
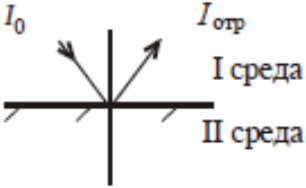
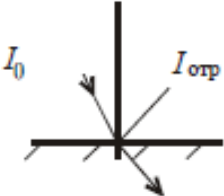
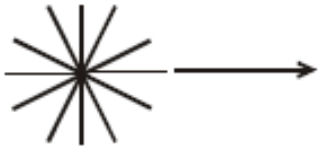
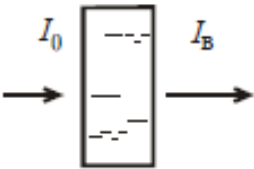


Лекция № 4



Оптические свойства дисперсных систем. Конус Тиндаля. Уравнение Релея. Закон Бугера-Ламберта-Бэра.

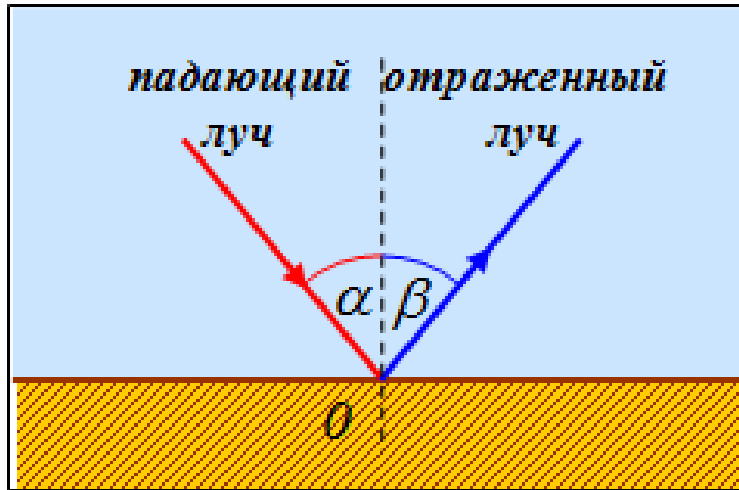
	Явление	Ход лучей	Среда взаимодействия
а	Прохождение света $I_0 = I_B$		Жидкости, газы
б	Отражение света $I_0 = I_B$		Граница раздела двух фаз
в	Преломление света $I_0 = I_B + I_{отр}$		Граница раздела двух фаз
г	Рассеяние света $I_0 > I_B$		Частицы коллоидных размеров
д	Поглощение света $I_0 > I_B$		Любые газы, жидкости, твердые тела

Оптические эффекты

1. прохождение света через систему;
2. преломление света частицами дисперсной фазы;
3. отражение света частицами дисперсной фазы;
4. рассеяние (опалесценция) света;
5. абсорбция (поглощение) света;
6. флуоресценция света

I_0 – I – интенсивность падающего света; I_B – интенсивность света на выходе; $I_{отр}$ – интенсивность отраженного света

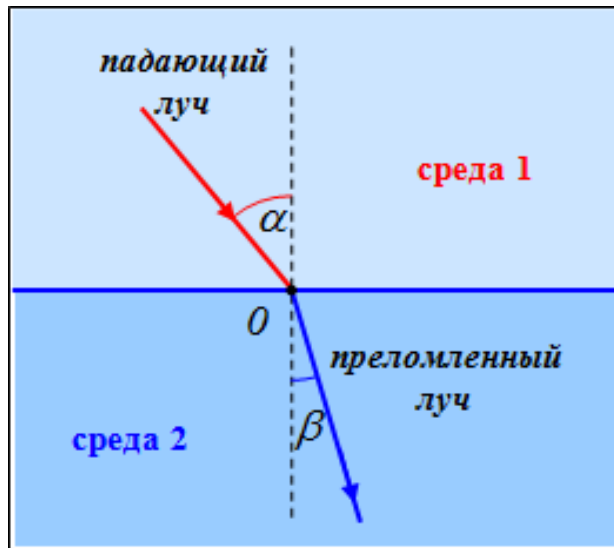
Отражение света — это изменение направления световой волны при падении на границу раздела двух сред, в результате чего волна продолжает распространяться в первой среде.



Закон отражения

Падающий луч, перпендикуляр к границе раздела двух сред в точке падения и отраженный луч лежат в одной плоскости, причем угол падения равен углу отражения.

Оптические явления в дисперсных системах



Преломление света состоит в изменении направления световой волны при прохождении плоской границы раздела двух различных веществ или их растворов. Характеризуется преломление света **показателем преломления**

Абсолютный показатель преломления среды (вещества) безразмерная величина, которая показывает, во сколько раз скорость света в веществе меньше чем скорость света в вакууме: $n = c/v$

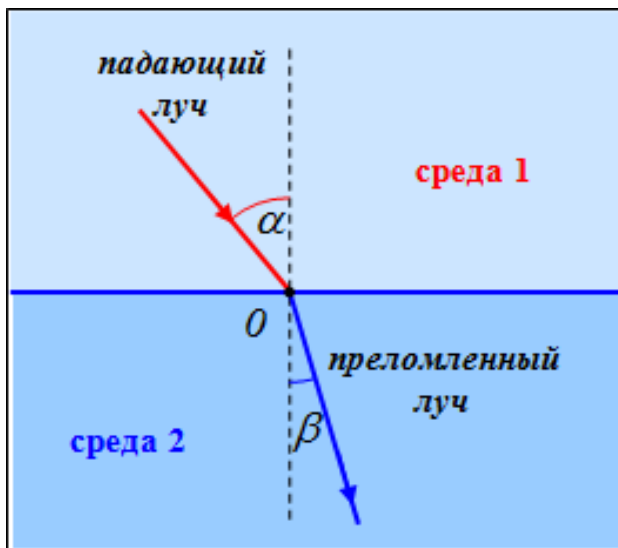
В вакууме и воздухе $n = 1$, в других средах $n > 1$. Например, в воде $n = 1.333$

закон Снеллиуса

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$$

отношение показателей преломления граничащих сред пропорционально отношению угла падения и угла преломления светового луча

Оптические явления в дисперсных системах



Закон преломления :

