0} \quad B = \frac{2\gamma^2 \cdot b_1 \cdot \mu_0}{M_0} (H + M_0)$$

$$A e_{xz}(t) + \varphi \cdot B e_{xx}(t) = 0 \quad \leftarrow \text{This condition we can realize for SAW}$$

$$\varphi_0 = \frac{\omega_{SAW}}{\gamma \mu_0 (H + M_0)} \frac{b_2}{b_1} \frac{e_{xz}}{e_{xx}} \quad \frac{e_{xz}}{e_{xx}} \approx 0.07 \quad b_1 = b_2 \quad \lambda = 1.1 \mu m$$

$$H = 1.6 \cdot 10^4 \text{ A/m} \quad M_0 = 4.8 \cdot 10^5 \text{ A/m} \quad \longrightarrow \quad \varphi_0 \approx 1$$

# Магнитоакустическая динамика при произвольных углах $\varphi$

$$H_{eff,x} = H \cos \varphi - \frac{2b_1}{\mu_0 M_0} m_x e_{xx}(t) \quad H_{eff,y} = H \sin \varphi \quad H_{eff,z} = -M_0 m_z$$

$$m_x = \cos \varphi + m_{xd} \quad m_y = \sin \varphi + m_{yd} \quad m_z = m_{zd}$$

$$m_{xd} = \frac{\gamma \mu_0}{1 + \alpha^2} (m_{zd} \sin \varphi (H + M_0) + \alpha H \sin \varphi (m_{yd} \cos \varphi - m_{xd} \sin \varphi) - \frac{2b_1}{\mu_0 M_0} e_{xx} \alpha \cos \varphi \sin^2 \varphi + M_0 m_{yd} m_{zd})$$

$$m_{yd} = -\frac{\gamma \mu_0}{1 + \alpha^2} (m_{zd} \cos \varphi (H + M_0) + \alpha H \cos \varphi (m_{yd} \cos \varphi - m_{xd} \sin \varphi) - \frac{2b_1}{\mu_0 M_0} e_{xx} (\alpha \cos^2 \varphi \sin \varphi + m_{zd} \cos \varphi) + M_0 m_{xd} m_{zd})$$

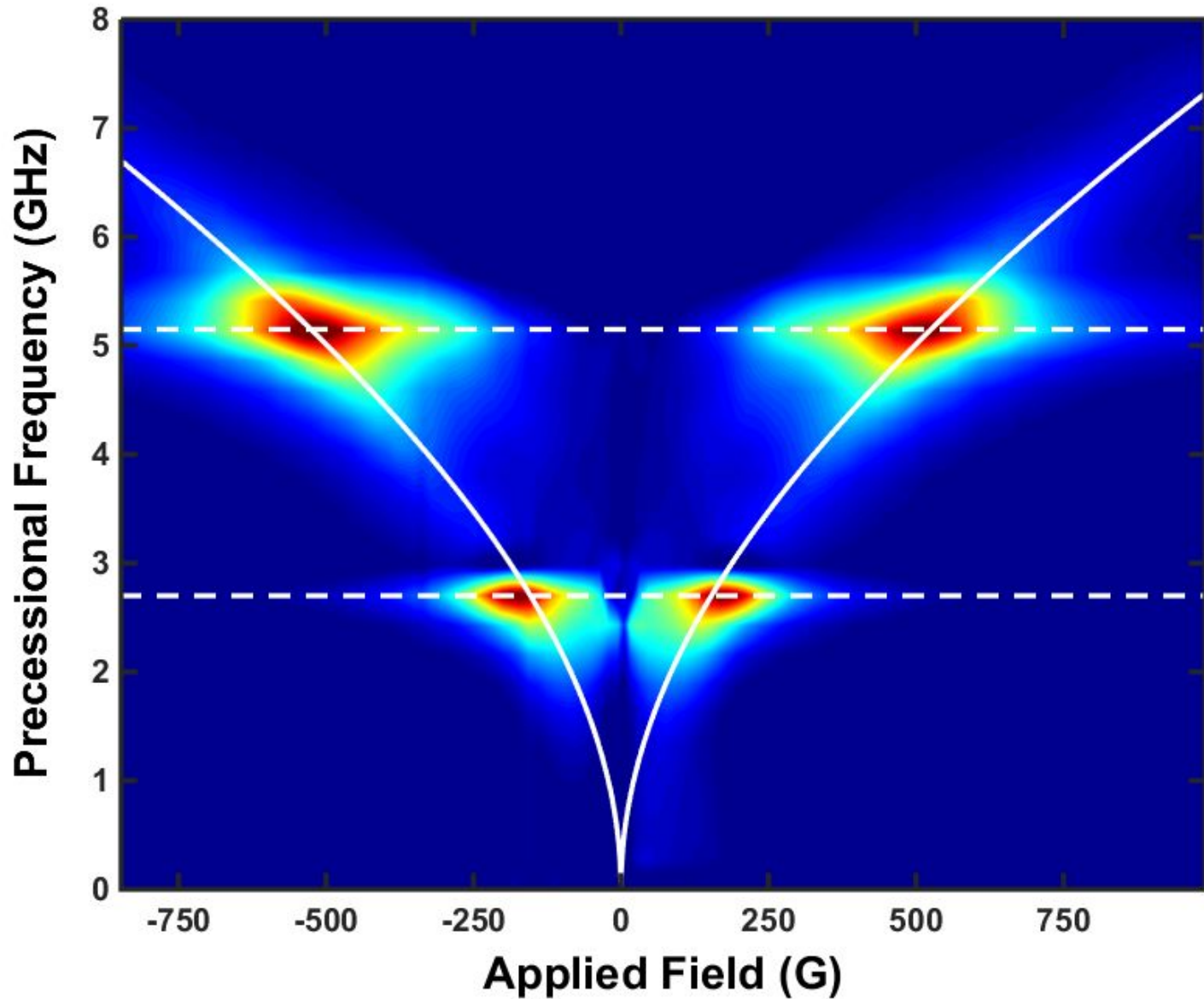
$$m_{zd} = -\frac{\gamma \mu_0}{1 + \alpha^2} (H (m_{xd} \sin \varphi - m_{yd} \cos \varphi) + \alpha m_{zd} (H + M_0) + \frac{2b_1}{\mu_0 M_0} e_{xx} (\cos \varphi \sin \varphi + m_{yd} \cos \varphi + m_{xd} \sin \varphi))$$

