

Магнитофотонные кристаллы и микрорезонаторы

1. Вводные замечания. Поляризация света
2. Магнитооптические явления в прозрачных магнетиках
3. Геометрии магнитооптических эффектов
4. Магнитные фотонные кристаллы на основе опалов
5. Одномерные магнитные фотонные кристаллы и микрорезонаторы
6. Магнитные фотонные решетки

Магнитофотонные кристаллы. Вводные замечания

постановка проблемы: как распространяется свет в фотонных кристаллах, изготовленных из (ферро- или пара-) магнитных материалов

эффекты:

управление фотонной зоной внешним магнитным полем

усиление магнитооптических эффектов

усиление нелинейных магнитооптических эффектов

эффекты за рамками рассмотрения:

спиновые волны

магنونные кристаллы (периодичность μ)

прикладной аспект – развить методики магнитных фотонных кристаллов для управления распространением света через эффекты фотонной запрещенной зоны и магнитооптики

Поляризация света

характеризуем состояние поляризации электромагнитной волны вектором-столбцом:

$$\mathbf{E} = E_0 \begin{pmatrix} \cos \theta \exp(i\varphi_x) \\ \sin \theta \exp(i\varphi_y) \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \varphi_y - \varphi_x = \delta \quad - \text{угол эллиптичности} \\ \theta \quad - \text{угол ориентации эллипса поляризации} \end{array}$$

$\delta = 0$ - линейно поляризованный свет

$\delta = \pi/2$ - циркулярно поляризованный свет

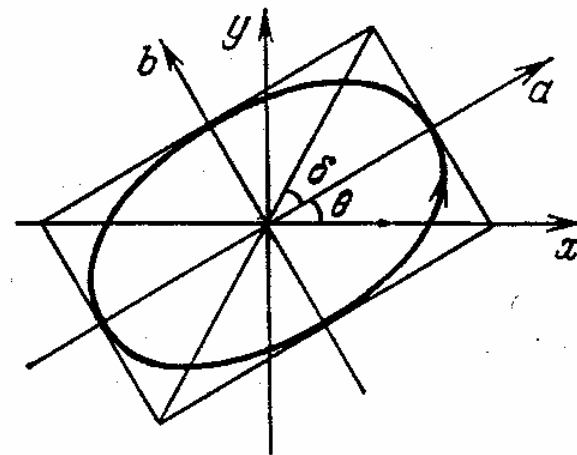
изменение поляризации света при прохождении через среду будем характеризовать матрицей Джонса:

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}_{out} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}_{in}$$

линейный поляризатор: $\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$

пластина $\lambda/4$: $\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix}$

пластина $\lambda/2$: $\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$



Магнитооптические явления в прозрачных магнетиках

По отношению к существованию намагниченности разделим вещества на:

- диамагнетики
- парамагнетики
- ферромагнетики (подкласс - антиферромагнетики)

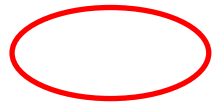
Тензор диэлектрической проницаемости разделим на симметричный и антисимметричный:

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & ig & 0 \\ -ig & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Здесь $\mathbf{M} \parallel z$, \mathbf{g} - вектор гирации, $b(M) = \varepsilon_1 - \varepsilon_0$ - наведенная магнитная анизотропия

Выражение для вектора электрического смещения:

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + i[\mathbf{gE}] + b(\mathbf{E} - m(m\mathbf{E})), \quad m = M/M$$



гиротропные эффекты:

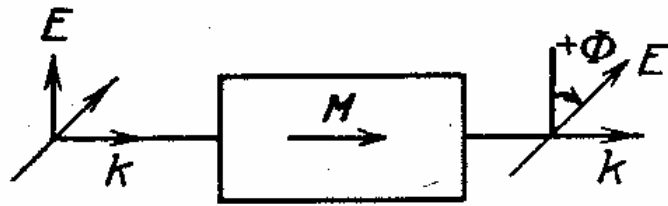
- магнитное круговое двупреломление (эффект Фарадея)
- магнитный круговой дихроизм



