

**Тема: Взаимодействие света с веществом.
Тепловое излучение.**



лекция №5

для студентов 1 курса, обучающихся по специальности 31.05.01 – Лечебное дело

к.п.н., доцент Шилина Н.Г.
Красноярск, 2020



Цель лекции:

Ознакомить обучающихся с

- основными механизмами взаимодействия электромагнитной волны с веществом
- законами теплового излучения



План лекции

1. Взаимодействие света с веществом:

- рефракция света. Волоконная оптика;
- поглощение света. Концентрационная колориметрия;
- рассеяние света. Нефелометрия;
- поляризация света. Поляриметрия.

2. Законы теплового излучения.

Геометрическая оптика – раздел оптики, описывающий закономерности распространения световых лучей.

Закон прямолинейного распространения света:

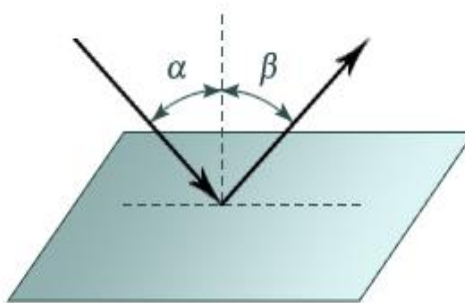
В оптически однородной среде свет распространяется прямолинейно.



Закон отражения света:

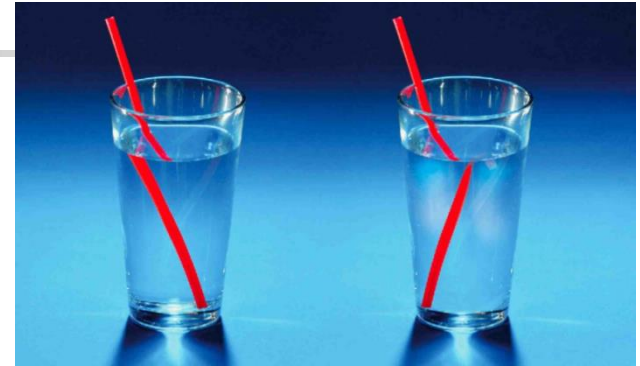
Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, проведенный в точку падения луча на границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости. Угол падения равен углу отражения.

$$\alpha = \beta$$

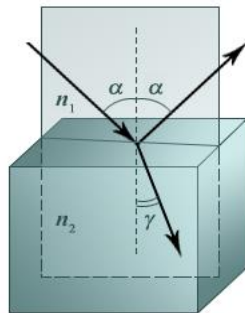


Явление преломления света (*рефракция*) заключается в изменении направления и скорости распространения света на границе раздела двух сред.

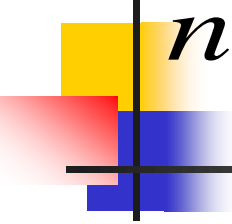
Законы преломления света:



1. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный в точку падения луча на границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости.
2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно относительному показателю преломления второй среды относи



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}$$


$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \quad - \text{ относительный показатель преломления двух сред, равный отношению абсолютных показателей преломления данных сред.}$$

Абсолютный показатель преломления среды равен отношению скорости распространения света в вакууме к скорости света распространения в данной среде.

$$n_1 = \frac{c}{V_1}, n_2 = \frac{c}{V_2}$$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – скорость распространения света в вакууме

$$n_{21} = \frac{V_1}{V_2}$$




Среду с большим абсолютным показателем преломления называют **оптически более плотной**.

При переходе света из среды оптически **менее плотной** в оптически **более плотную** угол падения больше угла преломления.

$$n_1 < n_2 \rightarrow \alpha > \beta$$

При переходе света в среду оптически менее плотную угол преломления больше угла падения.

$$n_1 > n_2 \rightarrow \alpha < \beta$$



Отношения синуса угла падения α к синусу угла преломления β лучей для данных двух сред есть величина постоянная, равная отношению показателю преломления второй среды относительно первой:

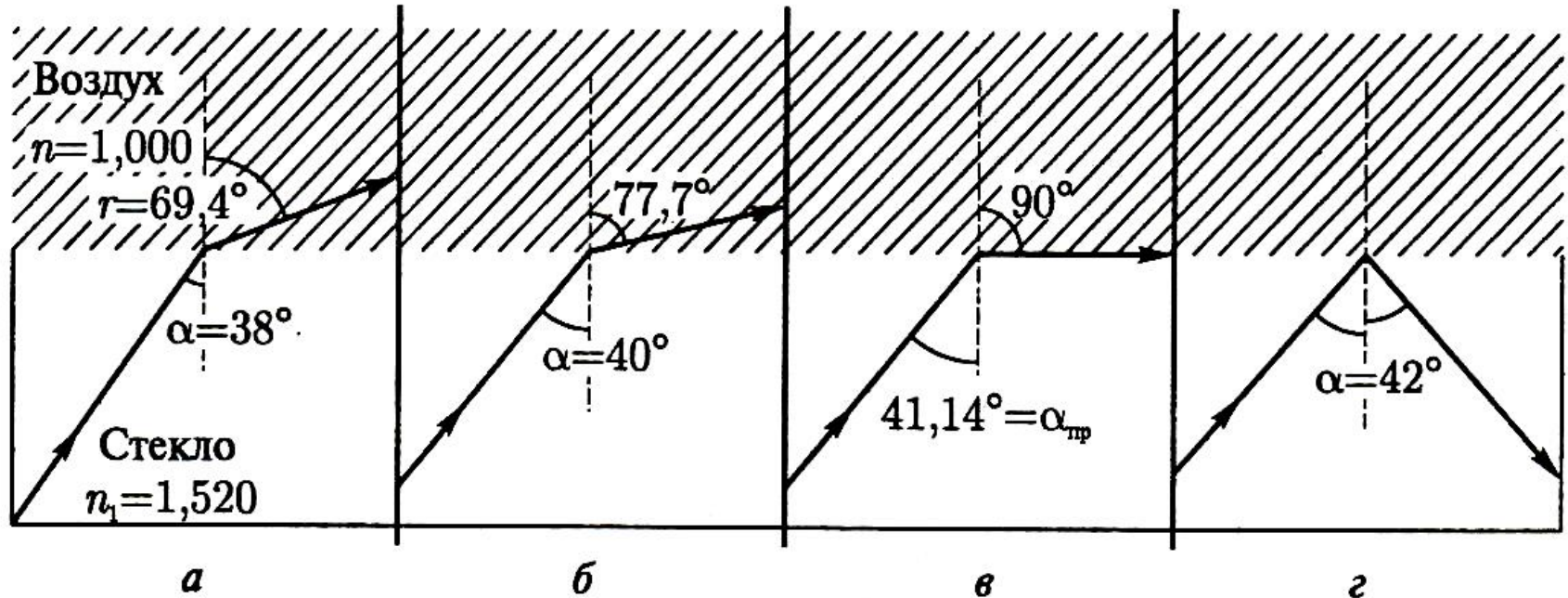
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}$$

а) свет переходит из среды оптически менее плотной в более плотную (например, из воздуха в воду)
Угол падения больше угла преломления

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin \beta_{\text{пр}}} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \sin \beta_{\text{пр}} = \frac{n_1}{n_2}$$

б) свет переходит из среды оптически более плотной в менее плотную (например, из стекла в воздух)

Угол падения меньше угла преломления



$$\frac{\sin \alpha_{\text{пр}}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1}$$

- предельный угол
полного внутреннего
отражения

Рефрактометрия

– метод измерения показателя преломления исследуемых веществ для быстрого определения концентрации водных и др. растворов, а также для определения общего количества белка в крови и отдельных его фракций при анализе желудочного сока, мочи и др. веществ.

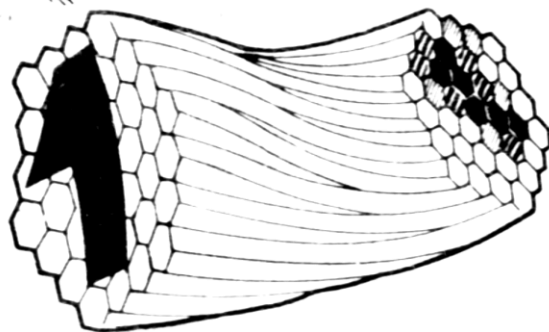


Рефрактометры



Волоконная оптика

Устройства, в которых используется явление полного отражения для передачи света, - **ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА**



Пучок волокон (световод)

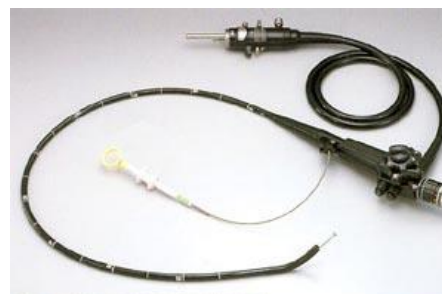


Волоконный биопсийный сигмоидоколоноскоп

Волоконная оптика

Использование световодов в медицине:

- освещение труднодоступных участков при проведении манипуляций
- передача изображений внутренних органов
- внутрисосудистое облучение крови лазерным светом при лечении инфаркта миокарда
- внутрилегочное облучение ультрафиолетом при лечении туберкулеза



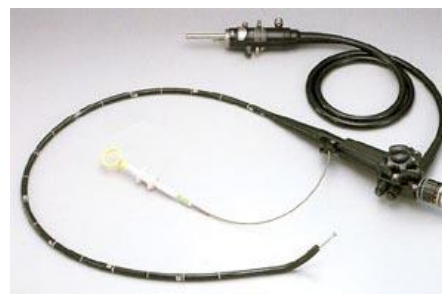
Фиброгастроскоп



Волоконная оптика

Использование световодов в медицине:

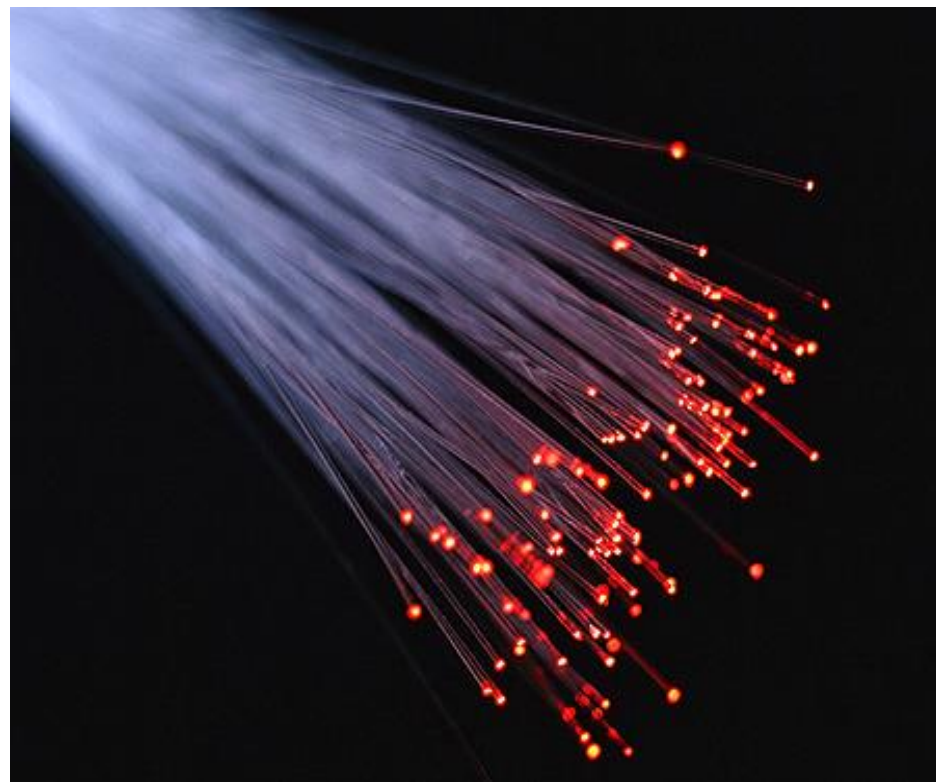
- освещение труднодоступных участков при проведении манипуляций
- передача изображений внутренних органов
- внутрисосудистое облучение крови лазерным светом при лечении инфаркта миокарда
- внутрилегочное облучение ультрафиолетом при лечении туберкулеза



Фиброгастроскоп



Волоконная оптика

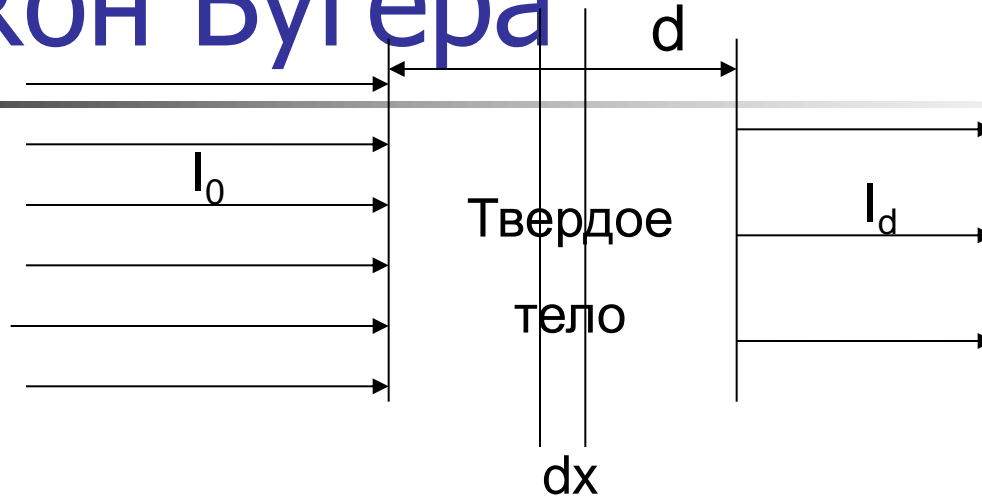




Поглощение света

- Ослабление интенсивности света при прохождении через любое вещество вследствие превращения световой энергии в другие виды энергии

Закон Бугера



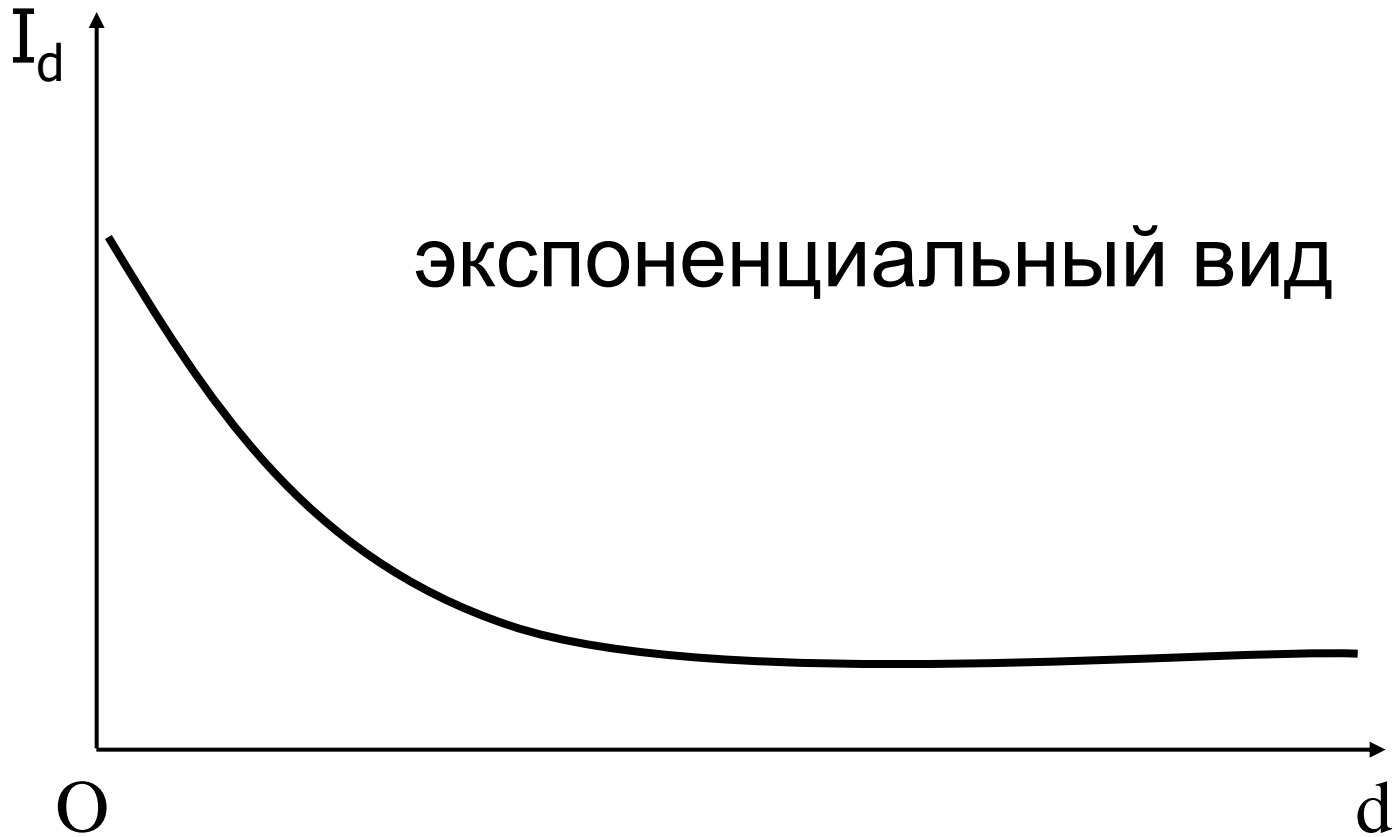
$$dI = -k_{\lambda} I dx; \quad dI/I = -k_{\lambda} dx$$

$$I_d = I_0 e^{-k_{\lambda} d}; \quad I_d = I_0 10^{-k'_{\lambda} d}$$

K_{λ} – монохроматический натуральный показатель поглощения.

$$K'_{\lambda} = 0,43 k_{\lambda}$$

Зависимость интенсивности света, прошедшего через вещество, от толщины слоя





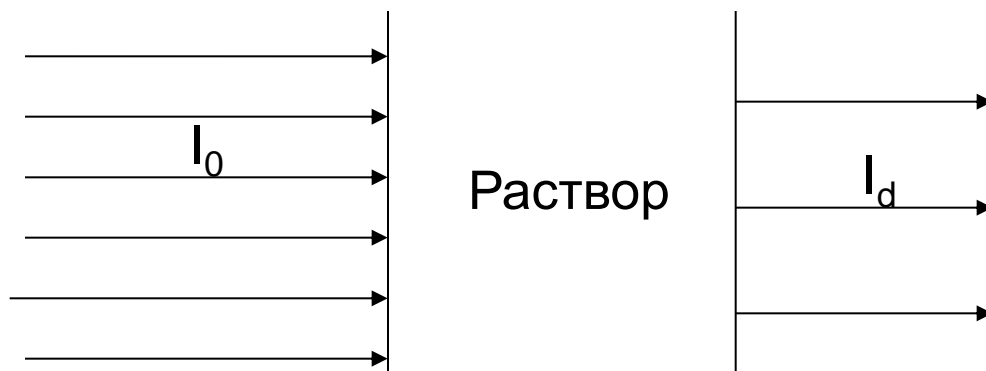
Закон Бера

Раствор концентрацией C

$$K_{\lambda} = x_{\lambda} C$$

X_{λ} – монохроматический удельный показатель поглощения.