Линейный случай  $\alpha = 0$

$$m_{zd} + \omega_r^2 m_{zd} = -\frac{b_1 \gamma}{M_0} e_{xx} \sin 2\varphi \quad \text{maximum interaction angle } \varphi_{\max} = 45^\circ$$

# Теоретический график зависимости Фурье спектра от магнитного поля.

$\Lambda=1.1\mu\text{m}$

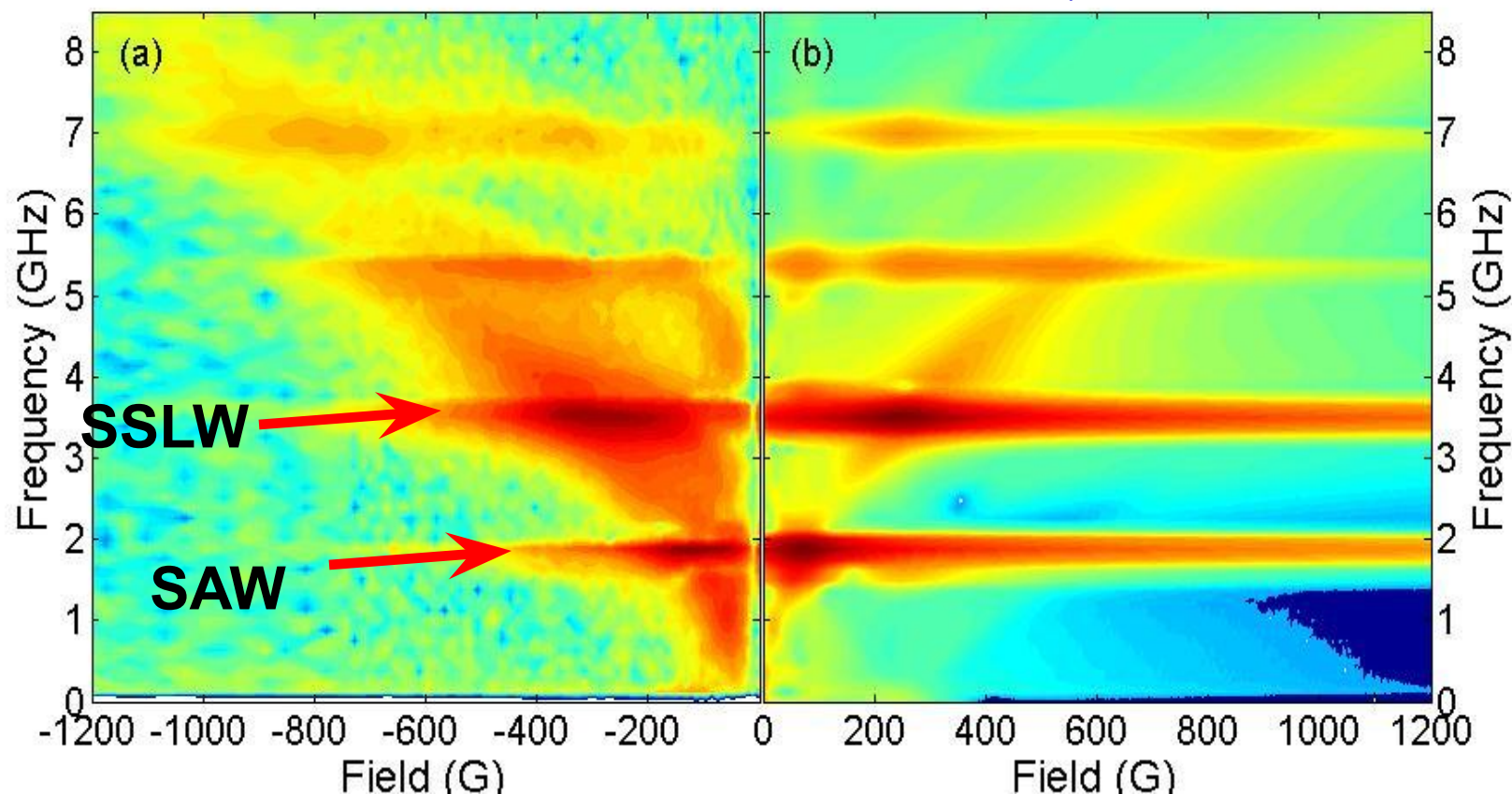


# Нелинейное взаимодействие упругих волн с магнитным генератором

$$\Lambda = 1.4\mu\text{m}$$

Эксперимент

Теория



## Выводы

- **Определены параметры упругой волны с применением техники «transient grating»**
- **Решена задача о нахождении собственных упругих волн системы пленка +подложка**
- **Определены амплитуды и частоты магнитных колебаний в зависимости от напряженности магнитного поля**