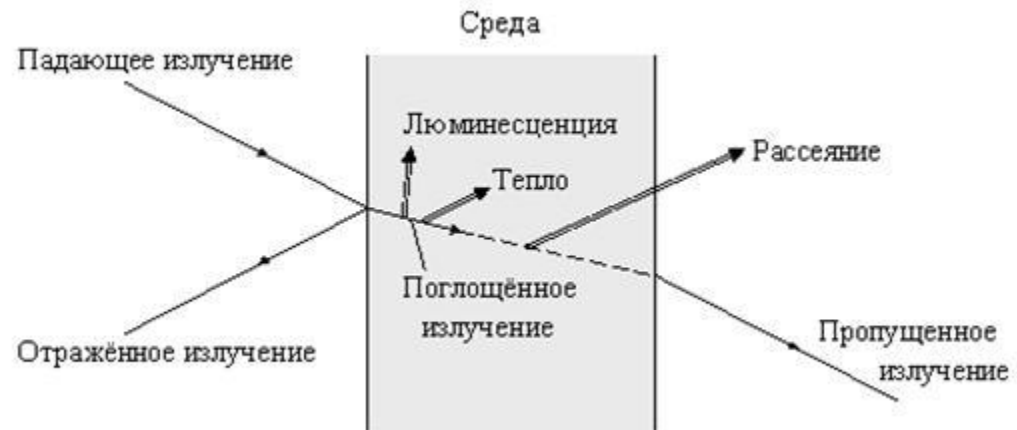
Падающий луч, перпендикуляр к границе раздела сред в точке падения и преломленный луч лежат в одной плоскости, причем отношение синуса угла падения к синусу угла преломления постоянно для данной пары сред и равно показателю преломления второй среды относительно первой



$$\frac{\sin i_{\text{П}}}{\sin i_{\text{ПР}}} = n_{21} \equiv \frac{n_2}{n_1}.$$

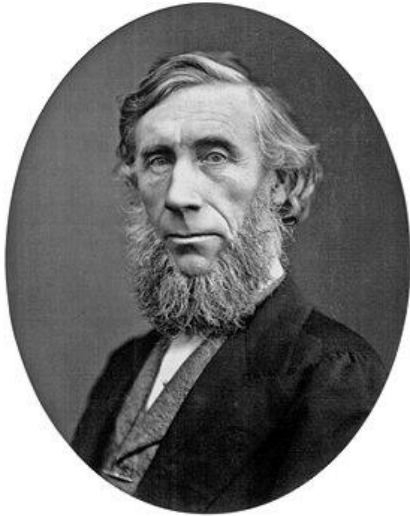
РАССЕЯНИЕ СВЕТА ЗОЛЯМИ

Светорассеяние наблюдается когда длина световой волны больше размера частиц дисперсной фазы. Если длина световой волны много меньше диаметра частицы, происходит отражение света.

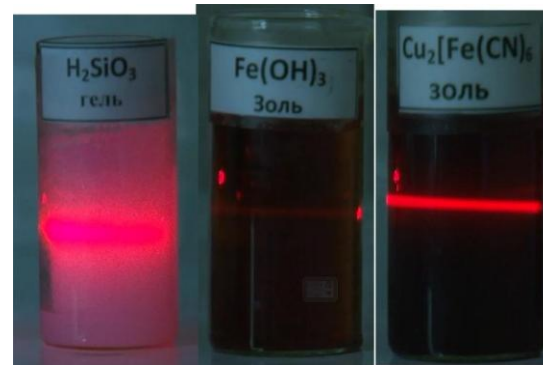


Опалесценция, рассеяние света частицами коллоидной системы, находящимися друг от друга на расстоянии, большем длины волны, и имеющими размеры, меньшие длины волны падающего света

РАССЕЯНИЕ СВЕТА ЗОЛЯМИ



В проходящем свете золи не отличаются от истинных растворов и ведут себя как прозрачные тела. Но если свет пропускать через коллоидную систему сбоку, то внутри коллоидной системы на темном фоне образуется фокусированный ярко светящийся конус, известный в литературе под названием *конус Фарадея–Тиндаля*



Джон Тиндаль
(англ. *John Tyndall*)
[1820](#) - [1893](#),

Причиной образования светящегося конуса является светорассеяние или в простейшем случае – дифракция света

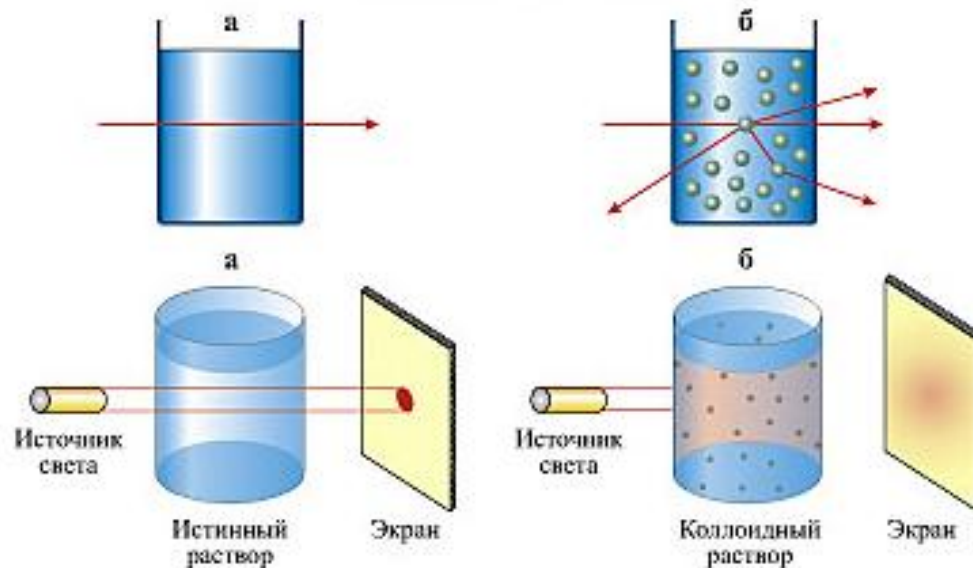
Эффект Фарадея–Тиндаля не наблюдается в случае грубодисперсных систем

Светорассеяние коллоидными растворами, особенно лиофобными золями, намного интенсивнее светорассеяния другими системами

Эффект лежит в основе обнаружения золь оптическими методами, таких как нефелометрия, ультрамикроскопия

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

- С опалесценцией связано специфичное для коллоидных систем явление — **конус Тиндаля (эффект Тиндаля)**.



- Рассеянный свет распространяется неравномерно в разных направлениях — вдоль направления луча проходит больше света, чем под углом 90° . При этом происходит частичная поляризация рассеянных колебаний.



Уравнение Рэлея

рассеяние света в дисперсной системе происходит, если:

- рассеивающие свет частицы имеют форму, близкую к изометричной, и настолько малы, что наибольший размер частицы существенно меньше длины волны падающего света;
- частицы не поглощают свет (дисперсная система не окрашена);
- частицы не электропроводны;
- частицы оптически изотропны;
- концентрация частиц настолько мала, что расстояние между ними больше длины волны падающего света;
- объем дисперсной системы, через который проходит рассеянный свет, настолько мал, что можно не учитывать вторичное рассеяние света.