Закон Бугера-Ламберта-Бера



$$I_d = I_0 e^{-\chi_\lambda cd}$$

$$I_d = I_0 10^{-\chi'_\lambda cd}$$

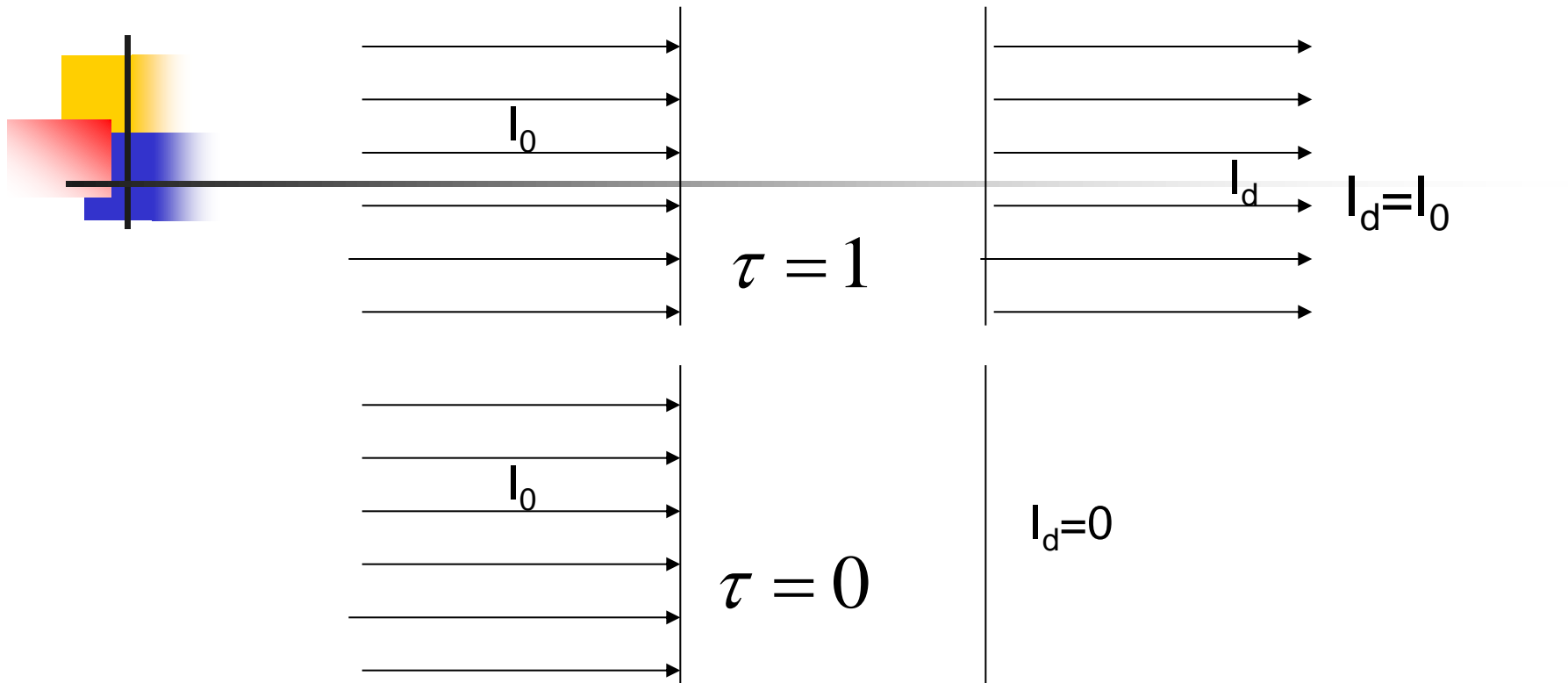
$$\chi'_\lambda = 0,43 \chi_\lambda$$



Коэффициент пропускания

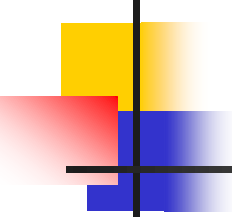
- Отношение интенсивности света прошедшего через вещество I_d к интенсивности падающего света I_0 .

$$\tau = \frac{I_d}{I_0}$$



Оптическая плотность раствора

$$D = \lg \frac{1}{\tau} = \lg \frac{I_0}{I_d} = \chi_{\lambda} cd$$



Концентрационная колориметрия

Метод определения концентрации вещества в окрашенных растворах по поглощению света

В основе закон Бугера-Ламберта-Бера

$$I_d = I_0 e^{-x c d}$$

$$D = \chi_\lambda c_1 d_1 \quad D = \chi_\lambda c_2 d_2$$

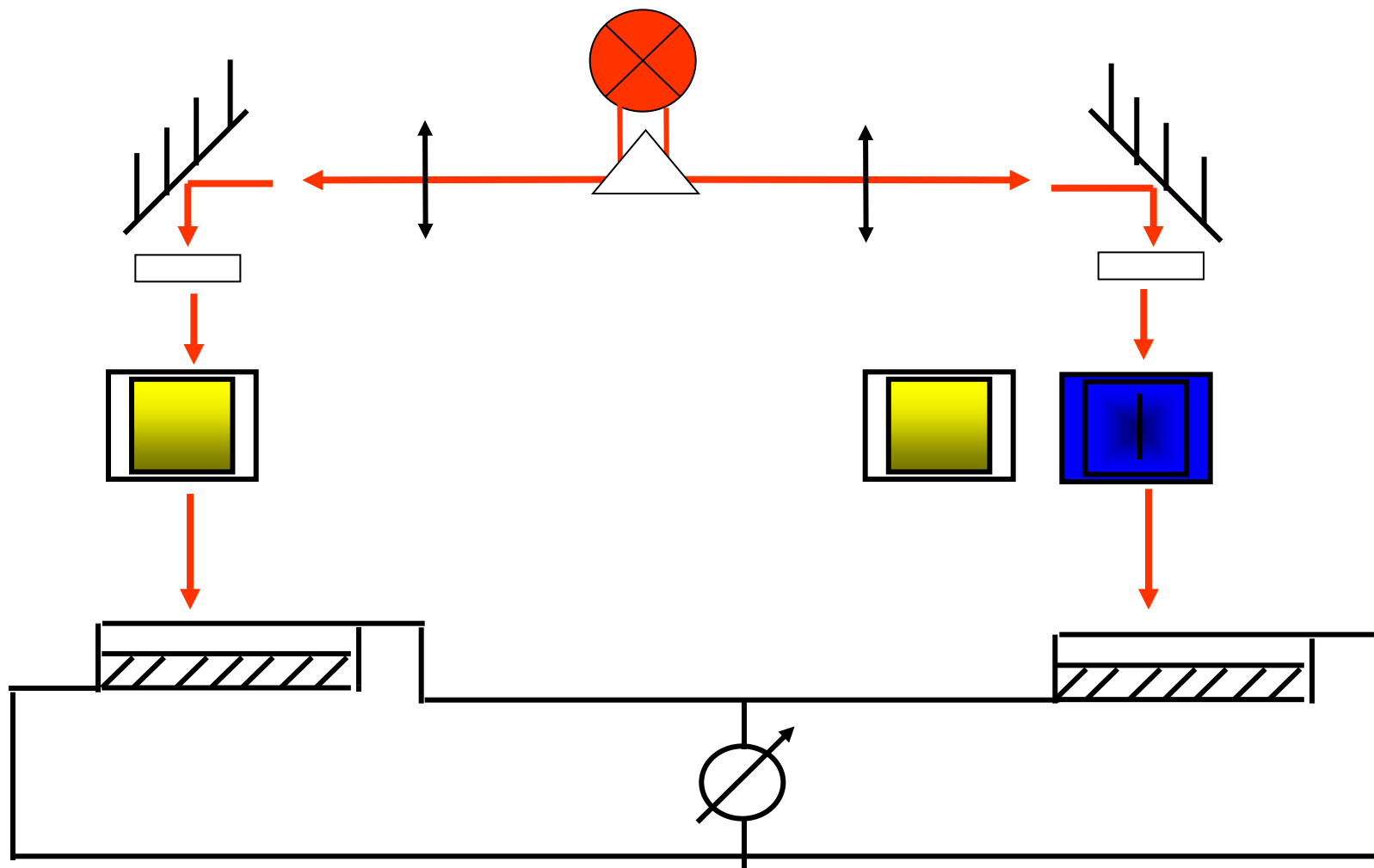
$$c_1 d_1 = c_2 d_2$$

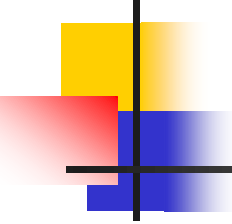
Фотоколориметр – прибор, определяющий концентрацию окрашенных растворов



Фотоколориметр

- Прибор, определяющий концентрацию окрашенных растворов





Использование фотоколориметра в медико-биологических исследованиях

Определение в крови концентрации:

- **Эритроцитов**
- **Гемоглобина**
- **Оксигемоглобина**
- **Белков**
- **Липидов**
- **Углеводов**

Спектры поглощения

Спектр – зависимость любой физической величины, характеризующий процесс поглощения света, от его частоты (или длины волны).

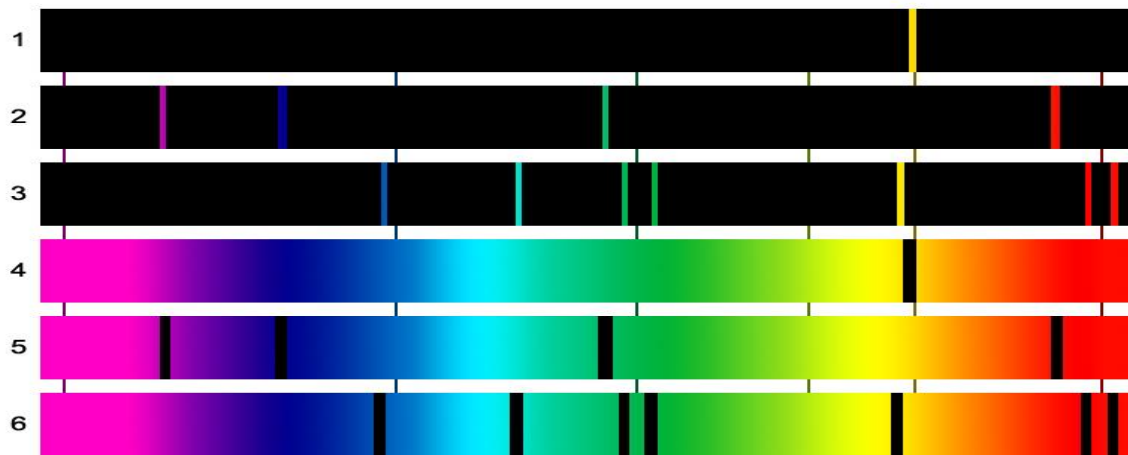
Цвет тела определяется его **спектром поглощения**

Примеры:

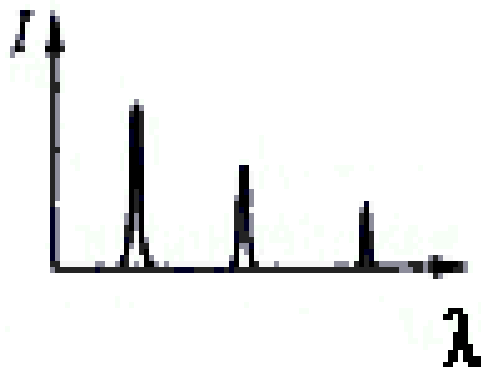
Зеленый цвет – поглощаются все цвета кроме зеленого, а зеленый отражается, красный – отражаются красные лучи.



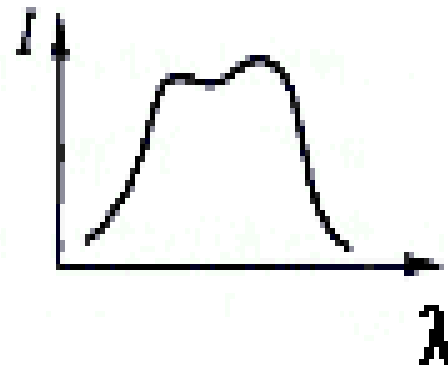
Спектры поглощения



Спектры испускания: 1 - натрия; 2 - водорода; 3 - гелия.
Спектры поглощения: 4 - натрия; 5 - водорода; 6 - гелия.