магнитная анизотропия:

- магнитное линейное двупреломление (эффект Коттона-Мутона)
- магнитный линейный дихроизм

Магнитооптические эффекты



магнитное круговое дупреломление (эффект Фарадея)

$n_{\pm}^2 = \varepsilon_1 \pm g$ - показатели преломления правой и левой волн

$\Delta n = (n_+ - n_-)/2$ - величина дупреломления

Матрица Джонса для эффекта Фарадея в слое толщиной z :

$$M = \begin{pmatrix} \cos(c^{-1}\omega\Delta n z) & -\sin(c^{-1}\omega\Delta n z) \\ \sin(c^{-1}\omega\Delta n z) & \cos(c^{-1}\omega\Delta n z) \end{pmatrix}$$

Угол поворота плоскости поляризации после прохождения слоя толщиной z :

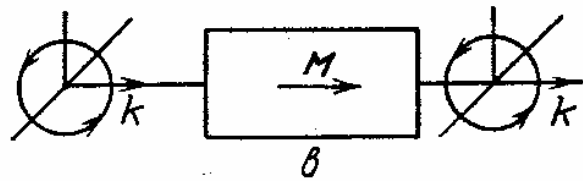
$$\Phi = \Phi_F z = c^{-1}\omega\Delta n z \approx (2cn_0)^{-1}\omega g z$$

Φ_F - удельное фарадеевское вращение

В парамагнетиках – закон Верде: $\Phi = \Phi_F z = V M z$

V - константа Верде

Магнитооптические эффекты



магнитный круговой дихроизм

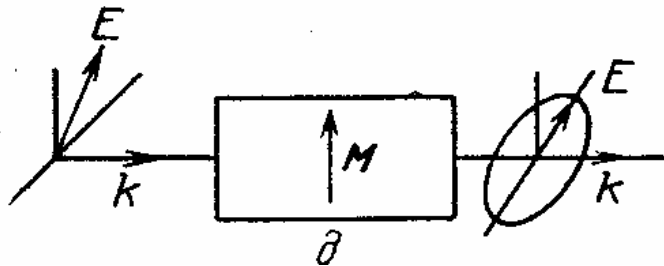
изменяется интенсивность,
либо линейно поляризованный свет – в эллиптически

наблюдается при $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$, $g = g' + ig''$

угол ориентации эллипса $\theta = (2cn_0)^{-1}\omega z \sqrt{(g')^2 + (g'')^2}$

эллиптичность ψ

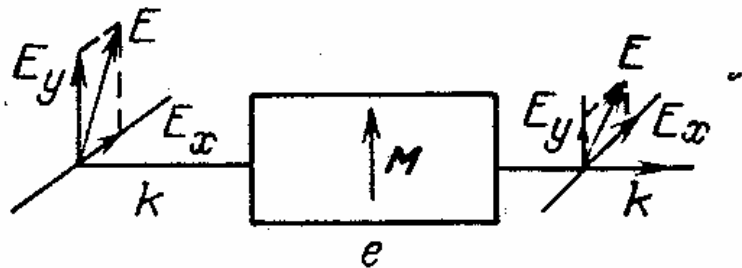
$$\psi = \tan \delta = (g')^{-1}g''$$



магнитное линейное дупреломление
(эффект Коттона-Мутона)

$$n_{\parallel} = (\epsilon_0)^{1/2}, \quad n_{\perp} = (\epsilon_1 - \epsilon_1^{-1}g^2)^{1/2}$$