[англ.](#) *John Strutt,*
3rd Baron Rayleigh
[1842](#) — [1919](#)

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

- Теория светорассеяния была разработана Д. Рэлеем (1871).
- Уравнение Рэля для интенсивности рассеянного света (Общий световой поток, рассеянный единицей объема системы *во всех направлениях*):

$$I = I_0 24\pi^3 \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \frac{\nu V^2}{\lambda^4}$$

- где I_0 — интенсивность падающего света;
- n и n_0 — показатели преломления соответственно дисперсной фазы и дисперсионной среды;
- ν — число частиц в единице объема (частичная концентрация);
- V — объем одной частицы;
- λ — длина волны падающего света.

$$C = V \cdot \nu \cdot \rho$$

-весовая концентрация

$$I_p = \frac{24\pi^3 V C}{\lambda^4 \rho} \cdot \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \cdot I_0$$

Диапазон видимого человеком спектра волн



ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

$$I_{\text{р}} = I_0 24\pi^3 \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \frac{\nu V^2}{\lambda^4}$$

- Из уравнения Рэлея следует ряд выводов.
- - при равенстве показателей преломления среды и частиц в гетерогенной системе может отсутствовать рассеяние света.
- - наиболее интенсивно происходит рассеяние света малых длин волн
- В видимой части спектра меньшую длину волны имеют голубые лучи - они больше подвержены рассеянию, чем желто-красные.
- Этим объясняются оранжево-красноватая окраска многих бесцветных золь и минералов в прямом проходящем свете (красные лучи слабо рассеиваются) и голубоватая — при наблюдении сбоку.
- С этими явлениями связаны голубой цвет неба и красные цвета восходов и закатов; красный цвет светофора виден издалека и в тумане.

Зависимость I_p от различных параметров:

$$I_p = I_0 24\pi^3 \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \frac{V^2}{\lambda^4}$$

- это уравнение применимо главным образом к дисперсным системам с частицами, размер которых составляет не более 0,1 длины световой волны, т. е. для частиц с размерами не более 40 ... 50 нм в поперечнике;

- Интенсивность рассеянного света пропорциональна интенсивности падающего света ($I_p \sim I_0$).

- Величина I_p резко возрастает с увеличением разности в показателях преломления ($n_1 - n_0$). Так как для зольей разница в показателях преломления дисперсной фазы и дисперсионной среды велика, то велико и их светорассеяние.

- Интенсивность светорассеяния пропорциональна весовой концентрации частиц. Такую закономерность можно использовать для определения концентрации дисперсной фазы.

уравнения Рэлея

$$I_p = I_0 24\pi^3 \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \frac{\nu V^2}{\lambda^4}$$

• интенсивность светорассеяния прямо пропорциональна кубу радиуса частиц или обратно пропорциональна кубу степени дисперсности D . Действительно, для двух золей одной химической природы, одинаковой массовой концентрации, но разной степени дисперсности, т. е. для $\nu(m_1) = \nu(m_2)$ и $V_{ч1} \neq V_{ч2}$, можно получить

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\nu_1 V_{ч1}^2}{\nu_2 V_{ч2}^2}.$$



С учетом того, что $\nu_i = \frac{m_i}{V_{ч}\rho}$ и $V_{ч} = \frac{4}{3}\pi r^3$, где ν_i и m_i – частичная концентрация и масса дисперсной фазы для I -го золя соответственно, можно получить:

$$I_1/I_2 = r_1^3 / r_2^3 \text{ и } I_1/I_2 = D_2^3 / D_1^3.$$



уравнения Рэлея

$$I_p = I_0 24\pi^3 \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \frac{vV^2}{\lambda^4}$$

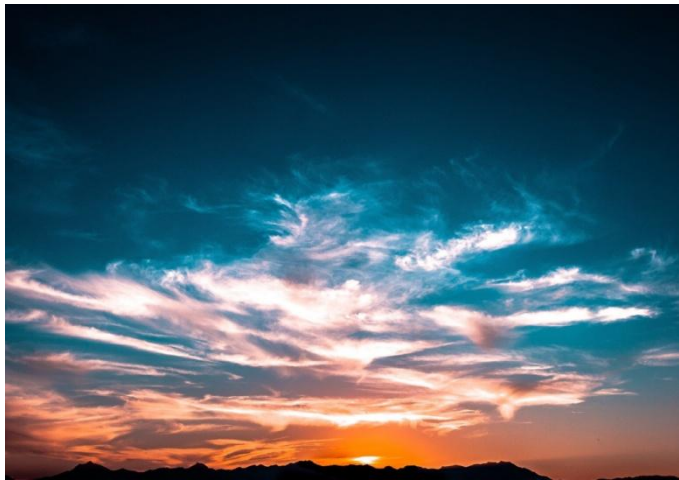
- интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна четвертой степени длины волны падающего света, т. е.

$$I_1/I_2 = \lambda_2^4 / \lambda_1^4;$$



- светорассеяние пропорционально числу частиц в единице объема;
- светорассеяние тем меньше, чем ближе между собой показатели преломления вещества дисперсной фазы и дисперсионной среды. Это, в частности, объясняет слабое рассеяние света большинством водных растворов ВМС, хотя они и имеют коллоидную степень дисперсности;

Преимущественное рассеяние света с малой длиной волны объясняет цвет неба в различное время дня и цвет морской волны.

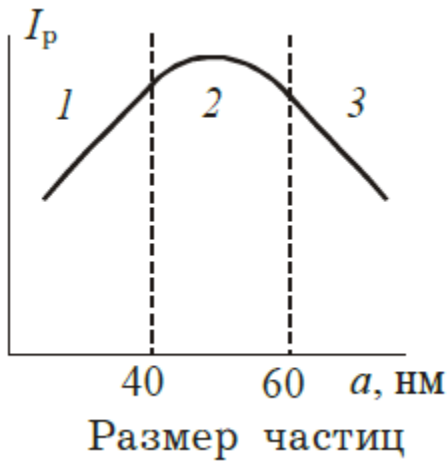


Голубой цвет неба днем объясняется рассеиванием атмосферой Земли коротких волн солнечного света. Оранжевый или красный цвет неба при восходе или заходе Солнца объясняется светом прошедшим через атмосферу.

Это свойство также используется в световой сигнализации. Больше всего рассеивается синий свет, поэтому при светомаскировке используются синие лампы. Свет от них не виден с большой высоты, потому что проходя через слой частиц пыли, тумана и дыма в атмосфере, он полностью рассеивается. Красный свет, наоборот, плохо рассеивается, поэтому применяется в качестве сигнальных ламп.