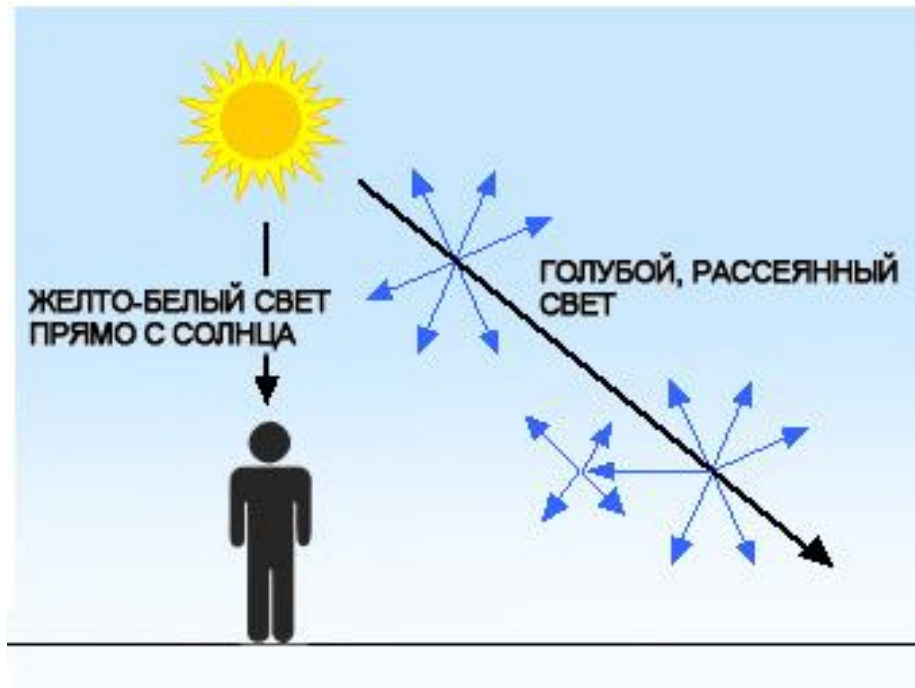
Линейчатый



Непрерывный

Рассеяние света

– явление, при котором распространяющийся в среде световой пучок отклоняется по всевозможным направлениям.



Рассеяние света



Рассеяние света
мутными
средами



Явление Тиндаля

Рассеяние света
оптическими
неоднородностями
(флуктуации плотности)



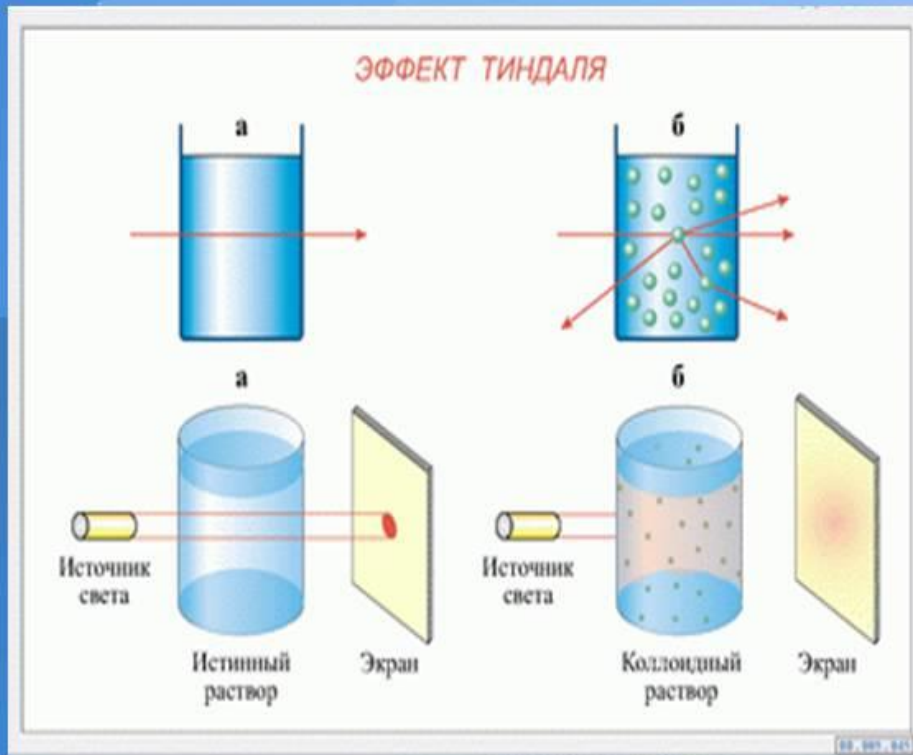
Молекулярное

$$I_d = I_0 e^{-ml}$$

m – натуральный показатель рассеяния

Эффект Тиндаля

рассеяние света при прохождении светового пучка через оптически неоднородную среду. Обычно наблюдается в виде светящегося конуса (конус Тиндаля), видимого на тёмном фоне.



Солнечные лучи
проходящие сквозь
туман.

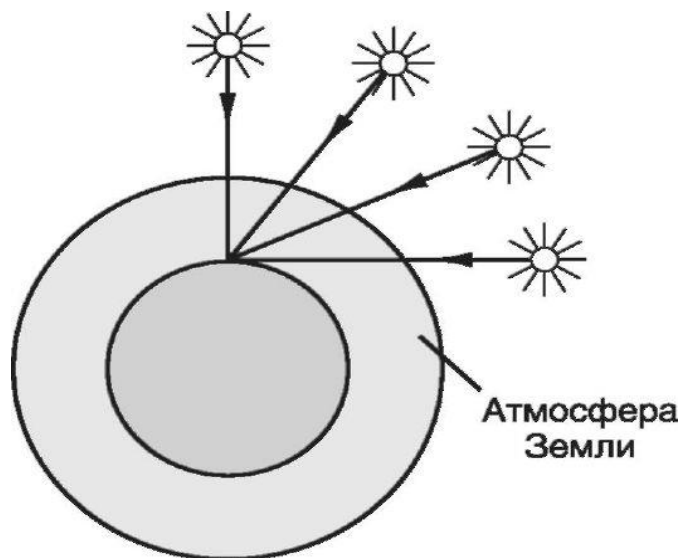
$$I \approx \frac{1}{\lambda^2}$$

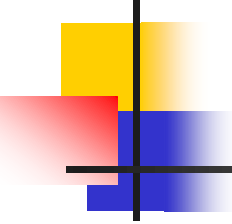
Закон Рэля:

Интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна четвертой степени длины волны.

$$I \approx \frac{1}{\lambda^4}$$

Закон Рэля справедлив, если размеры неоднородностей $d \sim 0,2\lambda$





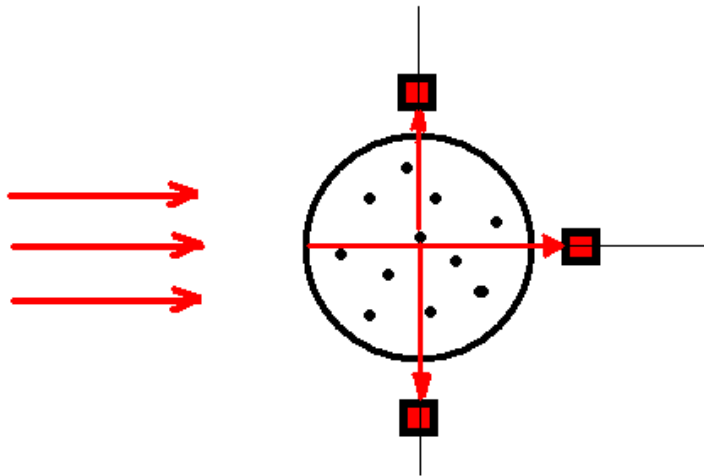
Поглощение + рассеяние

$$I_d = I_0 e^{-\mu d}$$

$$\mu = m + k$$

Нефелометрия

Методы измерения рассеянного света с целью получения информации о рассеивающей системе

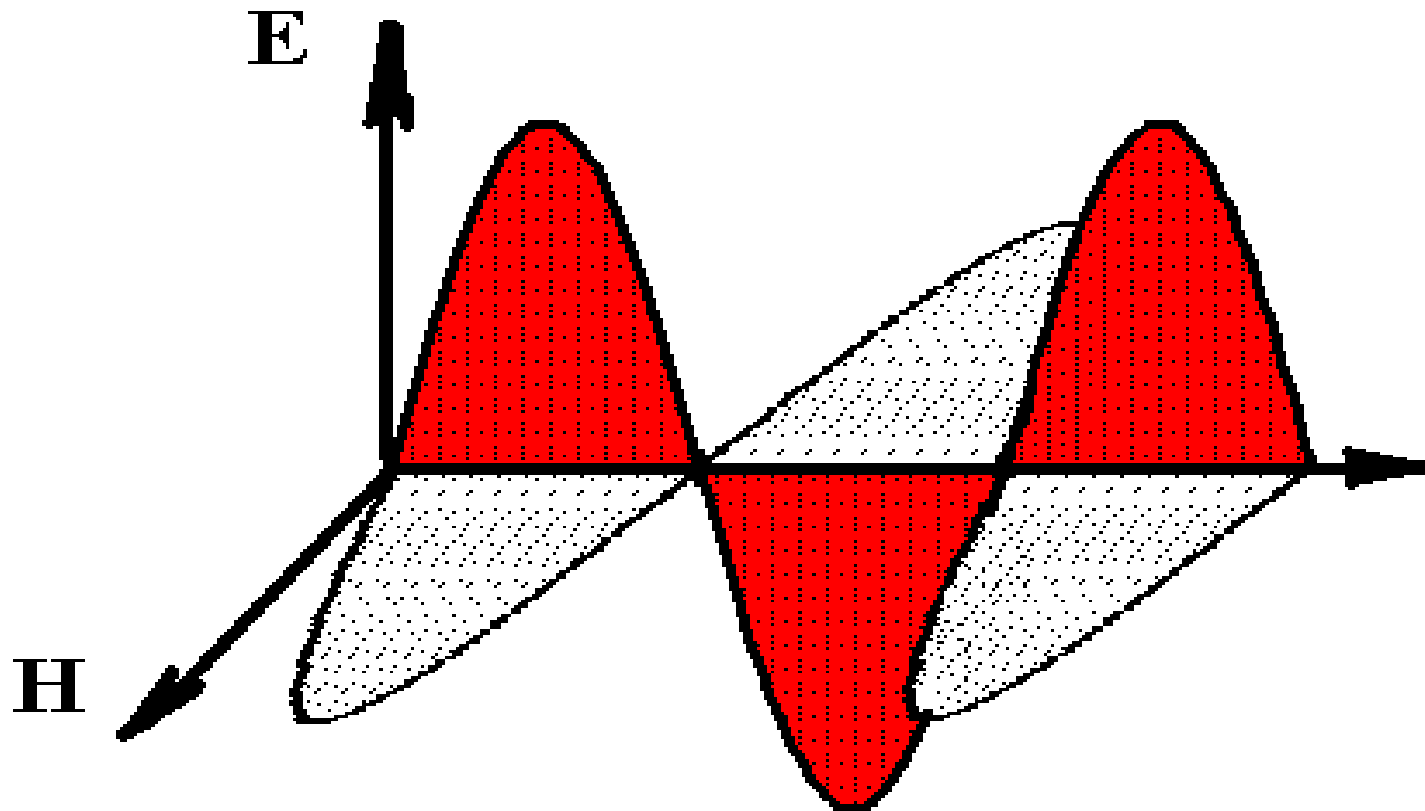




Нефелометрия

1. Степень поляризации
2. Спектральный состав
3. Размеры макромолекул в растворах
4. Размеры частиц в эмульсиях, аэрозолях

