

Оптика твердого тела и фотоника

I. Оптика твердого тела (15 часов)

- электромагнитная природа света
- отражение, преломление, поглощение, рассеяние
- оптическая анизотропия
- дисперсия
- электро- и магнитооптика
- оптика проводящих материалов
- нелинейная оптика
- люминесценция
- лазерная генерация

Литература:

Н.М. Годжаев. Оптика. М.: Высшая школа, 1977.

В.А. Алешкевич. Оптика. М.: Физматлит, 2010.

II. Диэлектрические фотонные кристаллы (8 часов)

- понятие о фотонике и фотонных кристаллах (ФК)
- фотонная зонная структура
- синтез ФК
- особенности структуры опаловых ФК
- усиление взаимодействия света с веществом в ФК

III. Активные ФК (4 часа)

- люминесцентные ФК и лазерная генерация
- резонансные структуры активных центров

IV. Магнитные, плазмонные ФК и метаматериалы (7 часов)

- магнитофотонные кристаллы
- сенсоры на основе ФК
- метаматериалы

Литература:

С.О. Климонский, В.В. Абрамова, А.С. Синицкий, Ю.Д. Третьяков. Синтез и особенности структуры фотонных кристаллов на основе опалов и инвертированных опалов. // Успехи химии, 2011, т. 80, № 12, с. 1244-1262.

I. Оптика твердого тела

1. Электромагнитная природа света

Уравнения Максвелла

SI ($c = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$)

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{j}$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$$

EMU

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = 4\pi\rho$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$$

Уравнения Максвелла в изотропной среде

SI ($D = \epsilon\epsilon_0 E$, $B = \mu\mu_0 H$)

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \epsilon\epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{j}$$

$$\text{div } \mathbf{E} = \rho / (\epsilon\epsilon_0)$$

$$\text{div } \mathbf{H} = 0$$

EMU ($D = \epsilon E$, $B = \mu H$)

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\mu}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}$$