Зависимость светорассеяния от размера частиц дисперсной фазы



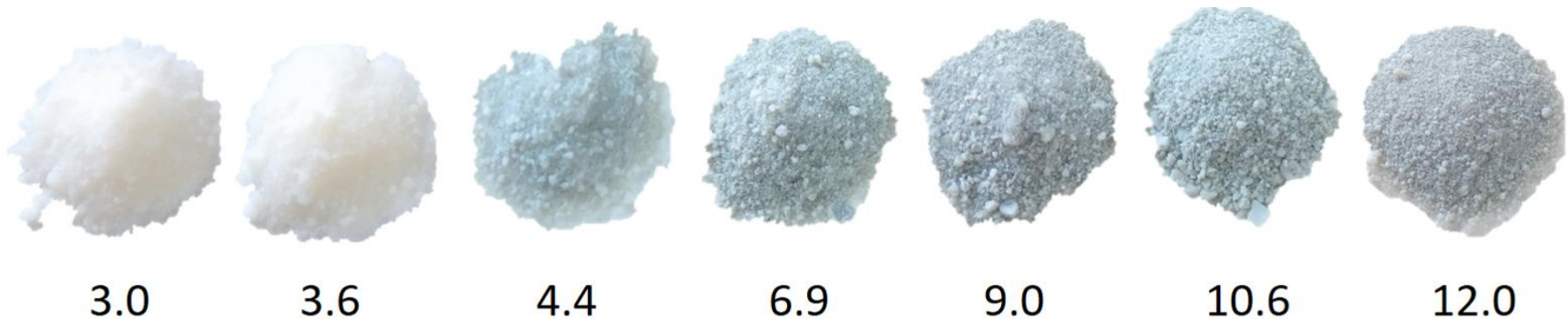
Зависимость I_p от размера частиц (a)

при изменении размеров частиц системы, рассеивающей свет, меняется окраска золя

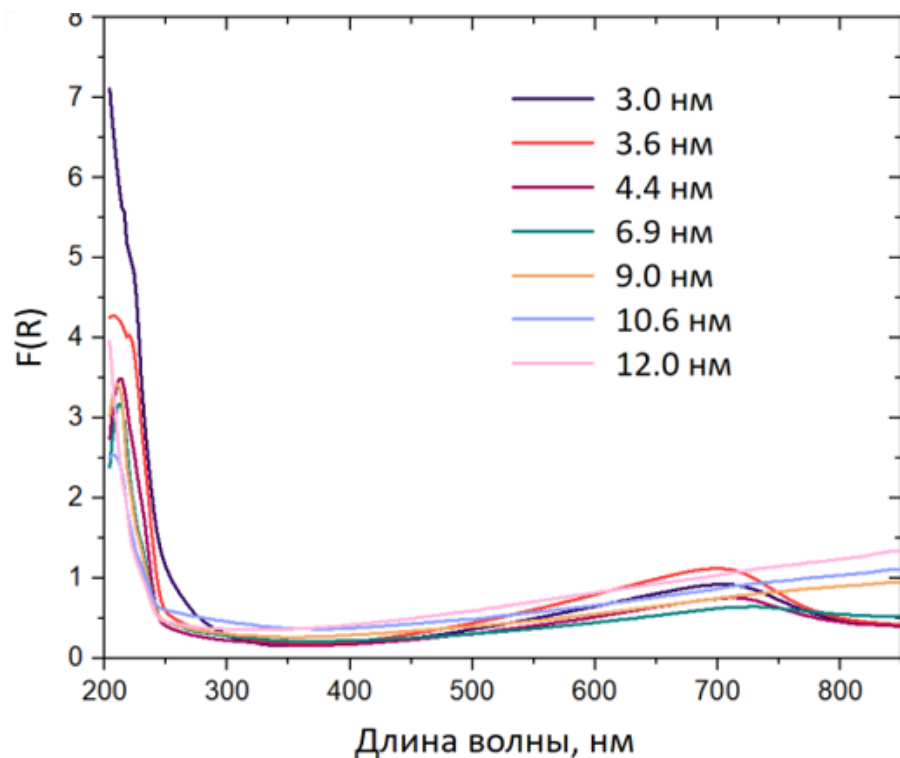
при падающем естественном свете рассеянный свет от дисперсных систем с мелкими частицами имеет голубой, а от систем с крупными частицами – белый оттенок.

По мере укрупнения частиц интенсивность рассеяния света в коротковолновой области спектра уменьшается, а в длинноволновой – увеличивается. Отражение света, наоборот, в области коротких волн увеличивается, а в области длинных волн – уменьшается.

ZrO₂, полученные методом лазерного распыления



Размер частиц, нм



Если размер частицы меньше длины полуволны падающего света: $d = 0.5\lambda$, то наблюдается дифракционное рассеяние света. Свет огибает частицы и рассеивается в виде волн, расходящихся во все стороны. Это явление — **опалесценция**, свойственно золям, проявляется как свечение матового цвета, чаще голубоватых оттенков.

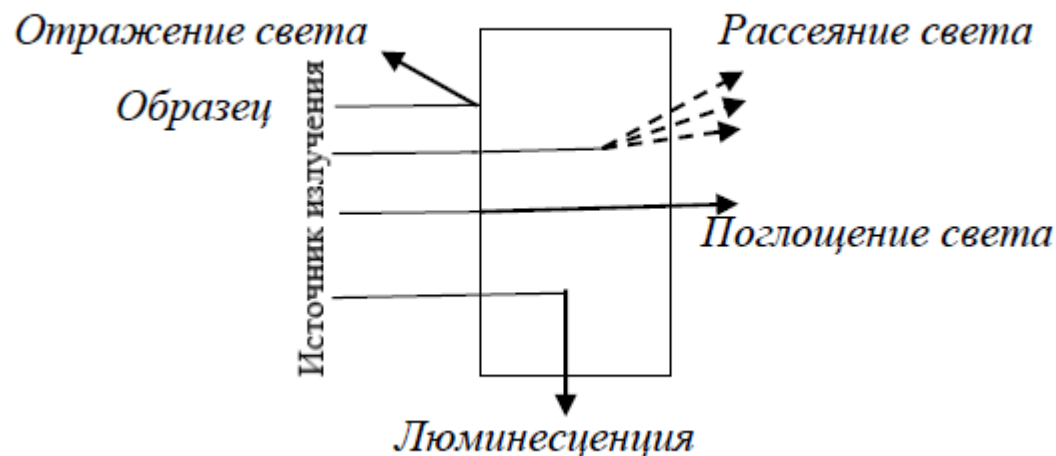
АБСОРБЦИЯ СВЕТА КОЛЛОИДНЫМИ СИСТЕМАМИ

Поглощение излучения веществом является результатом взаимодействия молекул вещества с электромагнитным излучением. Это взаимодействие приводит к различным энергетическим переходам в веществе, которые регистрируются экспериментально в виде поглощения излучения

монохроматическое электромагнитное излучение - свет строго определенной длины волны

немонохроматическое электромагнитное излучение (полихроматическое) - световой поток определенного интервала длин волн

Общая картина взаимодействия электромагнитного излучения с веществом



Способы описания электромагнитного излучения

- 1. Волновая природа света** объясняет оптические явления, такие как отражение и рассеяние электромагнитного излучения, процессы интерференции, дифракции и преломления света
- 2. Корпускулярная природа света** объясняет процессы поглощения и испускания электромагнитного излучения атомами и молекулами