Естественный свет

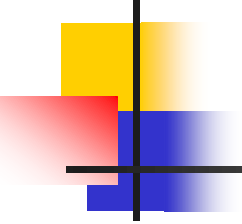




Естественный свет -

это совокупность электромагнитных волн со всевозможными направлениями световых векторов \mathbf{E} , и все направления вектора равноправны.

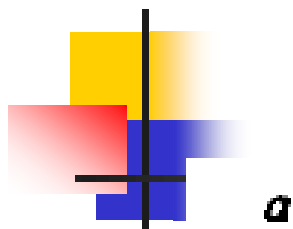
Плоскополяризованный свет-



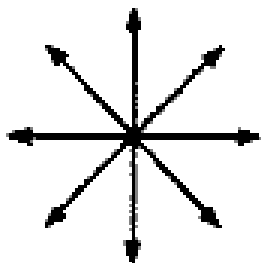
это совокупность электромагнитных волн с одинаковой ориентацией всех световых векторов **E**.

Плоскость, в которой лежат световой вектор **E** и направление распространения света, называется ***плоскостью поляризации.***

Условные обозначения



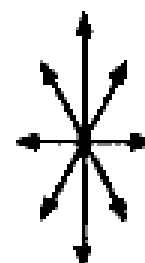
a



естественный свет



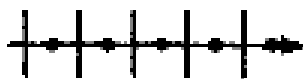
плоско-поляризованный свет



частично-поляризованный свет

б

E



E

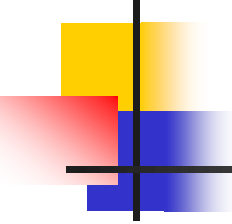


плоско-поляризованный свет

E



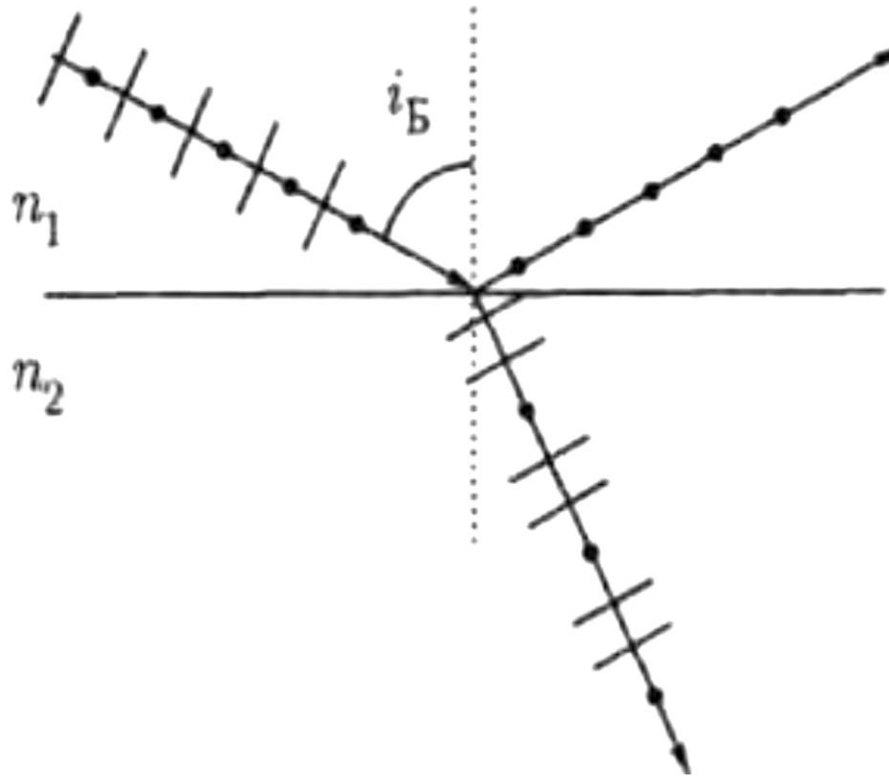
частично-поляризованный свет



Методы получения поляризованного света

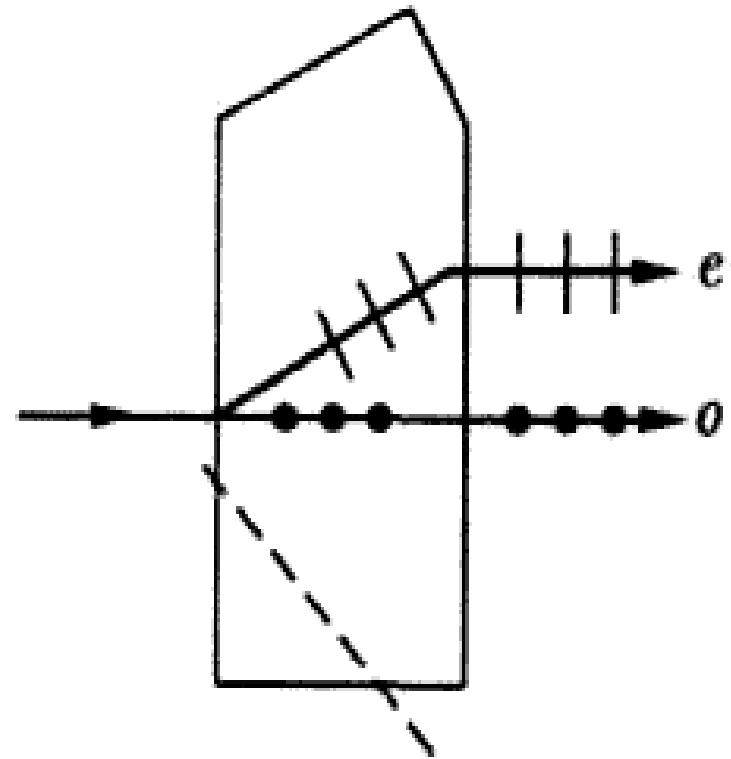
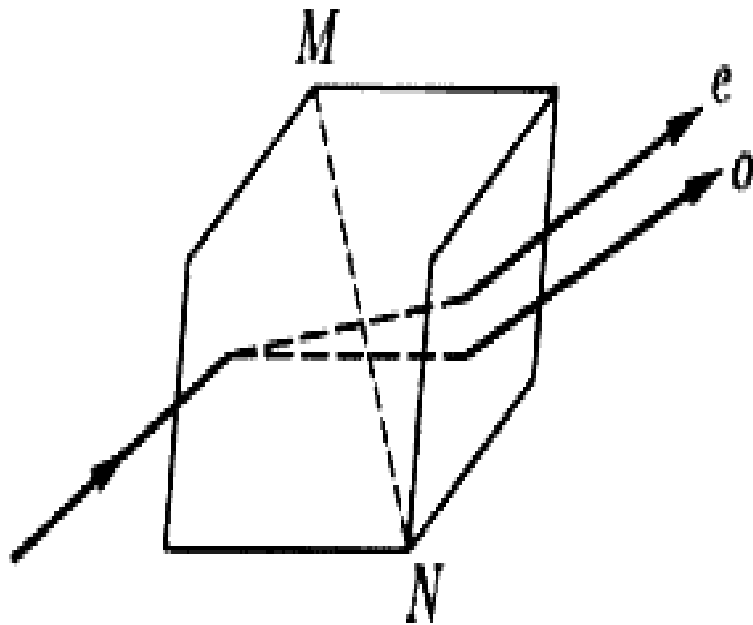
- **При отражении и преломлении на границе двух диэлектриков**
- **При двойном лучепреломлении**
 - **Призма Николя**
 - **Поляроиды**