линейно поляризованный свет – в эллиптически



магнитный линейный дихроизм

различный коэффициент поглощения линейно
поляризованных волн

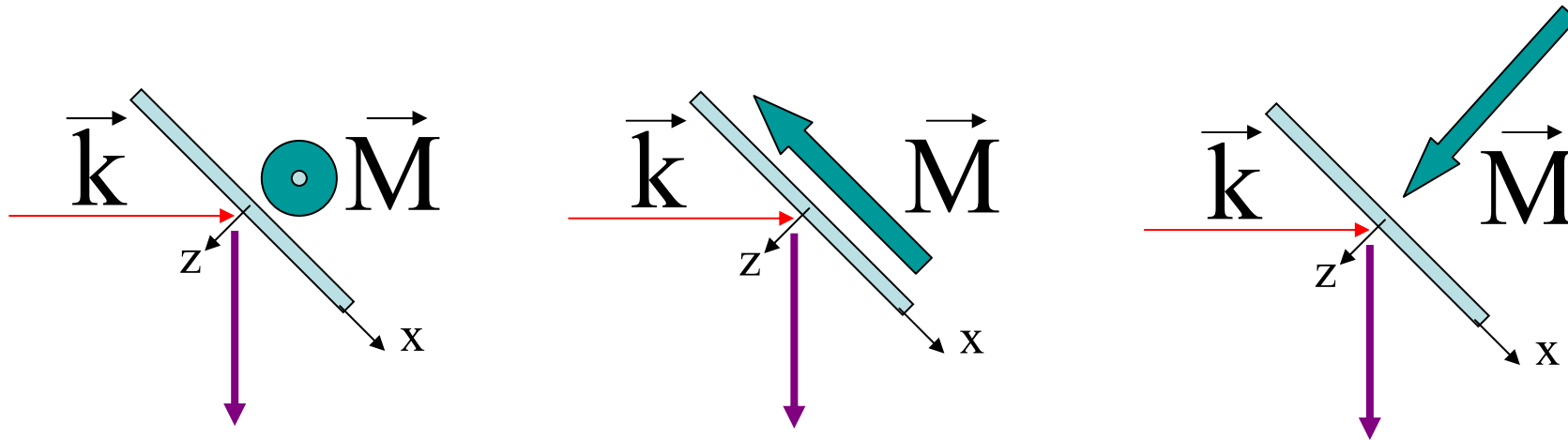
$$\Delta\alpha = \alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp} = (4\pi/\lambda)\text{Im}(n_{\parallel} - n_{\perp})$$