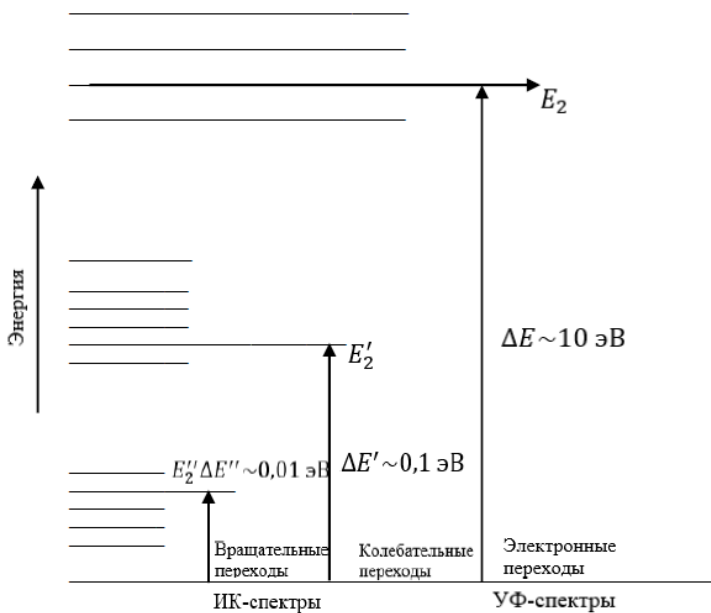
Связь между волновой и корпускулярной природой света описывается *уравнением Планка*:

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = hc\nu',$$

где ΔE – изменение энергии элементарной системы в результате поглощения или испускания фотона с энергией $h\nu$ (h – постоянная Планка).

$h = 6,6262 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; $c = 2,9979 \cdot 10^8$ м/с (скорость света для вакуума).

При действии электромагнитного излучения на любую молекулу в зависимости от его энергии происходит то или иное взаимодействие вещества и излучения. Исследование этого взаимодействия и является предметом спектроскопии.



Типы изменений в молекуле зависят от энергии излучения

Основным принципом любого типа взаимодействия излучения и вещества является принцип квантового поглощения энергии.

Электронные, колебательные и вращательные переходы при взаимодействии вещества и электромагнитного излучения

Спектр электромагнитных волн

ν , см ⁻¹	λ , см	Область	Изменения в энергетическом состоянии и	Энергия излучения, эВ
10^{-3}	10^3	Радиоспектроскопия	Спинов ядер и электронов	10^{-6}
			Атомов в кристаллической решетке	10^{-3}
10^3	10^{-3}	ИК-спектроскопия	Атомов в молекулах из-за колебаний	10^{-1}
10^5	10^{-5}	Спектроскопия в видимой области	Валентных электронов	10
10^6	10^{-6}	УФ-спектроскопия и ФЭС		
10^6-10^7	$10^{-6}-10^{-7}$	Масс-спектрометрия	Образование ионов и разрывы связей	$10-10^2$
10^9	10^{-9}	Рентгеноструктурный анализ	Электронов внутренних оболочек	10^5
10^{10}	10^{-10}	Ядерные реакции под действием γ -излучения	Ядер	10^7



БУГЕР Пьер
(Pierre Bouguér)
(16.02.1698 -
15.08.1758)



ЛАМБЕРТ Иоганн Генрих
(Lambert Johann Heinrich)
(26.VIII.1728 — 5.IX.1777)



БЕР Август
(August Beer)
(31.07.1825 -
18.11.1863)

1729 год П. Бугер:

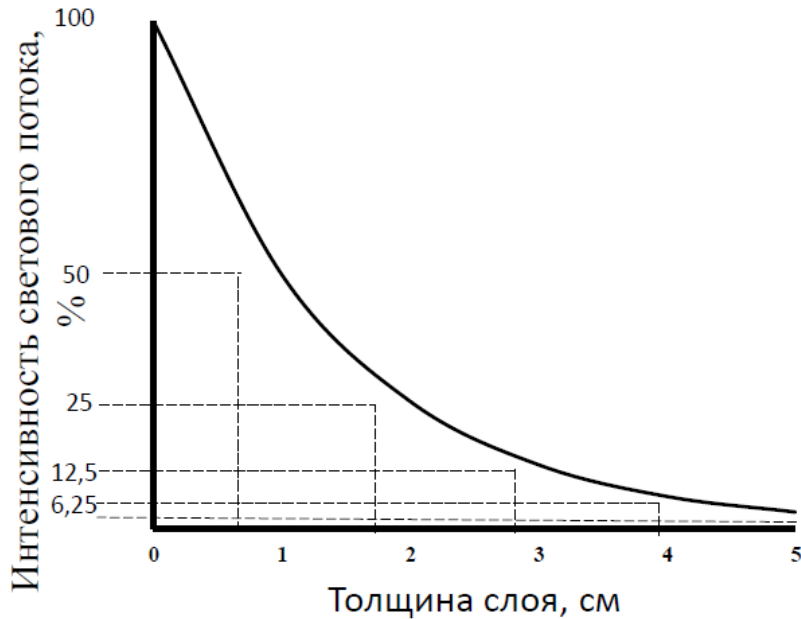
поток лучей монохроматического света при прохождении через гомогенную поглощающую среду ослабляется по экспоненциальному закону.

**условия
выполнения этого
закона**

однородность среды, через которую проходит свет, и перпендикулярное к поглощающему слою падение света

$$I = I_0 \exp(-kl).$$

Первый закон светопоглощения



Графическое выражение закона Бугера-Ламберта

Зависимость между ослабленной интенсивностью лучистой энергии, прошедшей через раствор и толщиной слоя раствора, установленная Бугером и подтвержденная Ламбертом, составила сущность первого закона светопоглощения:

Относительное количество поглощенного и пропускаемого средой излучения не зависит от интенсивности падающего излучения: каждый слой равной толщины поглощает равную долю падающего монохроматического излучения.

Второй закон светопоглощения

Второй закон светопоглощения установлен Бером и выражает связь между интенсивностью потока лучистой энергии и концентрацией вещества в поглощающем слое:

поглощение потока лучистой энергии прямо пропорционально числу частиц поглощающего вещества, через которое проходит поток этого излучения.

$$k = \varepsilon \cdot C$$

где ε – коэффициент, зависящий от природы вещества; C – концентрация.

Величина коэффициента k определяется электронной конфигурацией молекул и атомов вещества поглощающей среды и вероятностями переходов между их электронными уровнями. Поэтому коэффициент зависит от длины волны падающего света, но не зависит от толщины поглощающего слоя и интенсивности падающего света.

Закон Ламберта–Бугера-Бера

Объединяя оба закона, получим закон Бугера-Ламберта-Бера: **интенсивность светового потока, прошедшего через раствор прямо пропорциональна интенсивности падающего светового потока и зависит от концентрации, толщины слоя раствора и природы вещества.**

уравнение Ламберта–Бугера-Бера:

$$**I = I_0 \exp(-\varepsilon c_V l),**$$

где I и I_0 – интенсивность прошедшего и падающего света; ε – молярный показатель поглощения; c_V – концентрация растворенного вещества, моль/л; l – толщина поглощающего слоя

уравнение Ламберта–Бугера–Бера:

$$\ln (I/I_0) = - \varepsilon c_B l. .$$

Нередко используют выражение $\lg (I/I_0) = - \varepsilon_9 c_B l.$

Величину $-\lg (I/I_0)$ называют оптической плотностью.

Величины ε и ε_9 называют соответственно *коэффициентом поглощения и коэффициентом экстинкции.*

Оба коэффициента связаны между собой соотношением $\varepsilon_9 = 2,3\varepsilon.$

АБСОРБЦИЯ СВЕТА КОЛЛОИДНЫМИ СИСТЕМАМИ

уравнение Ламберта–Бугера–Бера:

основано на использовании коэффициента фиктивной абсорбции (ϵ'), учитывающего светорассеяние.

$$I = I_0 \exp(-\epsilon' c_3 l)$$

Где

$$\epsilon' = \epsilon + \epsilon_p;$$

ϵ_p – составляющая показателя поглощения, связанная с рассеянием света;

ϵ – молярный показатель поглощения;

c_3 – концентрация золя.

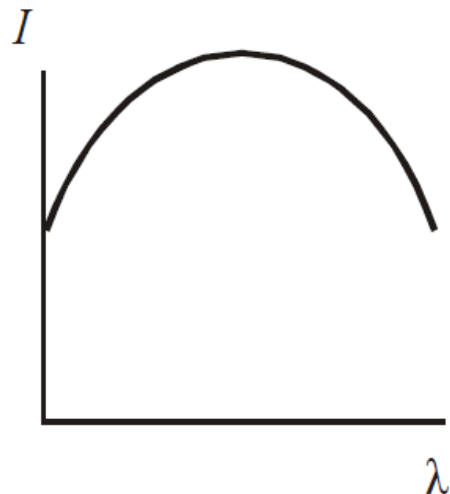
Если $\epsilon = 0$, т. е. золь белый, последнее уравнение принимает вид

$$I = I_0 \exp(-\epsilon_p c_3 l).$$

Для коллоидных растворов в уравнение Бугера-Ламберта-Бера вносят поправку, которая необходима для учета рассеяния света.

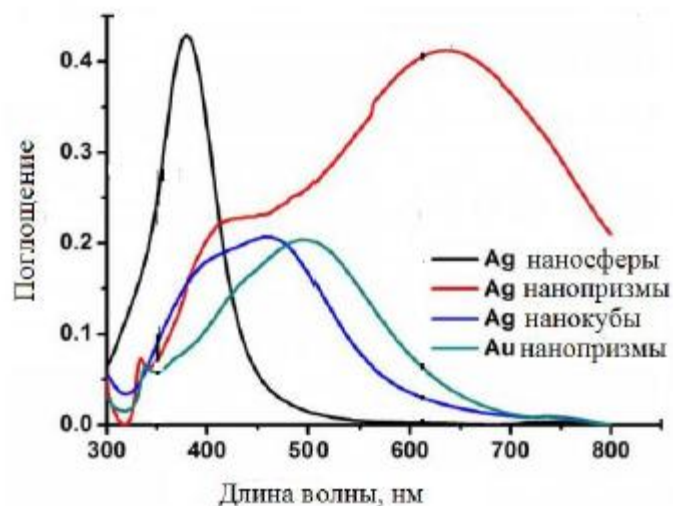
по Рэлею, рассеяние света обратно пропорционально λ^4 , следовательно,

$$I = I_0 \exp(-\epsilon_p c_3 l / \lambda^4).$$



Аномалии оптических свойств

Для металлических золей, как и в случае опалесценции, интенсивность абсорбции света имеет максимальное значение при некоторой длине волны падающего света, а кривая зависимости $I = f(\lambda)$ проходит через максимум.



Основной причиной аномалий у металлических золей служит способность частиц дисперсной фазы генерировать электрический ток, энергия которого превращается в теплоту. Поэтому частицы металла поглощают и рассеивают свет, как бы создавая при этом защитный экран на пути света

Окраска дисперсных систем

Окраска систем определяется *соотношением коэффициентов поглощения и рассеяния*. Так, грубодисперсные золи золота поглощают в оранжевой области, их цвет фиолетовый в проходящем свете и красновато-бурый в отраженном.



По мере увеличения дисперсности поглощение смещается в желто-зеленую область спектра, золи в проходящем свете становятся красными, затем зелеными и желтыми при очень высокой дисперсности.

Размер частиц, нм	Максимум поглощения	Цвет золя
<10	Синий	Желтый
20	Зеленый	Ярко-красный
40-50	Желтый	Синий

В коллоидной химии рассматриваются оптические методы используемые в дисперсионном анализе для определения:

- **формы и размера частиц;**
- **удельной поверхности;**
- **концентрации дисперсной фазы.**

К ним относятся:

- **световая и электронная микроскопия;**
- **методы, основанные на рассеянии лучей (ультрамикроскопия, турбидиметрия, нефелометрия);**
- **методы, основанные на дифракции рентгеновских лучей и электронов (рентгенография, электронография);**
- **метод двойного лучепреломления и др.**

Грубые дисперсные системы (суспензии, эмульсии, пыли, пены) обычно исследуются с помощью светового микроскопа.

К часто применяющимся методам исследования высокодисперсных коллоидных систем относятся ультрамикроскопия, нефелометрия, турбидиметрия и электронная микроскопия.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

- Интенсивность рассеянного света измеряют методами нефелометрии и турбидиметрии.
- На использовании явления светорассеяния основан метод ультрамикроскопии.
- Оптические методы являются наиболее распространенными методами изучения состава и структуры дисперсных систем.
- С их помощью можно определить дисперсность системы, форму и строение частиц дисперсной фазы, пористость, толщину и состав адсорбционных слоев и пленок и т. д.