Поляризация при отражении и преломлении

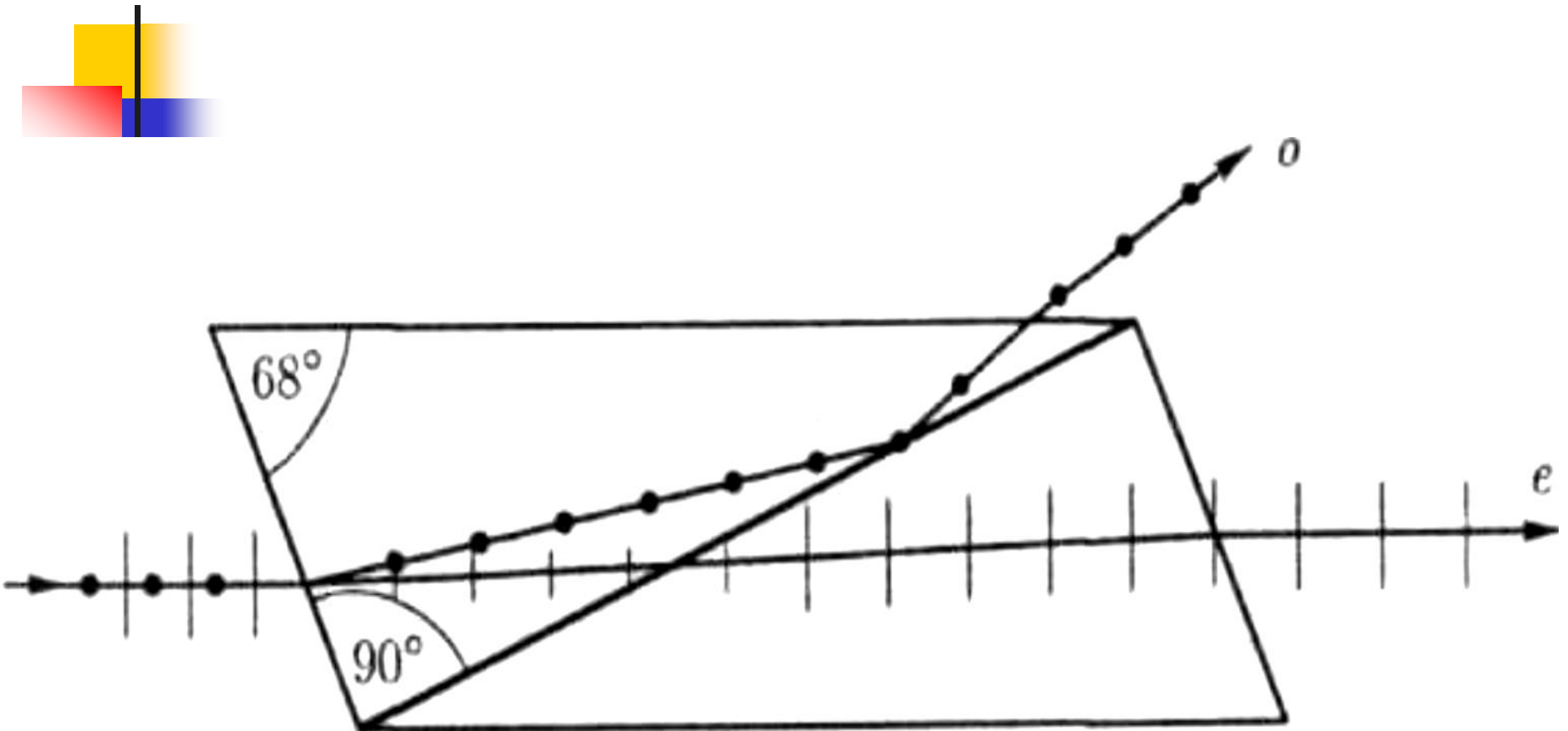


Закон
Брюстера
 $\text{tg}(i_B) = n_2/n_1$

Поляризация при двойном лучепреломлении



Призма Николя



$$n_o = 1,65 \quad n_e = 1,48 \quad n_{\text{к.б.}} = 1,55 \quad (n_e < n_{\text{к.б.}} < n_o)$$



Поляризатор-

устройство, пропускающее составляющую светового вектора, лежащую в определенной плоскости.

Такая плоскость называется ***главной плоскостью поляризатора.***



Анализатор

поляризатор, используемый для
анализа предварительно
поляризованного света.

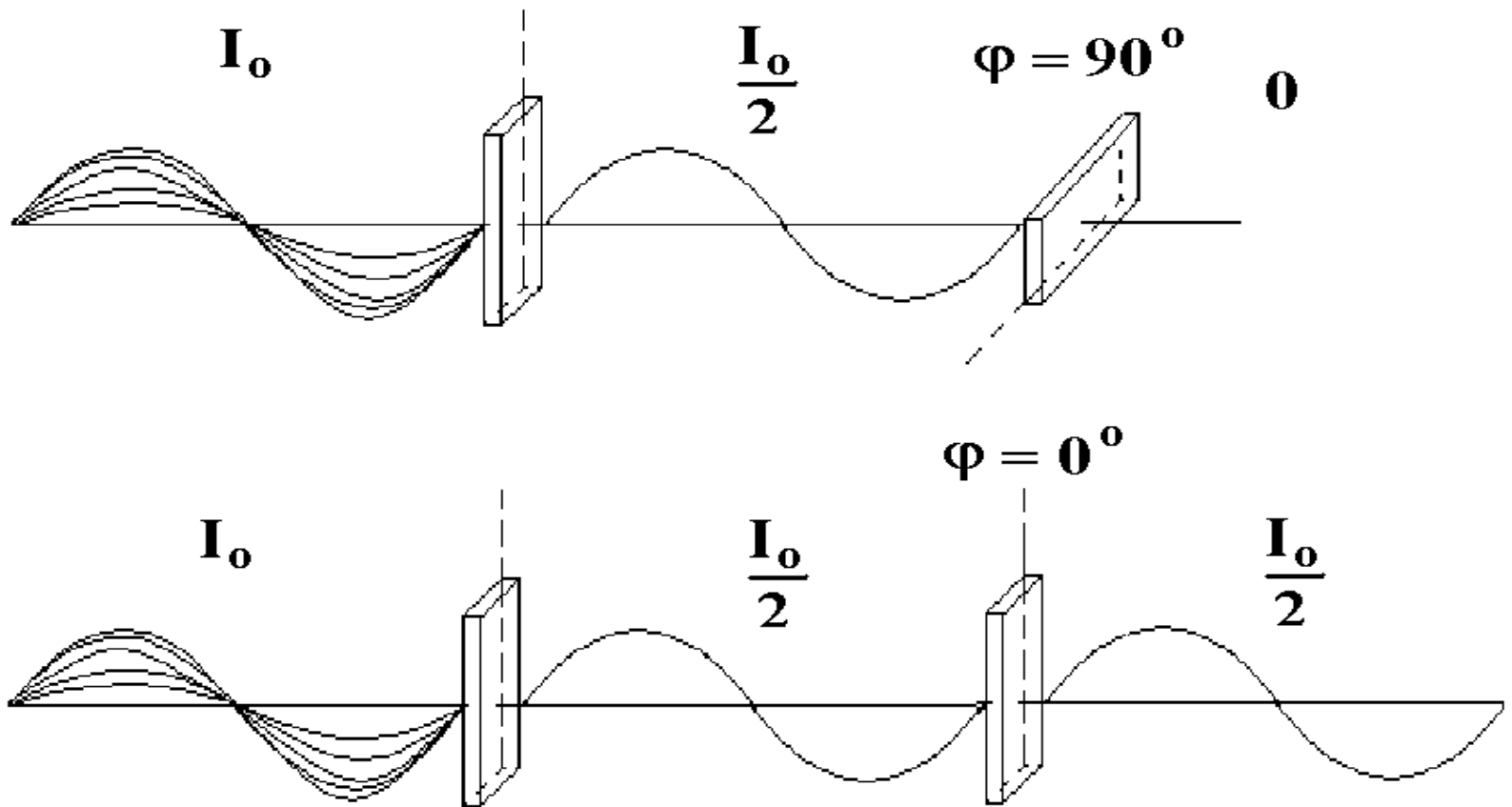


Закон Малюса

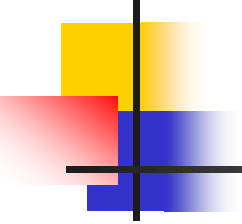
Интенсивность света $I_{\text{проп}}$ пропущенного через анализатор, равна произведению интенсивности падающего плоскополяризованного света $I_{\text{пад}}$, умноженной на квадрат косинуса угла между плоскостью поляризации и главной плоскостью анализатора.

$$I_{\text{проп}} = I_{\text{пад}} \cos^2 \phi$$

Закон Малюса



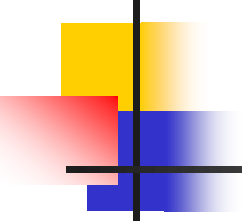
Поляризация в дихроичных кристаллах



значительное поглощение
обыкновенного луча по сравнению с
необыкновенным лучом.

Например, турмалин, герапатит

Происходит при двойном
лучепреломлении!



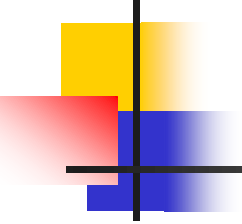
Оптически активные вещества

способны *поворачивать* плоскость поляризации.

Угол поворота α плоскости поляризации пропорционален толщине слоя L и концентрации вещества C :

$$\alpha = \alpha_0 C L$$

α_0 - удельное вращение, зависит от природы вещества, температуры и свойств растворителя


$$\alpha_0 = \frac{\alpha}{C \cdot L}$$

численно равен углу поворота плоскости поляризации монохроматического светового луча с $\lambda = 589$ нм, прошедшего раствор единичной концентрации (1г/100 мл), находящийся в кювете единичной длины (1дм)

Закон Био:

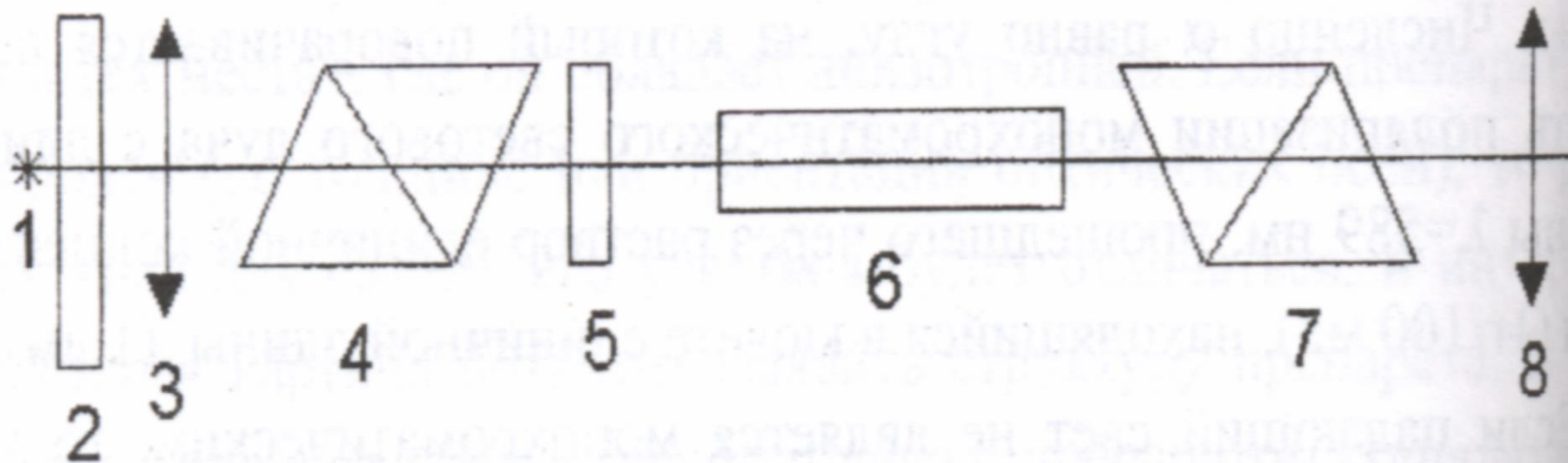
$$\alpha = \frac{a}{\lambda^2}$$



Поляриметр (Сахариметр)

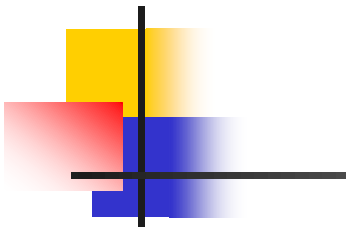
измеряет величину вращения плоскости поляризации при прохождении поляризованного света через оптически активное вещество. Используются в медицине для определения концентрации сахара в моче.