угол ориентации эллипса

$$\tan \theta = \tan \theta_0 \exp(\Delta\alpha/2)$$

Геометрии магнитооптических эффектов

1. Магнитооптический эффект Керра ($d \sim \lambda$), геометрия на отражение

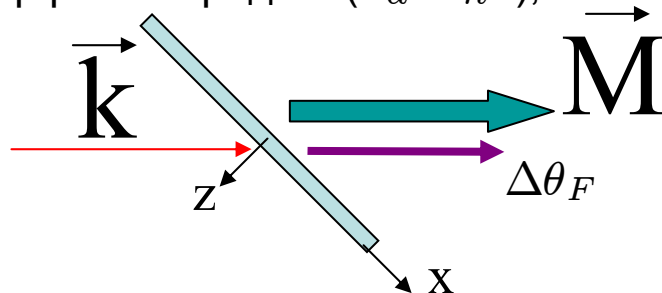


transversal Kerr effect
экваториальный
 ΔI_K

longitudinal Kerr effect
меридиональный
 $\Delta \theta_K$

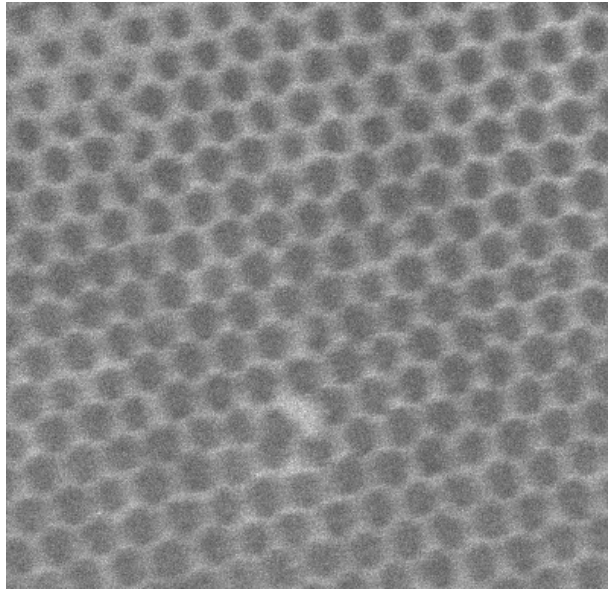
polar Kerr effect
полярный
 $\Delta \theta_K$

2. Эффект Фарадея ($d \sim h$), геометрия на прохождение



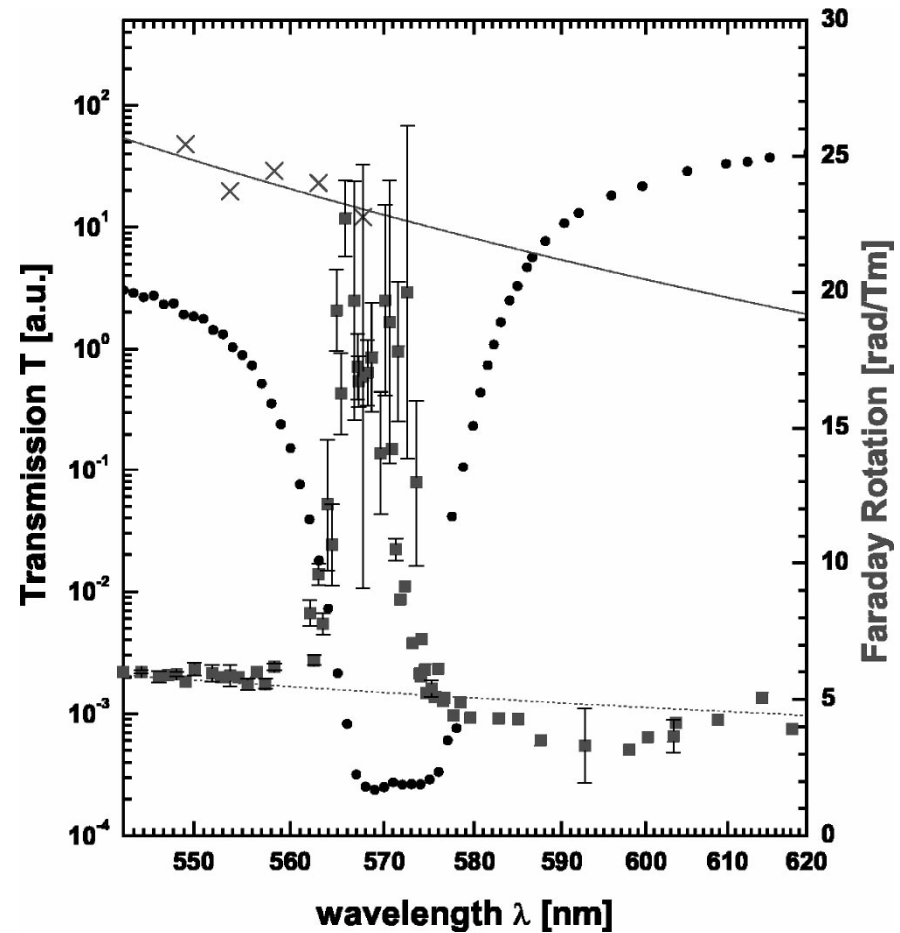
$\Delta \theta_F$

Магнитофотонные кристаллы на основе опалов



объект – опаловая матрица, заполненная парамагнитной жидкостью (нитрат диспрозия)