$$\text{div } \mathbf{E} = 4\pi\rho/\epsilon$$

$$\text{div } \mathbf{H} = 0$$

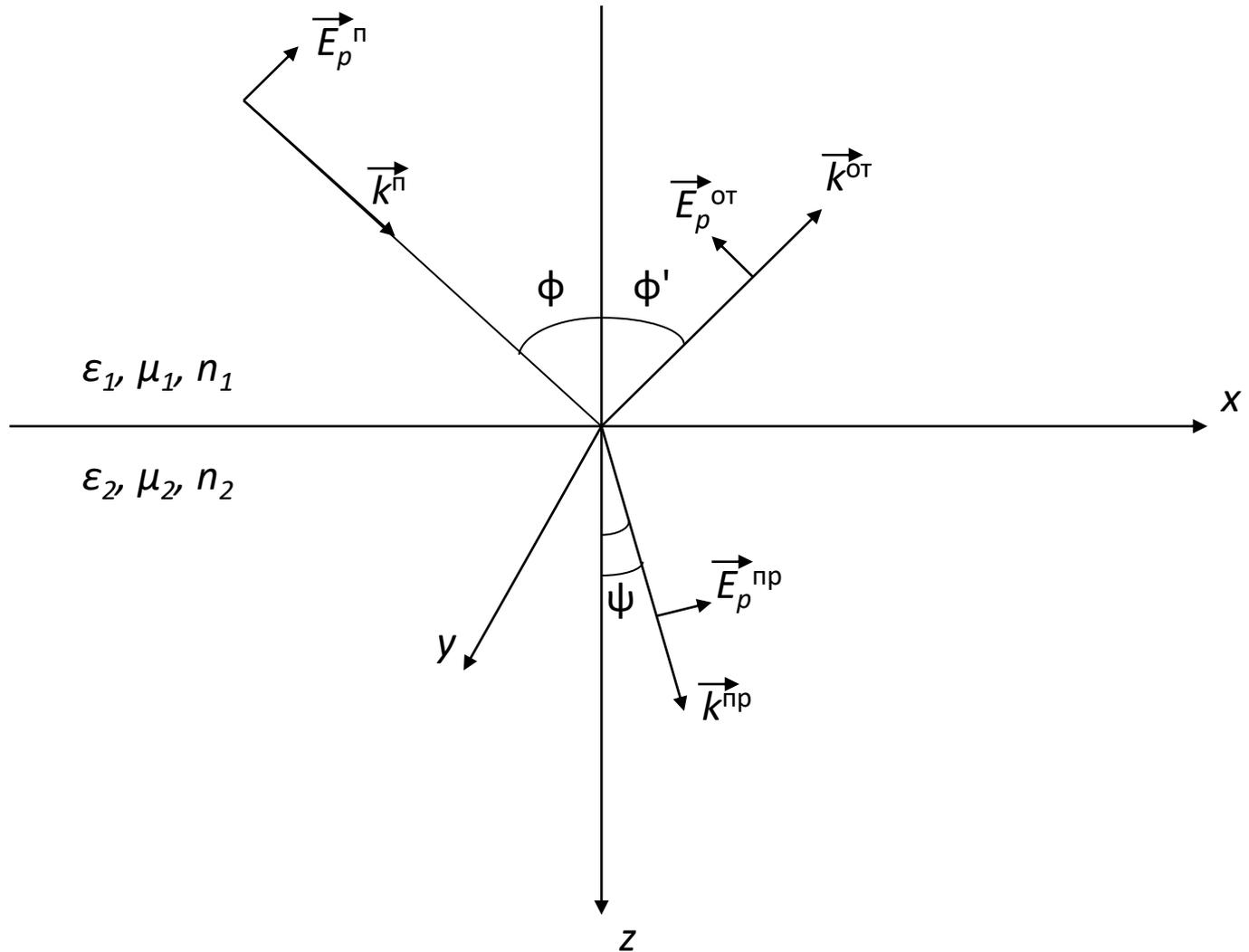
Свойства электромагнитных волн

1. $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{n}$, где $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ - коэффициент преломления.
2. $\mathbf{E} \perp \mathbf{k}$ и $\mathbf{H} \perp \mathbf{k}$.
3. В плоских волнах $\mathbf{E} \perp \mathbf{H}$, векторы \mathbf{k} , \mathbf{E} и \mathbf{H} составляют правовинтовую систему.
4. В бегущей плоской монохроматической волне векторы \mathbf{E} и \mathbf{H} колеблются синфазно, причем $\sqrt{\epsilon} E = \sqrt{\mu} H$.

Интенсивность света:

$$I = \langle |\mathbf{S}| \rangle = \left\langle \left| \frac{c}{4\pi} [\mathbf{E}\mathbf{H}] \right| \right\rangle = \frac{c}{4\pi} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E^2$$