Поляриметры



1 – источник света; 2 – светофильтр; 3 – объектив; 4 – поляризатор; 5 – кварцевая пластина; 6 – кювета с раствором; 7 – анализатор; 8 – окуляр.

Поляриметры





Тепловое излучение

- это излучение нагретых тел,
температура которых выше 0К.

Φ (Вт) – поток излучения

$R = \frac{\Phi}{S} \left(\frac{Вт}{м^2} \right)$ – энергетическая светимость

Характеристики теплового излучения

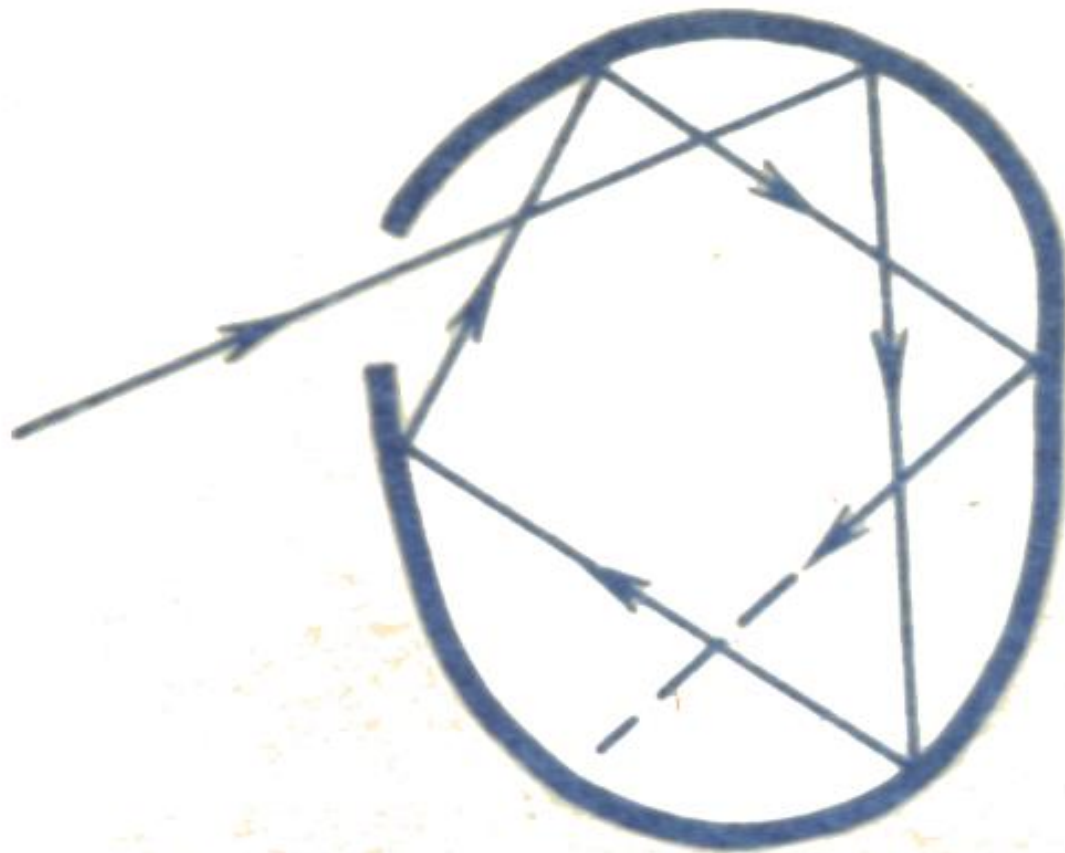
$$r_\lambda = \frac{dR_\lambda}{d\lambda} \left(\frac{Вт}{м^3} \right) \quad \text{спектральная плотность энергетической светимости}$$

$$R = \int_0^\infty r_\lambda d\lambda \quad \text{энергетическая светимость тела}$$

$$\alpha_\lambda = \frac{\Phi_{\text{погл}}(\lambda)}{\Phi_{\text{над}}(\lambda)} \quad \text{коэффициент поглощения}$$

Абсолютно черное тело

$$\alpha_{\lambda} = 1$$





Серое тело

Тело, коэффициент поглощения которого меньше единицы и не зависит от длины волны света, падающего на него, называют серым.

В природе серых тел **НЕТ**

Тело человека считают серым для инфракрасной области спектра ($\alpha=0,9$)



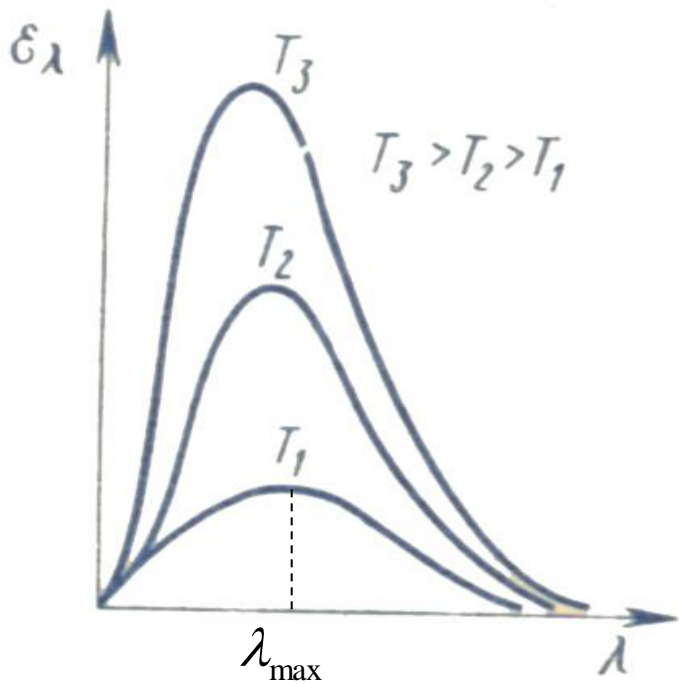
Закон Кирхгофа

$$\left(\frac{r_\lambda}{\alpha_\lambda} \right)_1 = \left(\frac{r_\lambda}{\alpha_\lambda} \right)_2 = \dots = \frac{r_\lambda}{1} = \varepsilon_\lambda$$

$$\frac{r_\lambda}{\alpha_\lambda} = \varepsilon_\lambda$$

ε_λ – спектральная плотность
энергетической светимости черного тела

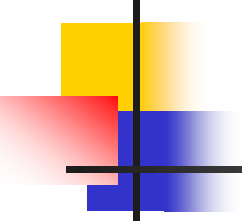
Законы излучения черного тела



$$R_e = \int_0^{\infty} \epsilon_\lambda d\lambda$$

энергетическая
светимость абсолютно
черного тела

Законы излучения черного тела



$$R_e = \sigma T^4 \quad \text{закон Стефана-Больцмана}$$

$$\sigma = 5,66 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4} \quad \text{постоянная Стефана-Больцмана}$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} \quad \text{закон (смещения) Вина}$$

$$b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ мК} \quad \text{постоянная Вина}$$



Формула Планка

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{2\pi h c^3}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/(kT\lambda)} - 1}$$

Черное тело излучает и поглощает
энергию квантами

h - постоянная Планка

c - скорость света в вакууме

k - постоянная Больцмана

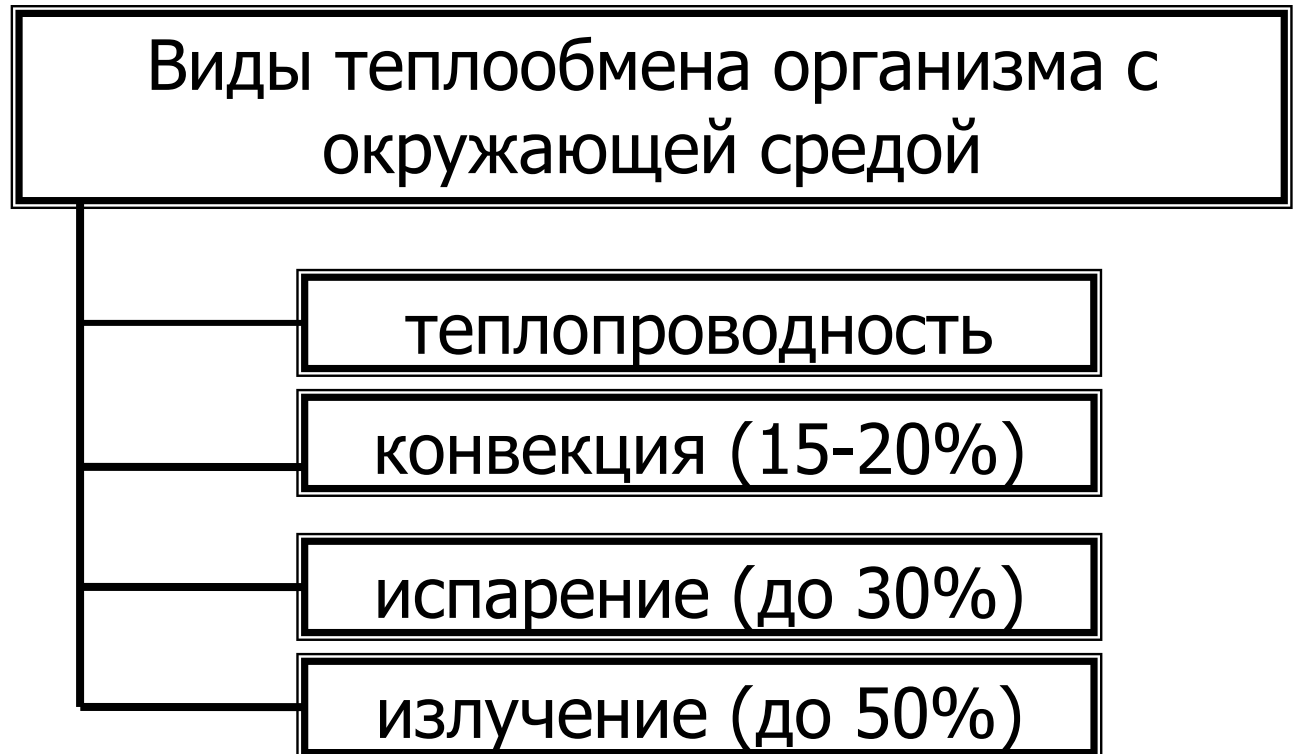
Физические методы



- ПИРОМЕТРИЯ – измерение температуры тел посредством измерения их излучения
- ТЕРМОГРАФИЯ – измерение и регистрация теплового излучения поверхности тела человека или его отдельных участков

Теплообмен. Виды теплообмена.