C. Koerdet et al., APL 82, 1538 (2003)



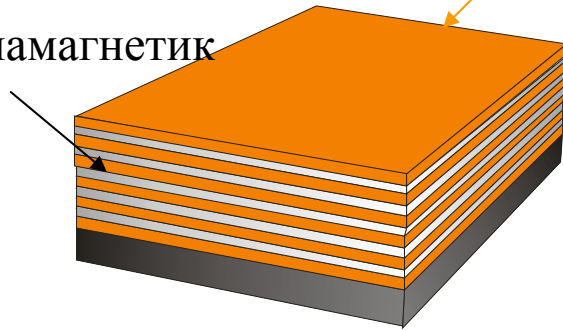
проблематика: создать твердотельный магнитный фотонный кристалл с ферромагнитными свойствами

Одномерные магнитные фотонные кристаллы и микрорезонаторы

одномерный фотонный кристалл

магнитный материал

диамагнетик

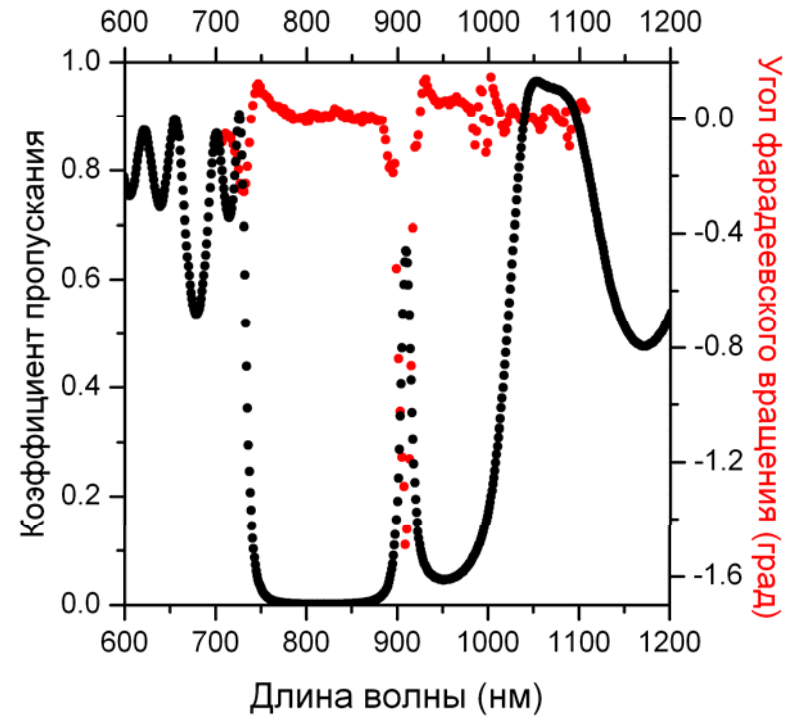
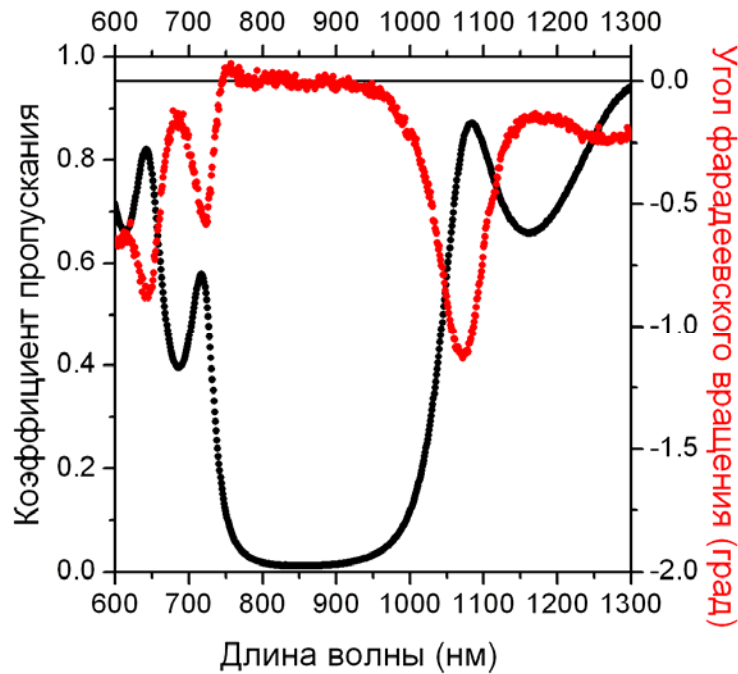
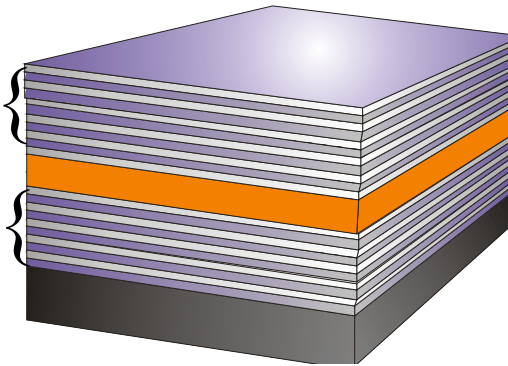


магнитный микрорезонатор

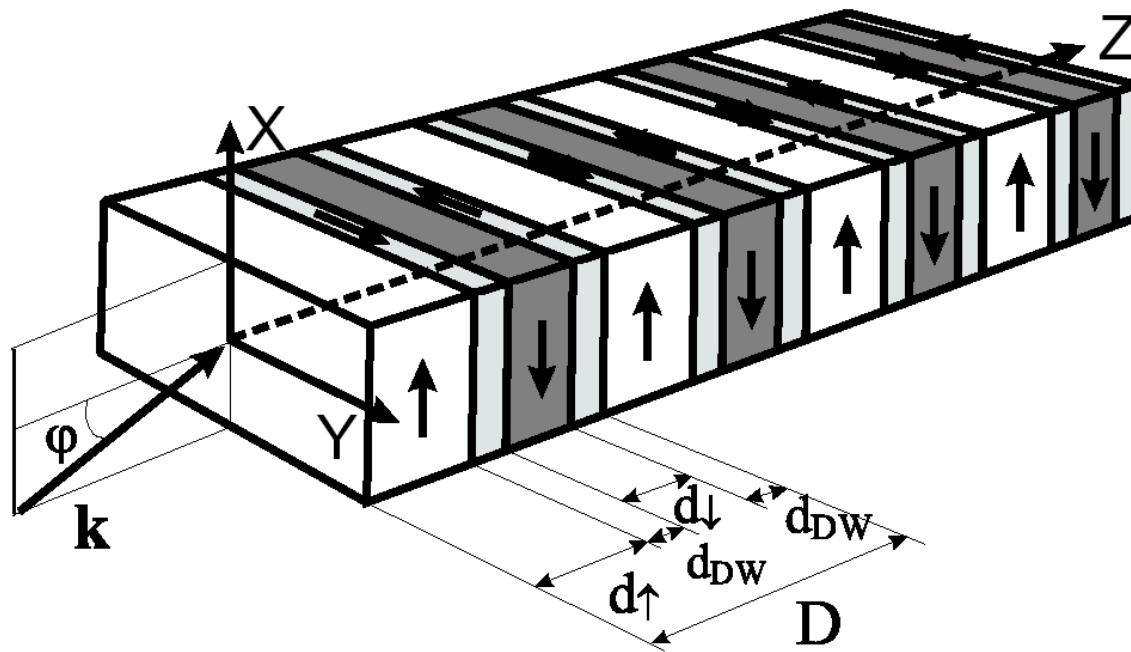
диэлектрическое
зеркало

диэлектрическое
зеркало

магнитный
материал



Магнитные фотонные решетки



линейная и нелинейная дифракция
(наблюдение эффекта Керра в нескольких
порядках дифракции)

S.V. Lazarenko et al., JAP 93, 7903 (2003)