

# 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 (7 часов)**

- понятие о фотонике и фотонных кристаллах (ФК)
- фотонная зонная структура
- синтез ФК
- особенности структуры опаловых ФК

## **III. Активные ФК (4 часа)**

- люминесцентные ФК и лазерная генерация
- резонансные структуры активных центров

## **IV. Металлические , магнитные, плазмонные ФК и метаматериалы (8 часов)**

- металлические ФК
- магнитофотонные кристаллы
- сенсоры на основе ФК
- метаматериалы

### **Литература:**

**С.О. Климонский, В.В. Абрамова, А.С. Сеницкий, 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** ( $D = \epsilon E$ ,  $B = \mu H$ )

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

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

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

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

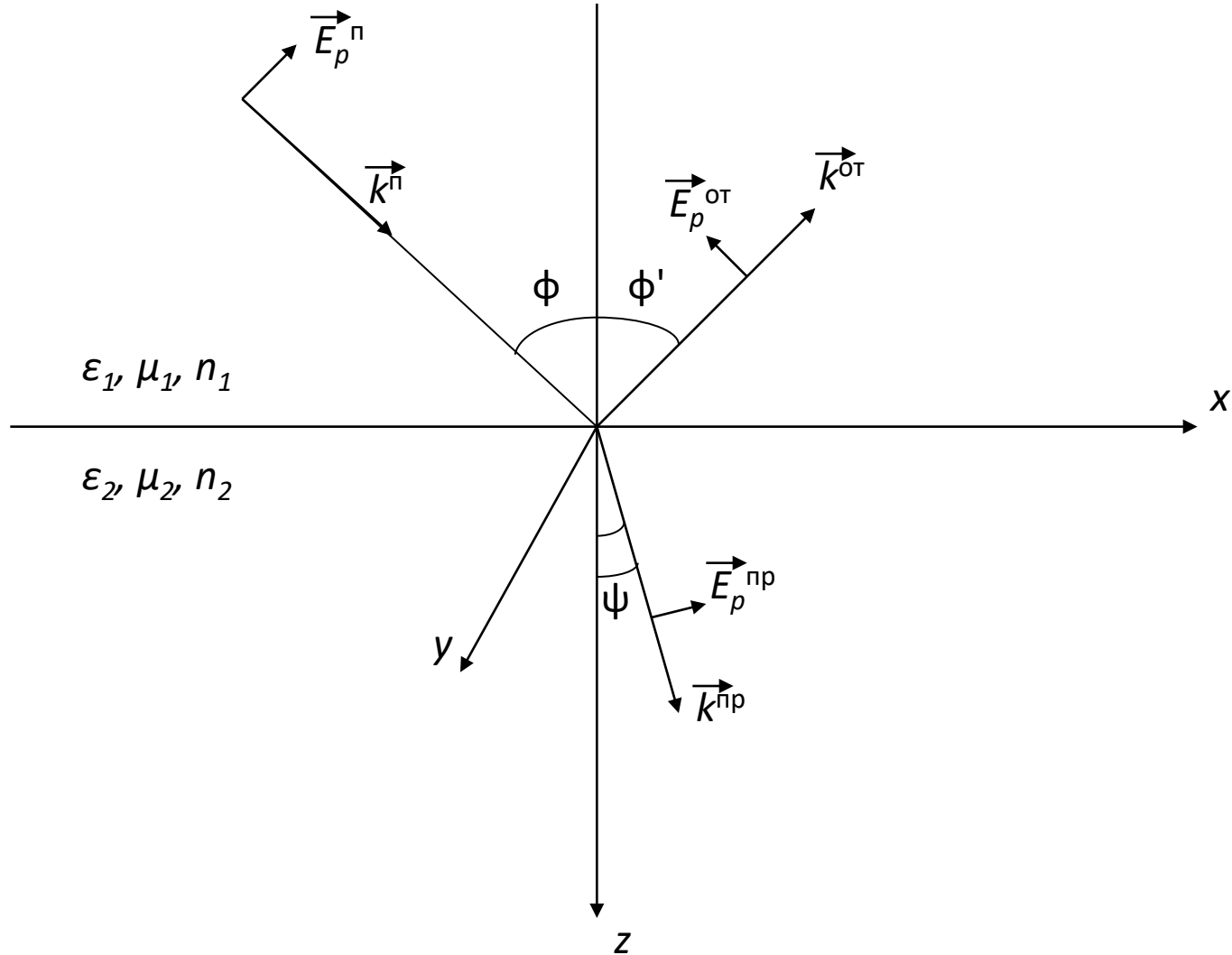
## Свойства электромагнитных волн

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

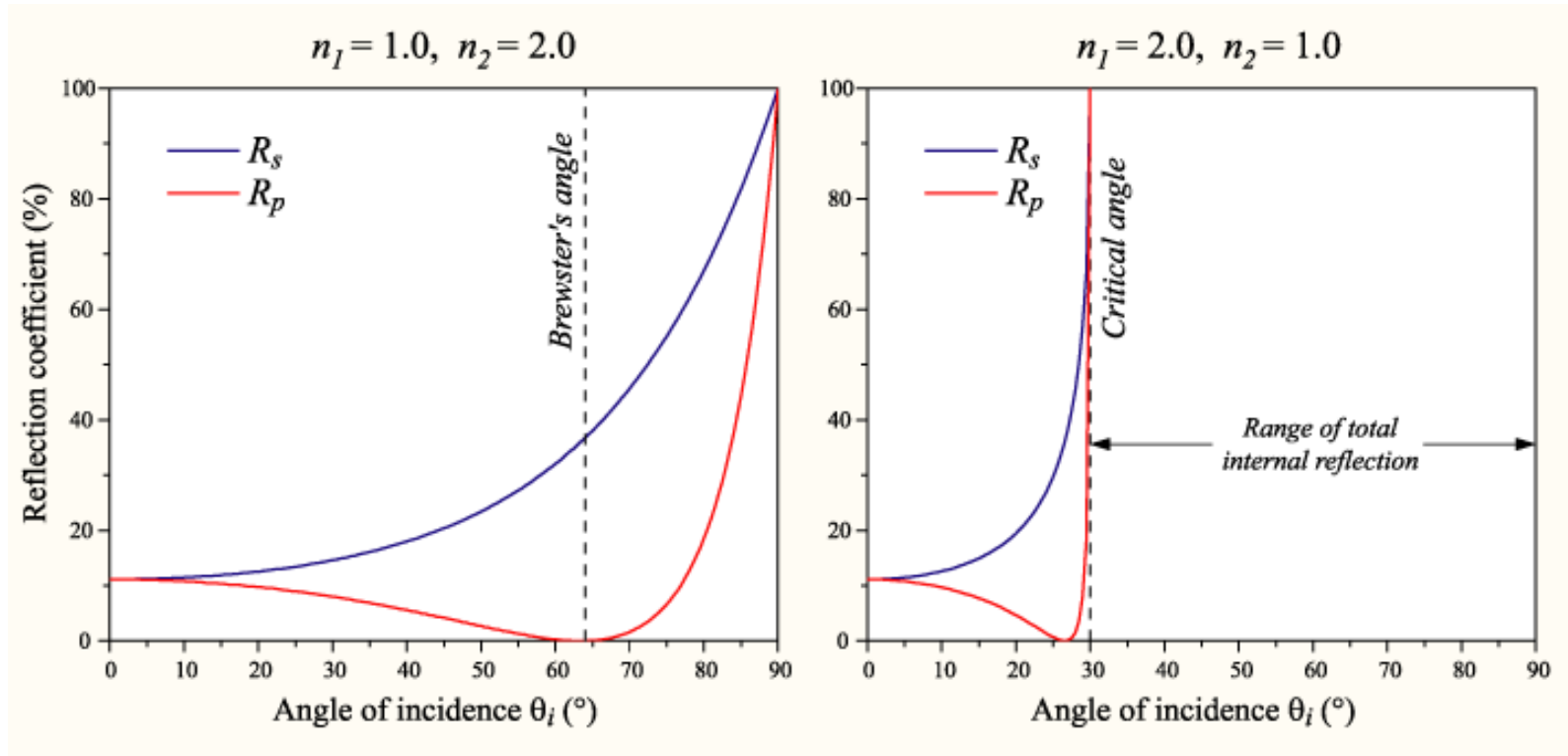


## Формулы Френеля

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

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

# 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:

$$\tilde{n} = n - i\kappa$$

( $\kappa$  - коэффициент экстинкции).

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

( $\lambda_0$  - длина волны в вакууме)

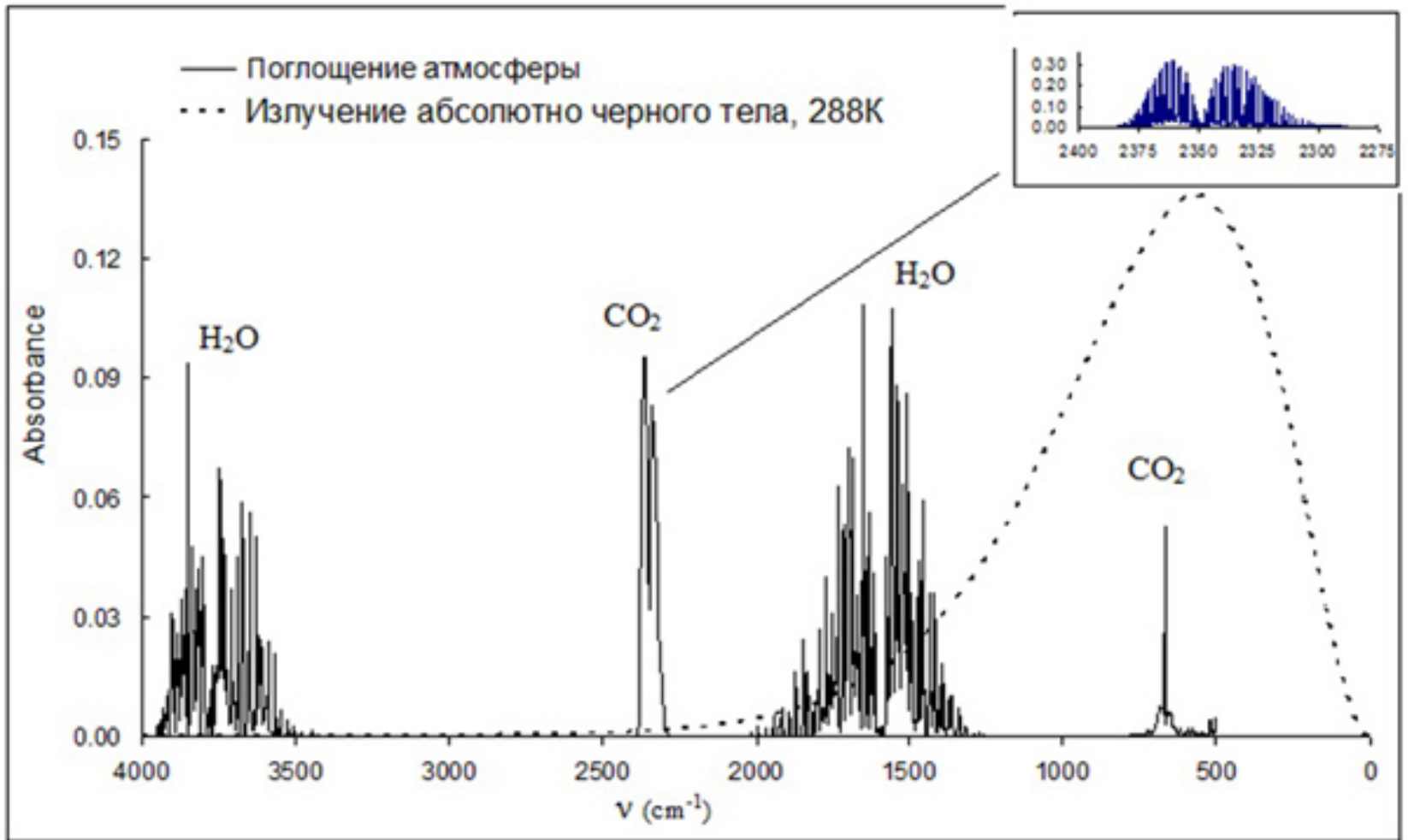
Проводящая среда:

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

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**

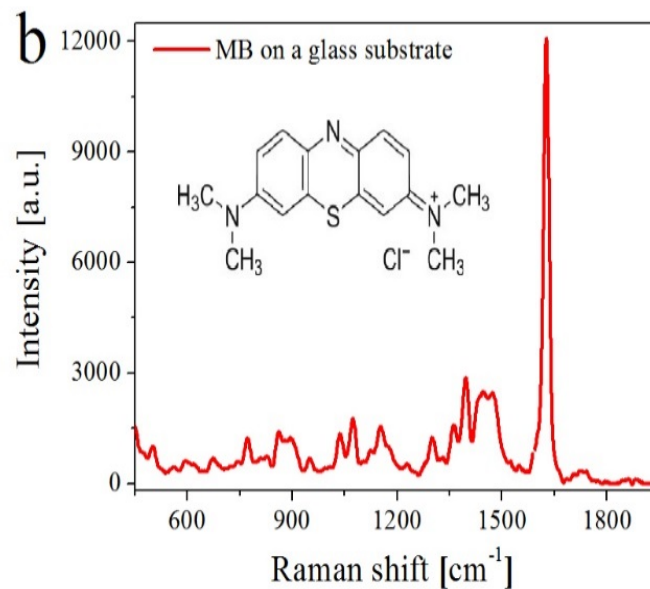
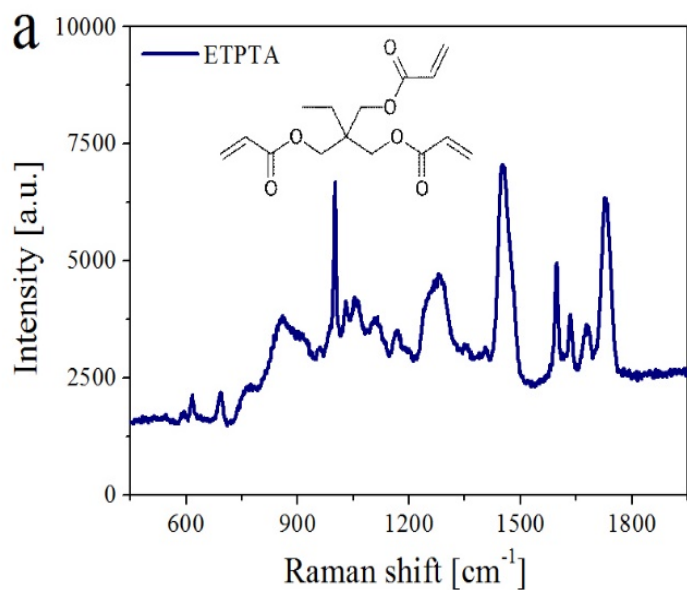
## 4. Рассеяние света

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

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

( $\varepsilon_0$  - диэлектрическая проницаемость среды,  $\varepsilon$  - частицы,  $V_1$  - объем частицы,  $r$  - расстояние до наблюдателя,  $N_1$  - число частиц в  $1 \text{ см}^3$ ).

# Рамановская спектроскопия



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

Molecules	Raman shift (cm <sup>-1</sup> )	Band assignment
ETPTA	998	out-of-plane bending -CH=CH <sub>2</sub>
	1278	asymmetric stretching of C-O
	1452	sym. def. vib. of =CH <sub>2</sub>
	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 <sub>3</sub> 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.