Оптические методы исследования коллоидных систем

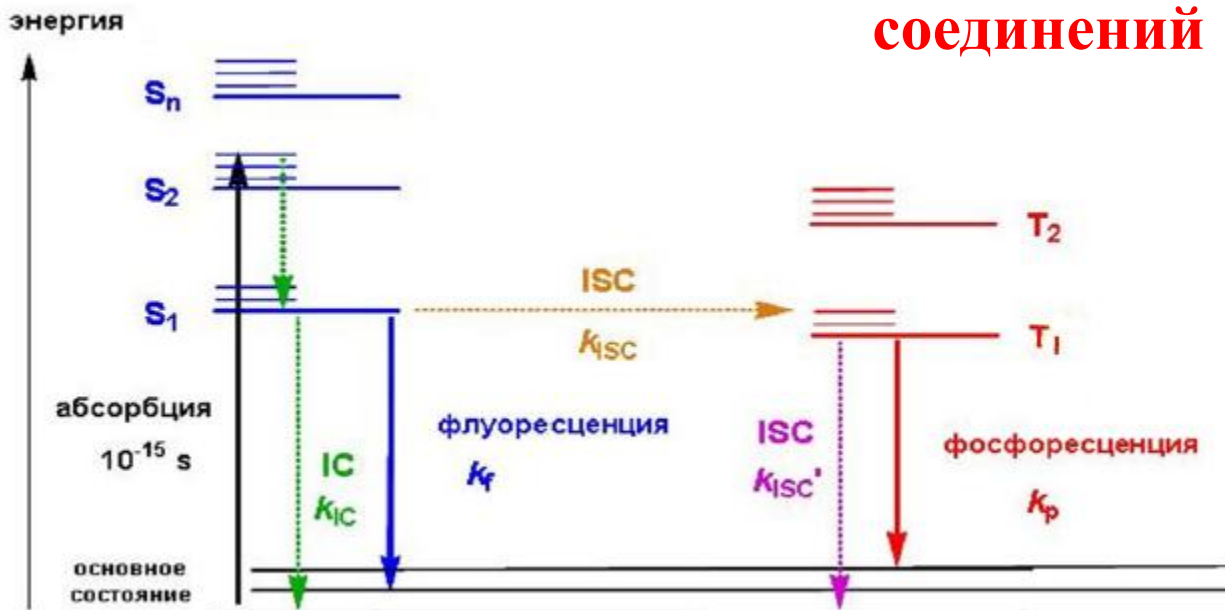
Метод	Что исследуется	Получаемая информация
Световая микроскопия	Изображение в проходящем или отраженном свете	Размеры, форма частиц, распределение частиц по размеру, концентрация частиц
Ультра-микроскопия	Изображение, получаемое при освещении сбоку мощным потоком света	Наблюдение за движением частиц и подсчет их количества при размере частиц от 2-3 нм
Турбидиметрия	Измерение интенсивности проходящего света	Размер частиц
Нефелометрия	Измерение интенсивности рассеянного света	Размер частиц и концентрация золя, молекулярная масса полимеров
Фотон-корреляционная спектроскопия	Зависимость интенсивности рассеянного света от времени	Размер частиц, распределение частиц по размерам

ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ



Флуоресценция (люминесценция)— физическое явление, заключающееся в поглощении кванта света веществом, способным флуоресцировать (флуорофором), с последующим быстрым испусканием другого кванта, со свойствами, отличными от исходного. По сути явление флуоресценции представляет из себя переход электронов по энергетическим уровням вещества. Энергия, получаемая атомом вещества при облучении делится на две части. Меньшая расходуется на релаксацию, а большая уходит на излучение фотона определенной энергии. Спектр флуоресценции сдвинут относительно спектра поглощения в сторону длинных волн.

Диаграмма Яблонского органических соединений



Фотолюминесценцию можно разделить на две категории, флуоресценцию и фосфоресценцию, в зависимости от того, как долго электроны остаются в возбужденном состоянии. Это время пребывания называется временем жизни флуоресценции или временем жизни фосфоресценции и, таким образом, описывает, как долго электрон остается в возбужденном состоянии, прежде чем он перейдет в основное состояние, испустив фотон. Время жизни для флуоресценции составляет несколько наносекунд (10^{-9} с), тогда как для фосфоресценции оно обычно колеблется от миллисекунд (10^{-3}) до секунд, иногда даже до часов.

ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ

Возбужденная молекула не всегда флуоресцирует. Часть поглощенной энергии может перейти в тепло или другие формы энергии без испускания света. Чтобы оценить эффективность флуоресценции (выход флуоресценции), ввели понятия энергетического и квантового выходов.

Энергетическим выходом ($B_э$) называется отношение энергии, излучаемой веществом ($E_{и}$) в виде флуоресценции, к энергии, поглощенной веществом ($E_{п}$).

$$B_э = E_{и} / E_{п}.$$

Величина квантового выхода ($B_{кв}$) показывает отношение числа испускаемых квантов ($N_{и}$) к числу поглощенных квантов ($N_{п}$) (фотонов)

$$B_{кв} = N_{и} / N_{п}.$$

Энергетический и квантовый выходы связаны соотношением:

$$B_э = B_{кв} \nu_{и} / \nu_{п}.$$

Отличительные признаки флуоресценции и опалесценции

- флуоресценцию вызывает свет строго определенной длины волны, характерной только для данного вещества. Опалесценция не связана жестко с длиной волны;
- при освещении монохроматическим светом окраска раствора, через который проходит свет, при флуоресценции меняется, а при опалесценции не изменяется;
- свет флуоресценции обладает большей длиной волны, чем возбуждающий ее свет. Это легко установить с помощью светофильтров.

Для этого на пути белого света, вызывающего флуоресценцию, в некоторой системе ставят красный светофильтр.

Поскольку флуоресценцию вызывают ультрафиолетовые лучи (лучи коротковолновой части спектра), эффект флуоресценции исчезнет, а опалесценция останется.

Флуоресценцию чаще всего вызывает наиболее короткая невидимая часть спектра, а опалесценция наблюдается при освещении коллоида любым светом.

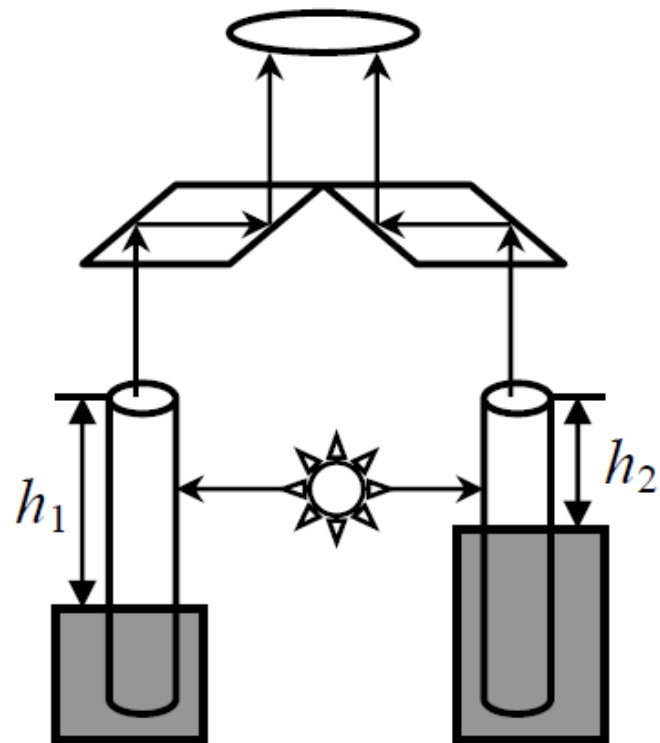
Нефелометрия

Нефелометрия (от др.-греч. νεφέλη — «облако» и μετρέω — «измеряю») — метод исследования и анализа вещества по интенсивности светового потока, рассеиваемого взвешенными частицами.

применяются для анализа суспензий, эмульсий, различных взвесей и других мутных сред. Интенсивность пучка света, проходящего через такую среду, уменьшается за счет рассеивания и поглощения света взвешенными частицами.

Нефелометрический метод определения концентрации основан на измерении интенсивности света, рассеянного взвешенными частицами. Интенсивность рассеянного света подчиняется закону Релея:

Действие нефелометра основано на уравнивании двух световых потоков: одного от рассеивающей искомой взвеси, другого со стандартом. Радиус частиц вычисляют исходя из уравнения Релея по пропорции:



Нефелометрический метод

. Интенсивность рассеянного света подчиняется закону Релея:

Интенсивность света, рассеянного некоторым объемом V коллоидного раствора, пропорциональна произведению ($c \cdot V$), т. е. общему числу рассеивающих частиц.

$$I_p = KC_1 V h_1$$

Определяя интенсивность светорассеяния системы, можно установить размер частиц или концентрацию дисперсной фазы.

при постоянном объеме	при постоянной концентрации
$\frac{I_{P1}}{I_{P2}} = \frac{c_1}{c_2}$	$\frac{I_{P1}}{I_{P2}} = \frac{v_1 \cdot V_1^2}{v_2 \cdot V_2^2} = \frac{d_1^3}{d_2^3} = \frac{l_1}{l_2}$

где l – это толщина слоя через который проходит свет, концентрации дисперсной системы « c », « V » объема частиц, « d » диаметра частиц, v – число частиц в единице объема

Турбидиметрия

Принцип метода основан на измерении интенсивности света определённой длины волны, ПРОШЕДШЕГО через кювету содержащую коллоидный раствор, чаще всего через суспензию, образованную частицами определяемого вещества.

$$\ln \left(\frac{J_0}{J_{\text{прош}}} \right) = \tau \cdot l$$

Необходимыми условиями применимости этого закона к коллоидным системам являются следующие:

- а) не слишком большая толщина слоя дисперсионной среды;
- б) не очень высокая концентрация дисперсной фазы.

$J_0(I_0)$ -интенсивность падающего света, $J_n(I_n)$ -интенсивность прошедшего света через слой с толщиной l , τ -мутность системы

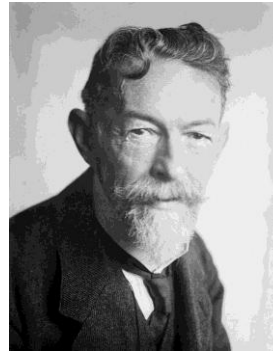


УЛЬТРАМИКРОСКОПИЯ

(от лат. *ultra*, греч. *mikros* - маленький и *skoreo* - смотрю), оптический. метод наблюдения и анализа коллоидных частиц в жидкой или газовой фазе



Р. Зигмонди
(1865-1929)



Г. Зидентопф
(1872-1940)



конструирован Р. Зигмонди и Г. Зидентопфом, основан на наблюдении светорассеяния в обычном оптическом микроскопе. Работа ультрамикроскопа основана на [эффekte Гиндаля](#)

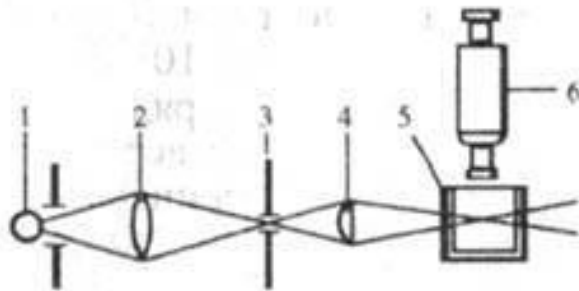


Рис. 1. Схема щелевого ультрамикроскопа: 1 - источник света; 2 - конденсор; 3 - оптич. щель; 4 - осветит, объектив; 5 - кювета; 6 - наблюдат. микроскоп.

В основе У. лежит дифракция света на коллоидных частицах, размер к-рых меньше половины длины световой волны, в результате чего система начинает светиться.

УЛЬТРАМИКРОСКОПИЯ

Принцип:

Исследуемый объект освещают сбоку мощным потоком света. Наблюдают рассеянный частицами свет. Частицы кажутся светящимися точками на темном фоне, даже если их диаметр много меньше разрешающей способности микроскопа.

Яркость свечения, а следовательно, и видимость частиц зависят от разности показателей преломления частицы и дисперсионной среды

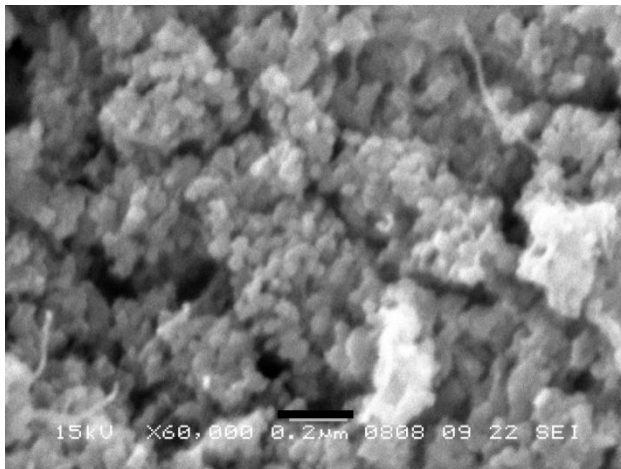
Ограничения метода: разогрев и разложение частиц при очень сильном освещении.

Электронная микроскопия

совокупность электронно-зондовых методов исследования микроструктуры твердых тел, их локального состава и микрополей (электрических, магнитных и др.) с помощью электронных микроскопов (ЭМ) - приборов, в которых для получения увеличения изображений используют электронный пучок.

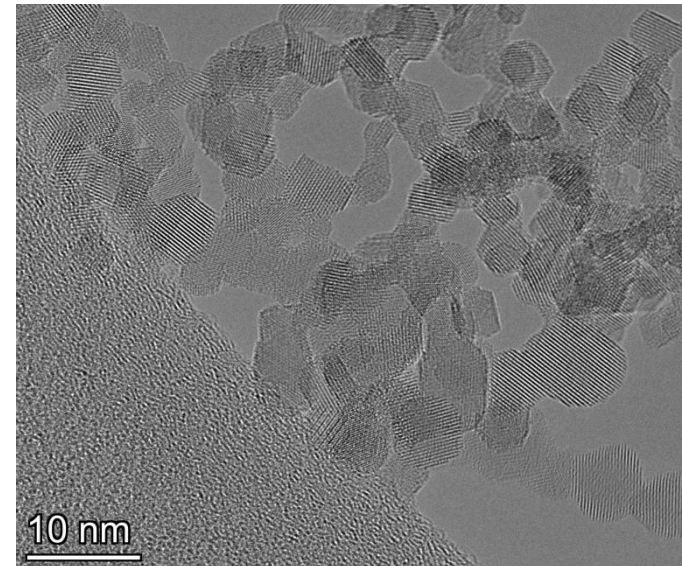
Различают два вида Э. м.: трансмиссионную (просвечивающую) и растровую (сканирующую)

СЭМ фотография ZrO_2



200 нм

ПЭМ фотография ZrO_2



10 nm