2. Отражение и преломление света



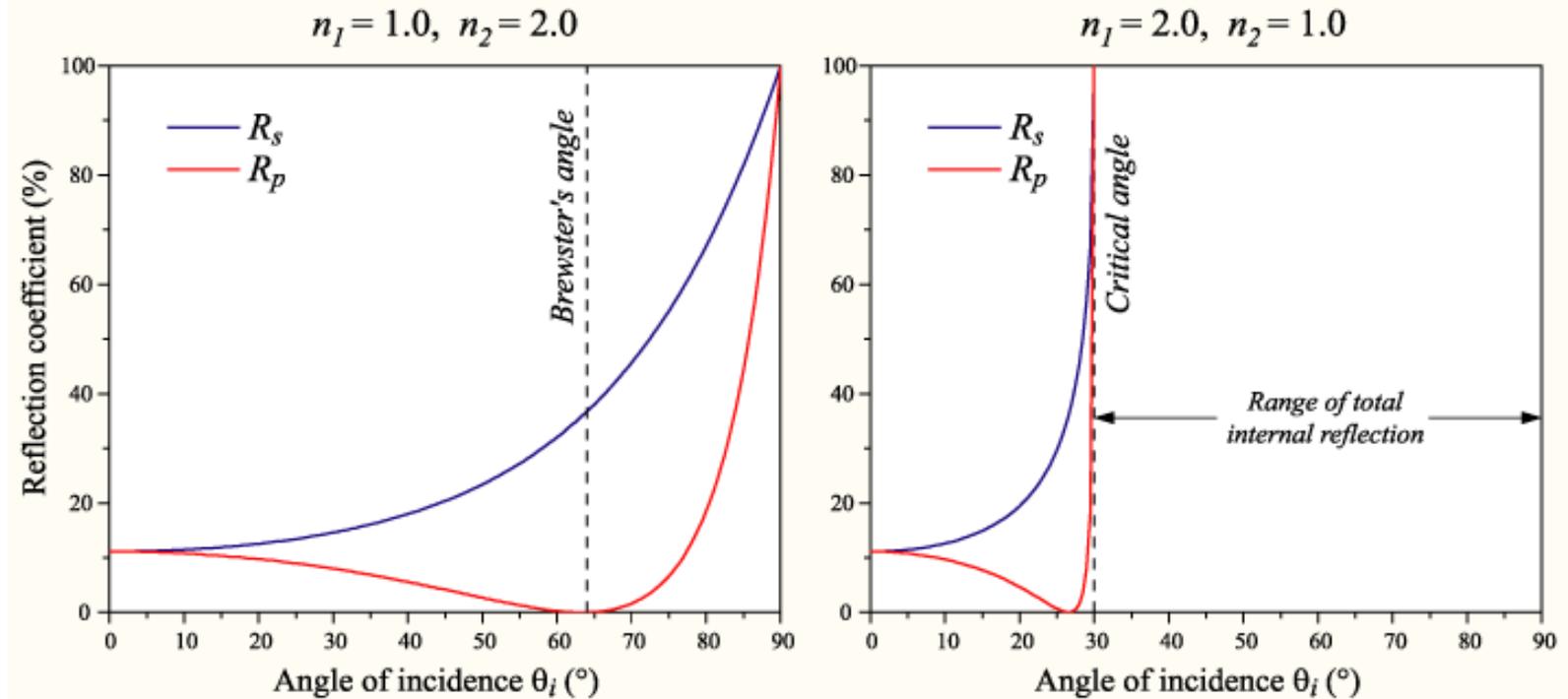
Формулы Френеля

$$E_p^{om} = E_p^n \frac{tg(\varphi - \psi)}{tg(\varphi + \psi)}; \quad E_p^{np} = E_p^n \frac{2 \sin \psi \cos \varphi}{\sin(\varphi + \psi) \cos(\varphi - \psi)};$$
$$E_s^{om} = -E_s^n \frac{\sin(\varphi - \psi)}{\sin(\varphi + \psi)}; \quad E_s^{np} = E_s^n \frac{2 \sin \psi \cos \varphi}{\sin(\varphi + \psi)}.$$

$$I_{np} = 2I_n \frac{\sin^2 \psi \cos^2 \varphi [1 + \cos^2(\varphi - \psi)]}{\sin^2(\varphi + \psi) \cos^2(\varphi - \psi)} \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

$$I_{omp} = \frac{1}{2} I_n \left[\frac{\sin^2(\varphi - \psi)}{\sin^2(\varphi + \psi)} + \frac{tg^2(\varphi - \psi)}{tg^2(\varphi + \psi)} \right]$$

Формулы Френеля



3. Поглощение света

Закон Бугера (1729):

$$I = I_0 e^{-\alpha l}$$

Формула Бугера-Беера:

$$I = I_0 e^{-\alpha_0 c_0 l}$$

где c_0 - концентрация растворенного вещества.

Комплексный коэффициент преломления:

$$\tilde{n} = n - ik$$

(k - коэффициент экстинкции).

$$\alpha = \frac{4\pi}{\lambda_0} k$$

(λ_0 - длина волны в вакууме)

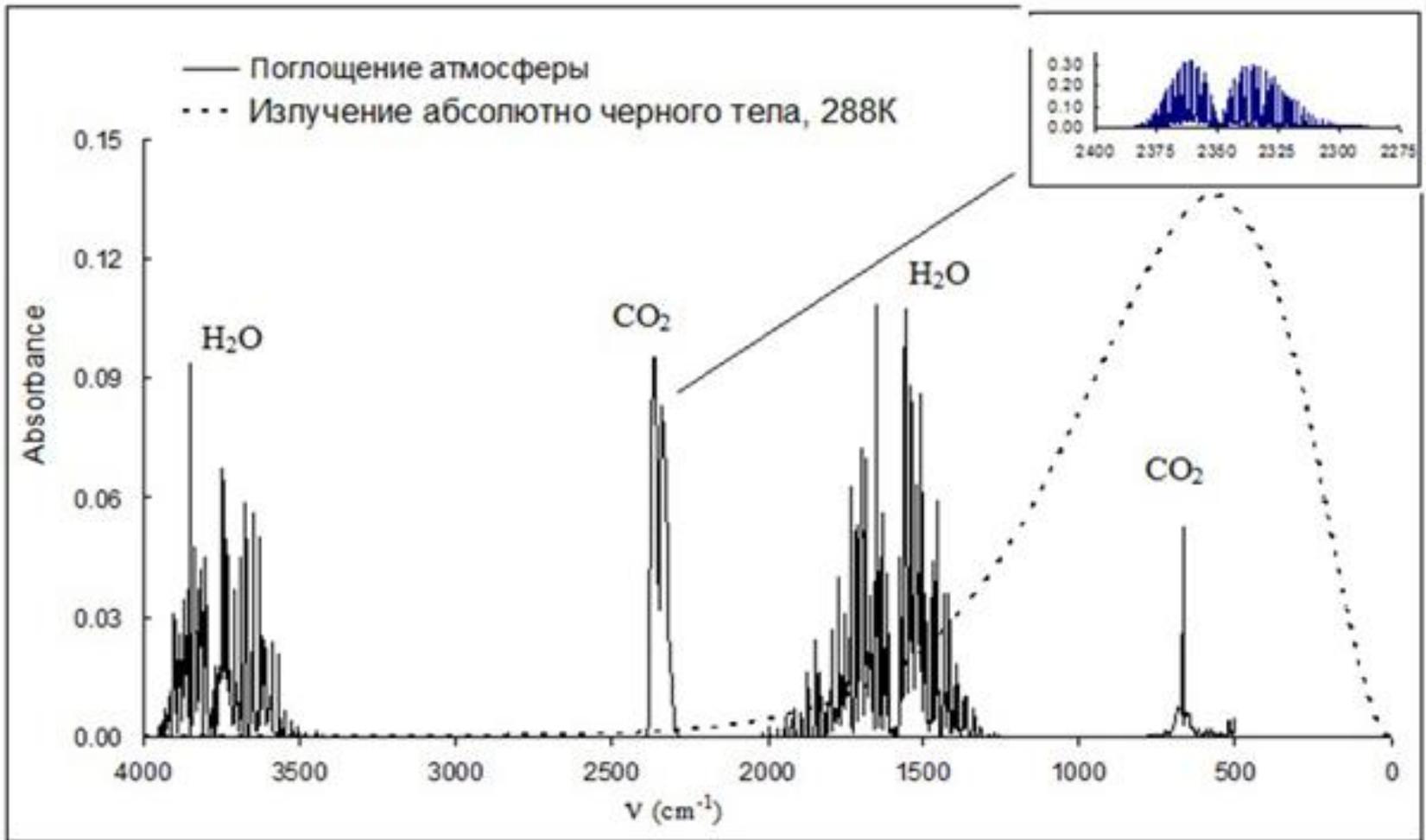
Проводящая среда:

$$k \approx \sqrt{\frac{2\pi\sigma}{\omega}}$$

Толщина скин-слоя:

$$\delta \approx \frac{c}{\sqrt{2\pi\omega\sigma}} \quad (\text{EMU})$$

$$\delta \approx \sqrt{\frac{2\varepsilon_0}{\omega\sigma}} c \quad (\text{SI})$$



Поглощение воздуха

Увеличению и уменьшению энергии вращения соответствуют R- и P-ветви вращательных линий молекул.

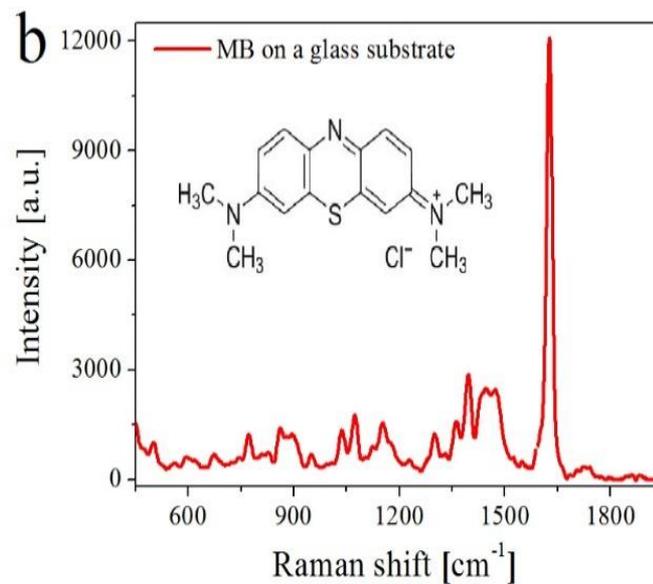
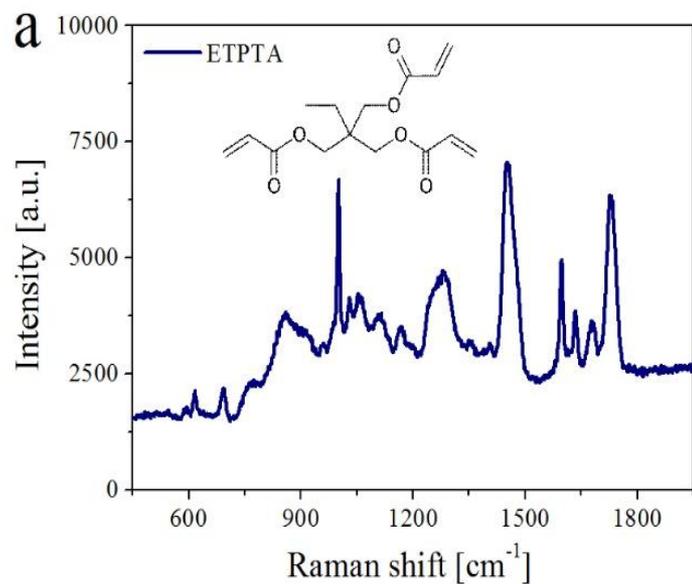
4. Рассеяние света

Формула Рэлея для рассеяния на малых ($R \ll \lambda$) сферических частицах:

$$I_{\varphi} = I_0 \frac{9\pi^2 \varepsilon_0^2 N_1^2 V_1^2}{r^2 \lambda^4} \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + 2\varepsilon_0} \right)^2 (1 + \cos^2 \varphi)$$

(ε_0 - диэлектрическая проницаемость среды, ε - частицы, V_1 - объем частицы, r - расстояние до наблюдателя, N_1 - число частиц в 1 см^3).

Рамановская спектроскопия



Спектры фоточувствительной смолы ЕТРТА (а) и красителя метиленового голубого (b).

Molecules	Raman shift (cm ⁻¹)	Band assignment
ETPTA	998	out-of-plane bending -CH=CH ₂
	1278	asymmetric stretching of C-O
	1452	sym. def. vib. of =CH ₂
	1635	C=C stretching, polarized
	1681	C=C stretching, strong
	1729	stretching of the -C=O
MB dye	502	skeletal deformation of C-N-C
	596	skeletal deformation of C-S-C
	671	out-of-plane bending of C-H
	770	N-CH ₃ stretching
	1040	C-H in-plane bending
	1186	asymmetric stretching of C-N
	1302	in plane ring deformation of C-H
	1398	asymmetric C-N stretching
	1505	asymmetric stretching of C-C ring
	1629	stretching of the C-C ring

Socrates, G. *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and charts*. 3-rd ed. Middlesex. UK, 2001.

Рамановская спектроскопия

Правило альтернативного запрета: при наличии в молекуле центра симметрии колебания, разрешенные в спектрах комбинационного рассеяния, запрещены в ИК-спектрах, и наоборот.