- передача энергии без совершения работы.





Энергетический баланс организма

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta A$$

Потеря теплоты за счет:

1-теплопроводности+конвекции

370 ккал

2- испарения 510 ккал

3- излучения 850 ккал

На совершение работы 2300-2500 кКал



Применение теплового излучения в медицине

1.ИК–излучение - это электромагнитная волна в диапазоне от 0,76 мкм до 1-2 мм.

а) светолечение: лампа Минина, лампа Соллюкс, светотепловые ванны;

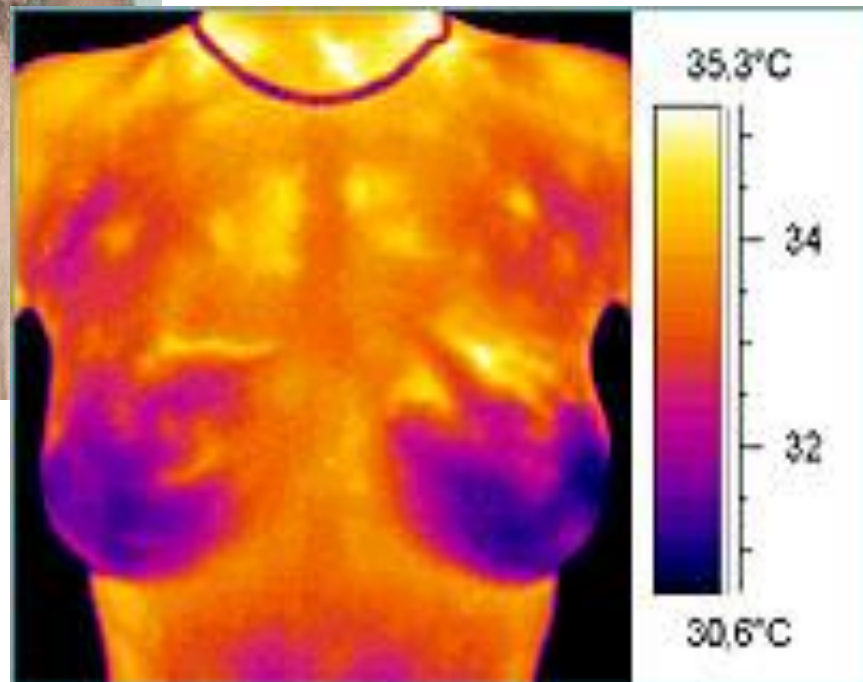
б) контактное приложение: грелка, парафин и т.п.



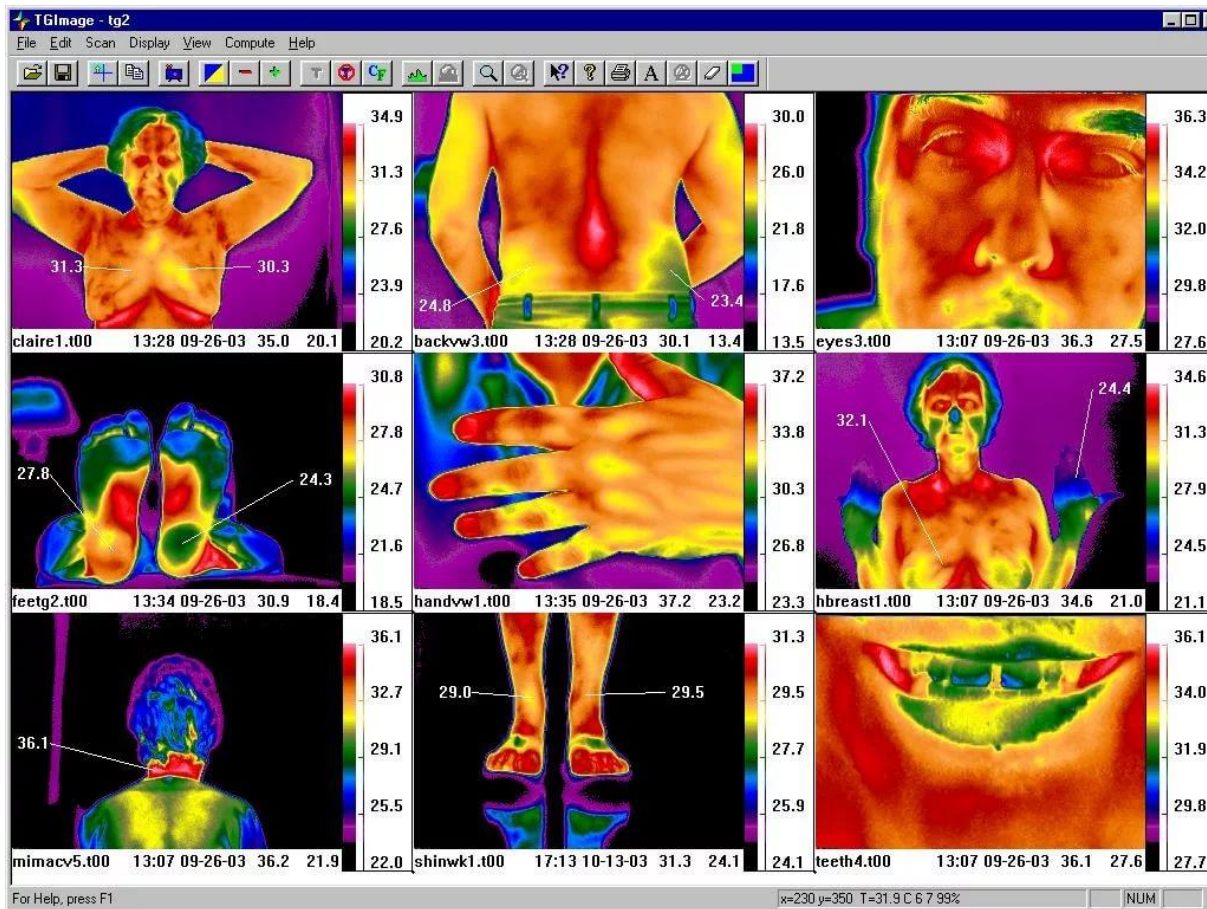
Применение теплового излучения в медицине

2. УФ–излучение - это электромагнитная волна в диапазоне от 400 нм до 10 нм.
 - а) длинноволновое (А) - эритемное воздействие (загар);
 - б) средневолновое (В) - образование витамина Д, антирахитное действие
 - в) коротковолновое - бактериологическое действие

Термография

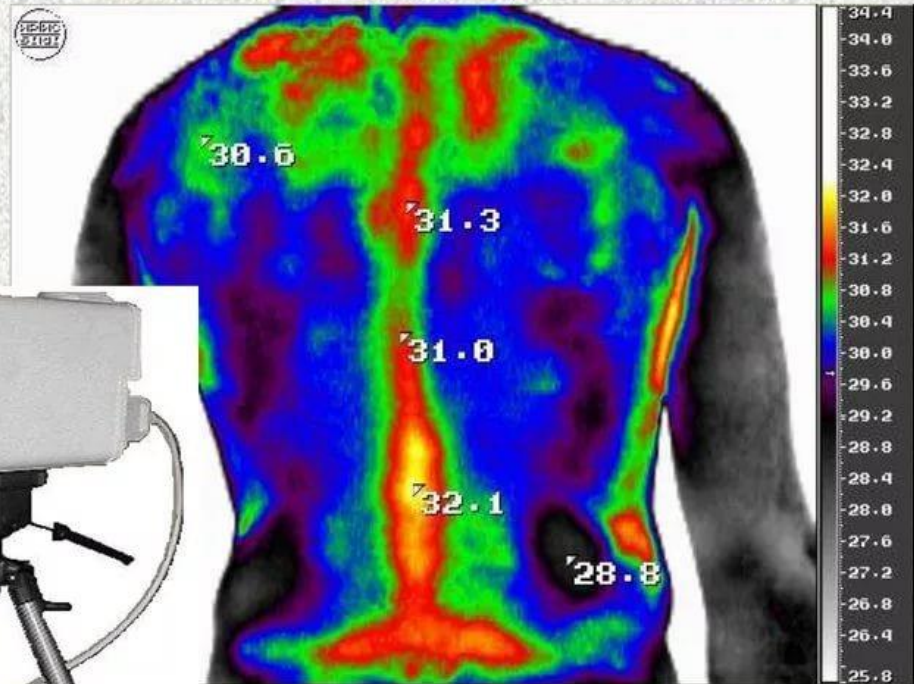


Термография



МЕДИЦИНСКИЙ ТЕПЛОВИЗОР

Медицинский тепловизор
с системой электронной обработки изображений





Заключение:

В лекции рассмотрены

- основные механизмы взаимодействия электромагнитной волны с веществом (рефракция, поглощение, рассеяние, поляризация света)
- законы теплового излучения

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Обязательная:

- Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник. -М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012..-

Дополнительная:

- Федорова В.Н., Е. В. Фаустов. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии: учебное пособие. -М.:ГЭОТАР-Медиа,2010 .-
- Антонов В.Ф., А. М. Черныш, Е. К. Козлова [и др.] Физика и биофизика. Курс лекций: учебное пособие.- М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.-
- Ремизов А.Н., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учеб. пособие для вузов. М. : Дрофа, 2010.
- Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике для самост. работы студентов /сост. О.Д. Барцева и др. Красноярск: Литера-принт, 2009.-
- Сборник задач по медицинской и биологической физике: учебное пособие для самост. работы студентов / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМА, 2007.-
- Физика. Физические методы исследования в биологии и медицине: метод. указания к внеаудит. работе студентов по спец. – педиатрия / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМУ, 2009.-

Электронные ресурсы:

- ЭБС КрасГМУ
- Ресурсы интернет
- Эдельман Е.Д. Физика с элементами биофизики. [Электронный ресурс] : учебник. - Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425244.h>



Красноярский
Государственный
Медицинский
Университет
им. проф.
В.Ф.Войно-Ясенецкого



**БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ**