

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

1. Теоретические основы (эмиссия, абсорбция, люминесценция, рассеяние света), физические принципы и методы измерений.
2. Эмиссионная и абсорбционная фотометрия.
3. Пламенная фотометрия.
4. Фотометрические характеристики оптических регистрирующих сред (контраст, статистическая модель разрешающей способности) и методы их измерения.
5. Нелинейные преобразования изображения при регистрации на фотоматериале. Динамическая голография.
6. Спектральная фотометрия, цветовые измерения в изображении.

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Фотометрия (др.-греч. φῶς, родительный падеж φωτός — свет и μετρέω — измеряю) — общая для всех разделов прикладной оптики научная дисциплина, на основании которой производятся количественные измерения энергетических характеристик поля излучения при его испускании, распространении и взаимодействии с телами. В фотометрии оперируют фотометрическими величинами.

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Основные виды фотометрических измерений

- Сравнение силы света источников;
- Измерение полного потока от источника света;
- Измерение освещенности в заданной плоскости;
- Измерение яркости в заданном направлении;
- Измерение доли света, пропускаемой частично прозрачными телами;
- Измерение доли света, отражаемой объектами

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Общие методы фотометрии

Визуальная фотометрия

Физическая фотометрия

Требования к условиям
и средствам измерений

- Условия наблюдения (или работы приборов) должны быть такими, чтобы **фотометр** реагировал на разные длины волн в точном соответствии со «стандартным наблюдателем» МКО
- Важно, чтобы световой выход лампы не изменялся в ходе измерений. Для стабилизации и измерения тока и напряжения в таких условиях обычно требуется довольно сложная электрическая аппаратура. В самых точных фотометрических измерениях приходится стабилизировать ток через лампу с точностью до $(2 - 3) \cdot 10^{-3} \%$

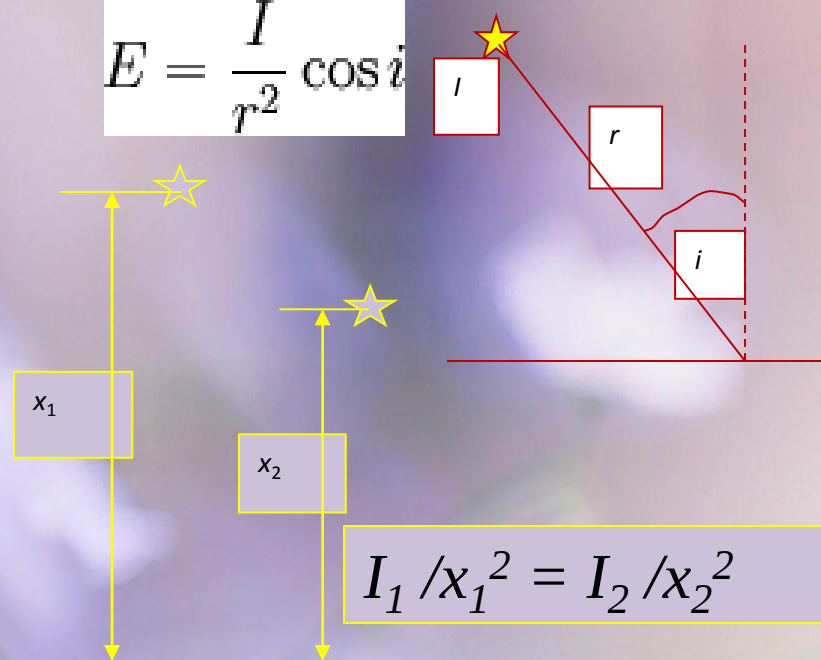
ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Для измерения каких-либо из фотометрических величин, чаще других — одной или нескольких световых величин применяется прибор — **метр**. При использовании фотометра осуществляют определённое пространственное ограничение потока излучения и регистрацию его приёмником излучения с заданной спектральной чувствительностью.

Закон обратных квадратов — был сформулирован Иоганном Кеплером в 1604 году:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos i$$

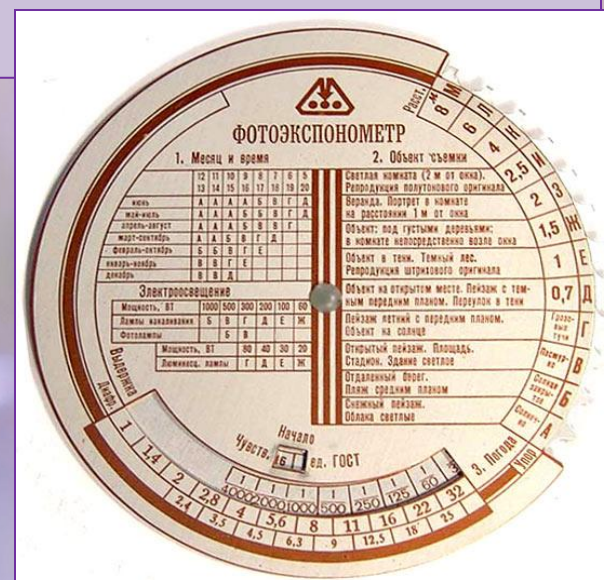


Требование: $r \gg d$ (размера источника)

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

метр, фотоэкспонетр (лат. *expono*) — устройство для инструментального измерения фотографической экспозиции и определения правильных экспозиционных параметров (времени выдержки и числа диафрагмы). Кроме того, большинство экспонометров обеспечивает определение контраста освещения снимаемой сцены, что немаловажное значение в профессиональной киносъёмке.



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Единственный недостаток - непригодны для измерения по освещённости

Фотоэкспонетры

Внешние

Встроенные

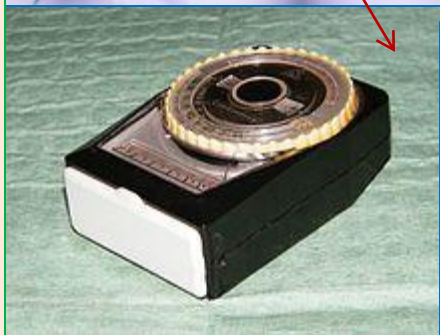
С измерением по яркости объекта

С измерением по освещенности объекта

Большинство внешних экспонометров классического типа имеют калькулятор, служащий для определения всех возможных сочетаний экспозиционных параметров на основе введённого значения светочувствительности.



Главный недостаток такого способа заключается в зависимости результатов измерения от отражательной способности объекта.



Неудобство такого метода - необходимость располагать экспонометр непосредственно у главного объекта съёмки (чаще всего это лицо человека) светочувствительным элементом к камере, что не всегда возможно

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Классификация экспонометров по устройству

Табличные



Оптические

Фотоэлектрические
(с селеновым фотоэлементом)



Фоторезисторные
(с фоторезистором или
фотодиодом в режиме обратного
тока)

Цифровые
экспонометры и
цветометры



Экспонометр
для аналоговой фотографии



Встроенный сопряжённый
экспонометр 8-мм кинокамеры.
Слева — фоторезистор, в центре —
гальванометр, справа — привод
диафрагмы

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



Экспонетр визуальный — сравнение яркости изображения в видоискателе с эталонной лампой

Классификация экспонометров по режиму управления экспозицией

С ручным управлением

Экспозиционные параметры выставляются вручную фотографом после их считывания с калькулятора экспонометра

С полуавтоматическим управлением

Переменные резисторы измерительных цепей механически сопрягаются с органами управления экспозицией, автоматически выставляя правильные параметры непосредственно в процессе измерения



С автоматическим управлением

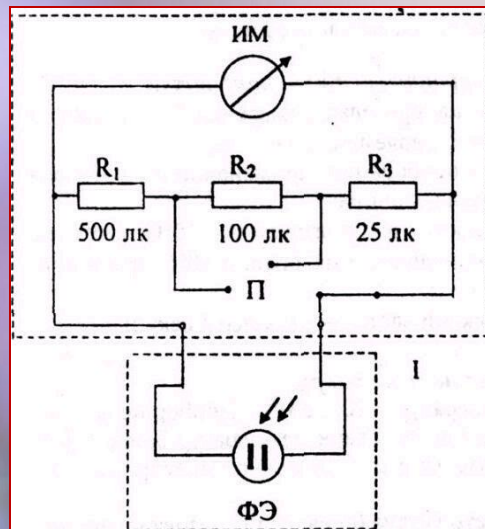
Система управления экспозицией автоматически устанавливает один или оба параметра специальными механизмами камеры в соответствии с результатами измерения. В видеокамерах и цифровых фотоаппаратах возможен также автоматический выбор светочувствительности

Флэшметр используется для измерения освещённости при съёмке с использованием импульсных осветительных приборов.

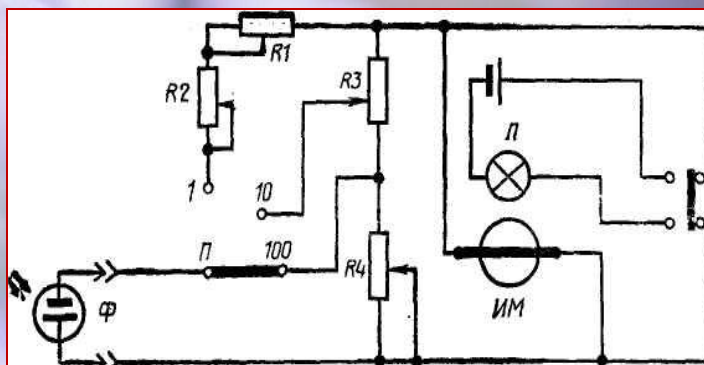
Полуавтоматический фотоаппарат «Восход» с сопряжённым селеновым экспонометром

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



Люксометры, состоящие из фотодиода, корректирующего светофильтра и микроамперметра, широко применяются инженерами по освещению и другими специалистами для повседневных фотометрических измерений всех видов в заводских лабораториях, если приемлема точность 1–2%, а сила света достаточно велика.



При измерениях для слабых источников применяют вакуумные фотоэлементы в сочетании с электронным усилителем или ФЭУ

Люксметр Ю-116:

1- миллиамперметр; 2 – насадки; 3 - селеновый фотоэлемент в пластмассовом корпусе с насадками; а, б – кнопки переключения шкал

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

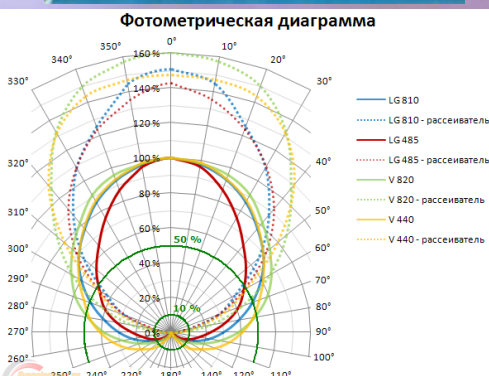
Методы измерения полного светового потока

Гониометрический

Гониометр – это приспособление, посредством которого можно измерять освещенность, создаваемую лампой, в любом желаемом направлении. После измерения освещенности во многих направлениях, вычисляют полный световой поток.

Интегрирующей сферы Ульбрихта

Интегрирующая сфера – полый шар, выкрашенный изнутри матовой белой краской. Внутри сферы подвешивают: лампу или арматуру с экраном, закрывающим ее со стороны небольшого окошка из опалового стекла (его освещенность измеряется); эталонную лампу, для которой световой поток точно измерен посредством гониофотометра, закрытую экранами со стороны первой лампы и окошка. Освещенность окошка при включении одной из ламп пропорциональна ее полному световому потоку (поправки нужны, если лампы имеют разные размеры или форму или заметно различаются цветом испускаемого света).



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

В названиях фотометрических приборов отражают их целевое назначение

Измеряемая фотометрическая характеристика	Прибор для измерения
Освещённость	Люксметр
Альбедо	Альбедометр
Яркость	Яркомер
Световой поток и световая энергия	Фотометр интегрирующий
Цвет	Колориметр
Распределение энергии излучения по длинам волн	Спектрофотометр
Элементный состав пробы и концентрация элементов (качественный и количественный анализ по спектрам поглощения)	Атомно-абсорбционный спектрофотометр

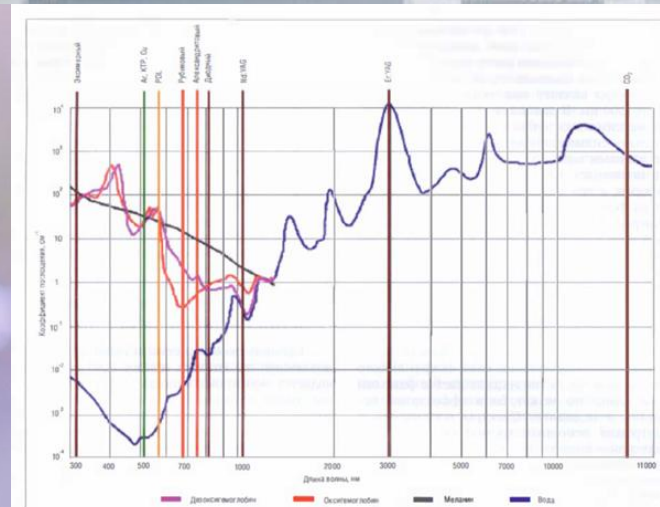


Рис. 2.5-1. Спектры поглощения основных кожных хромофоров

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Спектроскопические методы, области
электромагнитного спектра
и вызываемые физические процессы

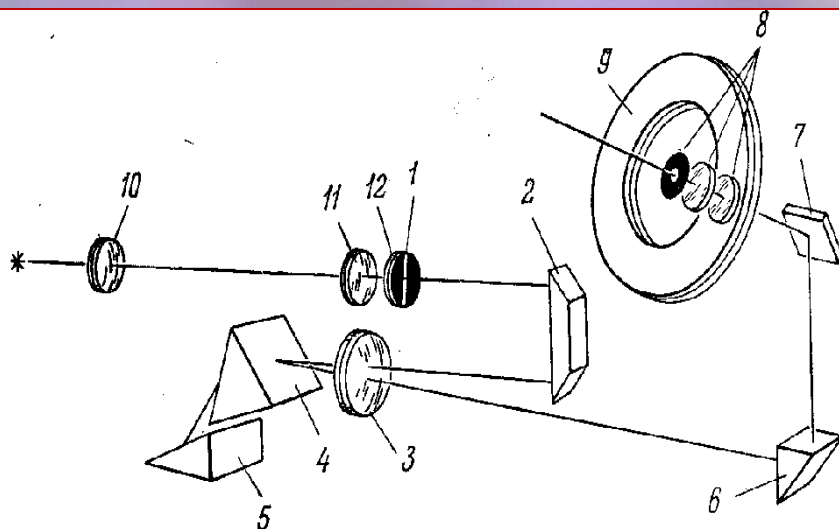
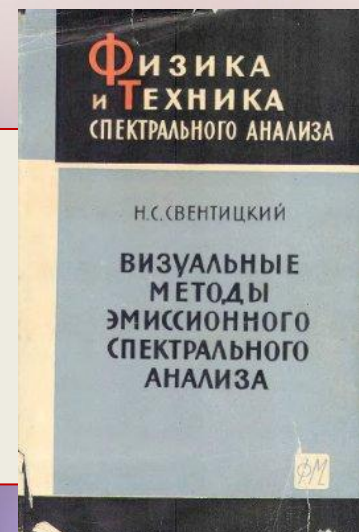
Спектроскопические методы	Спектральная область	Вызываемый процесс
Ядерно-физические	$5 \cdot 10^{-4} \div 4 \cdot 10^{-1}$ нм	Изменяется энергия ядер атомов
Рентгеновские	0,1÷10 нм	Изменяется энергия внутренних электронов
Вакуумная ультрафиолетовая спектроскопия	10÷180 нм	Изменяется энергия валентных электронов
Ультрафиолетовая спектроскопия	180÷400 нм	Изменяется энергия валентных электронов
Спектроскопия в видимой области	400÷780 нм	Изменяется энергия валентных электронов
Спектроскопия в ближней ИК-области	780÷2500 нм	Изменяется колебательная энергия молекул
ИК-спектроскопия	4000÷400 см^{-1}	Изменяется колебательная и вращательная энергия молекул
Спектроскопия комбинационного рассеяния	$\lambda_{\text{возб}} = 435,8$ нм (632,8 нм, 438 нм), Область тестирования 4000–400 см^{-1}	Изменяется колебательная, вращательная и электронная энергия молекул (в основном тех, которые не имеют дипольного момента)
Микроволновая спектроскопия	0,75÷3,75 мм	Изменяется вращательная энергия молекул
Электронный парамагнитный резонанс	~3 см	Расщепление уровней энергии неспаренных электронов в магнитном поле
Ядерный магнитный резонанс	0,6÷10 м	Расщепление уровней энергии ядерных спинов в магнитном поле

Тема 5 Спектральная фотометрия

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Стилоскопы и стилометры предназначены для визуальных наблюдений и качественного спектрального анализа. На стилометрах установлена фотометрическая головка и производится также измерение относительной яркости спектральных линий.



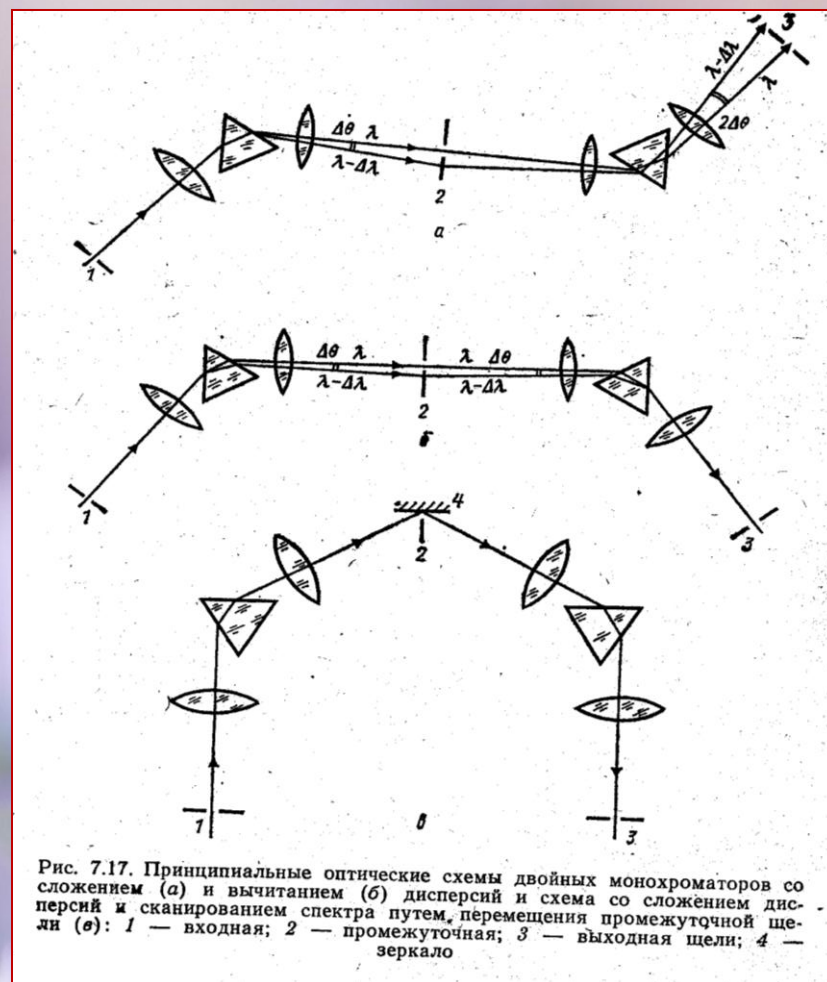
13. Оптическая схема стилоскопа СЛ-11А: 1 — щель; 2, 6 — поворотная призма; 3 — объектив; 4 — двухпризменная автоколлимационная диспергирующая система; 7 — зеркало; 8 — окуляр; 9 — фотометрический клин; 10—12 — трехлинзовая конденсорная система.

Диспергирующая система состоит из двух и более призм, фокусное расстояние объективов 20 – 40 см; они снабжаются устройством для перехода от одного участка спектра к другому

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Монохроматоры предназначены для выделения излучения в пределах заданного спектрального интервала. В фокальной плоскости выходного объектива монохроматоры имеется неподвижная щель для выхода излучения. В монохроматорах всегда предусматривается возможность сканирования спектра, например посредством его перемещения относительно неподвижной выходной щели. Если монохроматор имеет несколько выходных щелей, его называют **полихроматором**

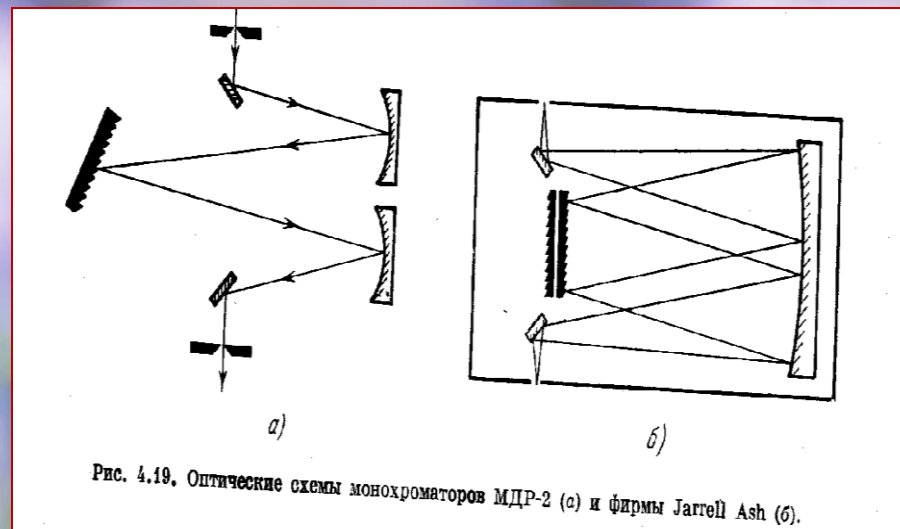
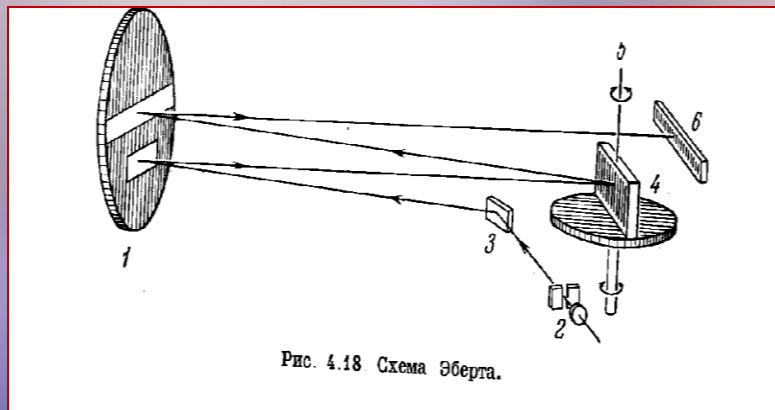


ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

В дифракционных монохроматорах широко используются схемы Эберта и Черни – Турнера. Первая из них наиболее часто применяется в длиннофокусных монохроматорах и спектрографах с плоскими решетками. В короткофокусных монохроматорах схема Эберта нецелесообразна из-за больших aberrаций, возникающих при падении света под большими углами к оси. В таких оптических приборах применяют схему Черни – Турнера с двумя зеркалами.

Схемы Эберта и Черни – Турнера



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

На основе монохроматоров и полихроматоров могут быть построены **спектрометры** и **спектрофотометры**. Эти приборы обычно имеют встроенные источник света, систему освещения щели, монохроматор и приемно-регистрирующую систему

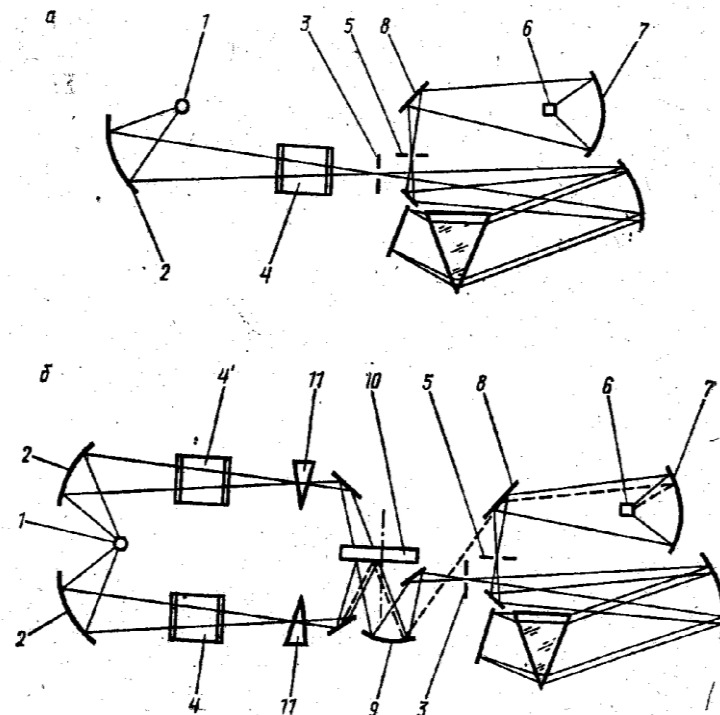
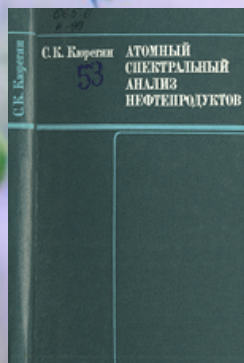
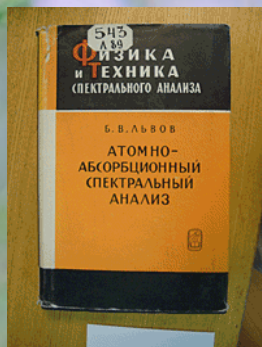
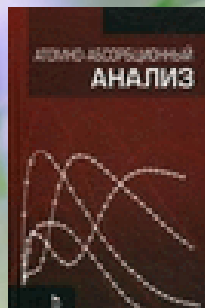


Рис. 7.15. Упрощенные оптические схемы спектрометра (а) и спектрофотометра (б): 1 — источник света; 2 — зеркало осветительной системы; 3 — входная щель; 4 и 4' — кюветы; 5 — выходная щель; 6 — приемник; 7, 9 — вогнутые зеркала; 8 — плоское зеркало; 10 — секторный модулятор; 11 — фотометрический и компенсационный клинья



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Основное назначение **спектрометров** – измерение спектров пропускания и поглощения *в единицах, пропорциональных мощности поступающего на приемник сигнала.*



Атомно -абсорбционный
спектрометр WFX-110



Оптико-эмиссионный
спектрометр Compact Port -
многофункциональный прибор

535.8
Н16
В.К. ПРОКОФЬЕВ

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
И ТЕХНИКА СПЕКТРОСКОПИИ

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



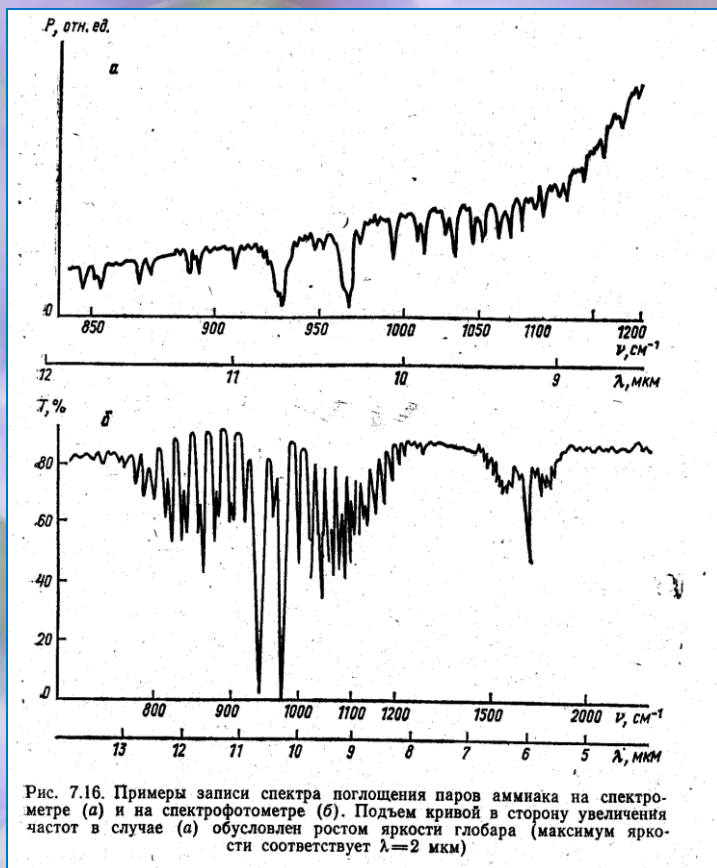
Приборы могут быть использованы для количественного эмиссионного спектрального анализа металлов и сплавов

Спектрофотометр — прибор, более узкого назначения: предназначен для измерения спектров поглощения исследуемого объекта *в шкале прозрачности или оптической плотности*; в нем определение интенсивности световых компонентов с разными показателями длины волны производится посредством сравнения характеристик измеряемого потока с эталоном. Спектрофотометры – основные приборы спектральной фотометрии.



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



Установка для анализа жидких проб различного происхождения и состава по атомным спектрам поглощения и эмиссии

Недостаток двойных монохроматоров – виньетирование крайних участков спектра, поэтому они не могут работать в широком спектральном диапазоне

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

В зависимости от числа выходных щелей различают **одно-** (монохроматоры с одной выходной щелью) и **многоканальные** (квантометры, КСВУ) **спектральные приборы**.



Атомно -абсорбционный спектрометр КВАНТ-Z.ЭТА

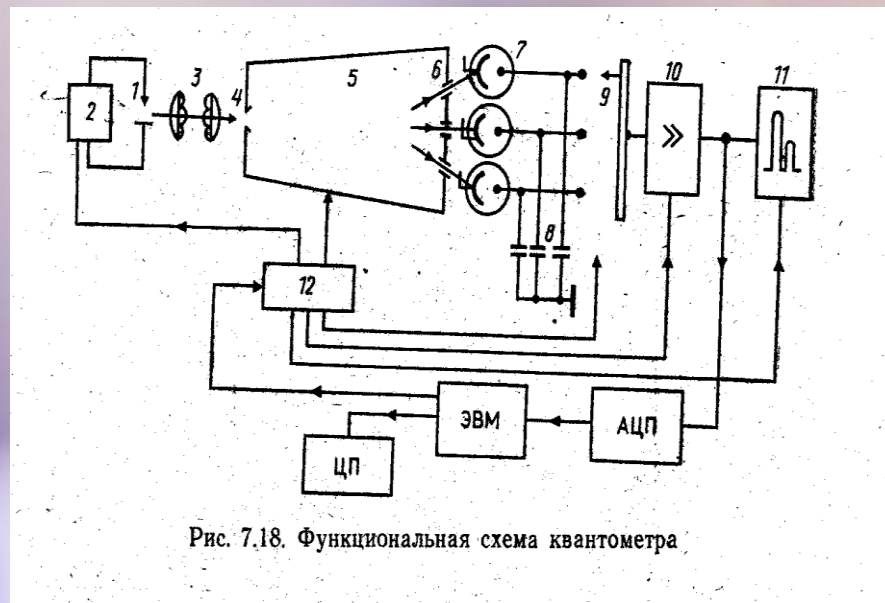


Рис. 7.18. Функциональная схема квантометра

Спектрометры с полихроматорами называют также **квантометрами**. Эти приборы имеют разные приемники излучения за каждой из выходных щелей, и на них можно производить количественный спектральный анализ сплавов одновременно на несколько разных элементов.

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Универсальные вычислительные комплексы модульного типа (КСВУ), предназначены для регистрации спектров испускания и поглощения в УФ, видимой и ИК области спектра

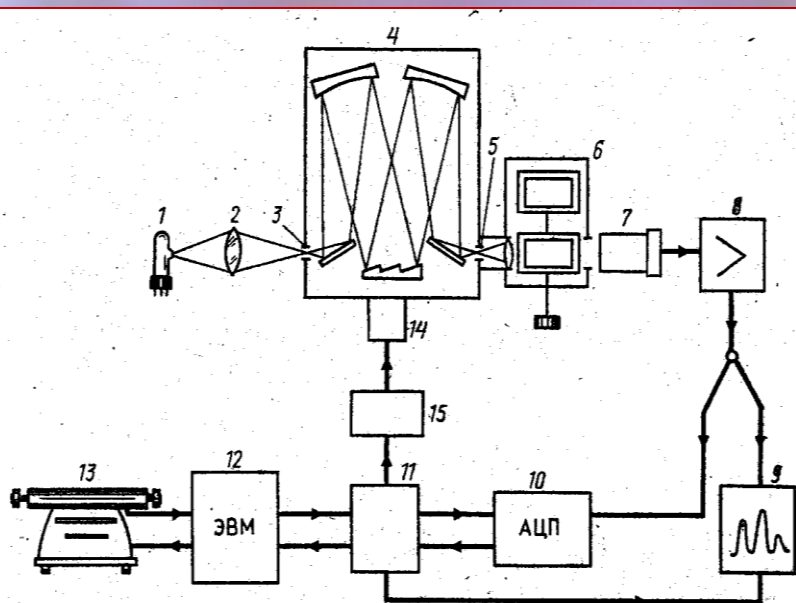


Рис. 7.19. Функциональная схема КСВУ

Программное обеспечение КСВУ обеспечивает следующие действия:

- сканирование спектра заданное число раз в заданном диапазоне с постоянным шагом и с шагом, обратно пропорциональным первой производной сигнала;
- запоминание до четырех спектров общим объемом 2400 точек;
- операции поточечного сложения, вычитания, умножения, деления, логарифмирования накопленных спектров с выводом результатов на пишущую машинку или самопишущий прибор.

Исполнение приборов КСВУ в виде отдельных сопрягаемых между собой модулей обеспечивает организацию при необходимости различных программно-управляемых комплексов.

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Характерной особенностью применения ЭВМ в научных исследованиях является стремление производить обработку результатов в два этапа. На первом этапе происходит управление экспериментом, накопление и предварительная обработка данных с помощью микро-ЭВМ. Дальнейшая обработка данных, например, отождествление спектров, производится на втором этапе, с помощью ЭВМ большей мощности.



Атомно-абсорбционный спектрофотометр нового поколения для пламенного и электротермического атомно-абсорбционного анализа



Прибор для эмиссионного и атомно-абсорбционного спектрального анализа

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Некоторые из основных характеристик фотометров:

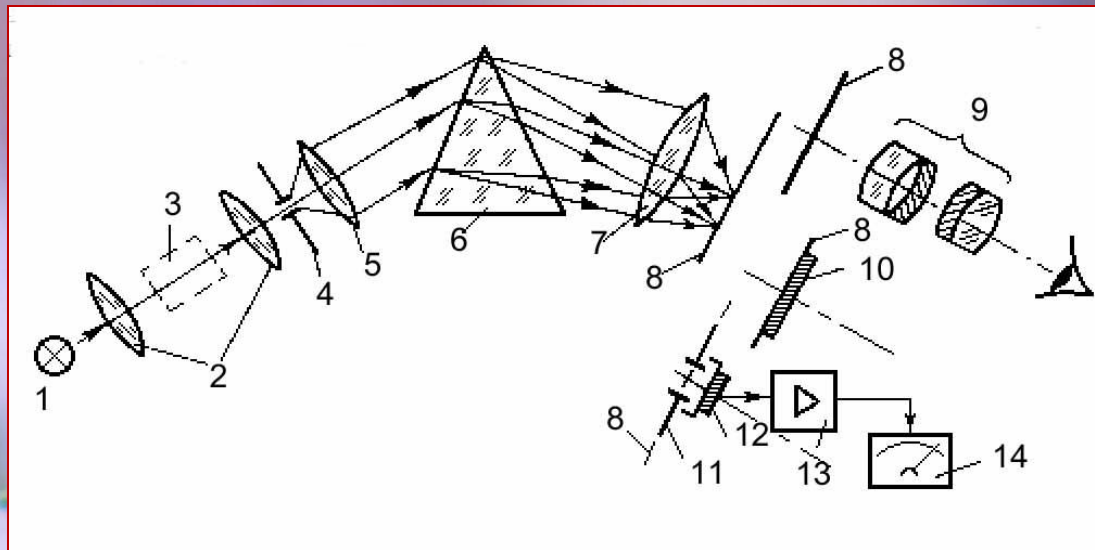
- **спектральный диапазон, в котором работает фотометр**; в большинстве случаев фотометры работают в спектральном диапазоне 340—700 нм;
- **динамический диапазон измерения фотометра**; обычно диапазону оптических плотностей от 0 до 2 соответствует диапазон по светопропусканию от 100 до 1 %;
- **максимальный и минимальный объем фотометрируемого раствора**; эти объемы определяются объемами измерительных кювет фотометра, при этом минимальный допустимый объем раствора — объем, при котором возможно получение гарантированных результатов измерений; на современных фотометрах можно работать в диапазоне объемов 10—500 мкл;
- **метрологические характеристики фотометров**;
- **градуировка прибора** — процесс построения калибровочной кривой, по которому в дальнейшем проводится градуировка прибора; фотометры высокого класса имеют энергонезависимое запоминающее устройство, обеспечивающее сохранение градуировочных характеристик в течение длительного времени;
- **способы отображения и регистрации информации**; в фотометрах используются стрелочные, цифровые и алфавитно-цифровые индикаторы, принтеры самых разных конструкций.



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Под **спектральным прибором** в широком смысле этого понятия понимают установку, в состав которой включены источник излучения, осветительная система, **собственно спектральный прибор** и приёмник излучения с усилительно-регистрирующим комплексом



- 1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – кюветное отделение; 4 – входная щель;
5 – объектив входного коллиматора; 6 – диспергирующий элемент (призма или дифракционная решётка); 7 – объектив выходного коллиматора; 8 – фокальная плоскость объектива; 9 – окуляр (при визуальном методе регистрации спектров); 10 – фотопластинка (при фотографическом методе регистрации);
11 – выходная щель; 12 – фотоприёмник; 13 – усилитель фототока;
14 – регистрирующее устройство (при фотоэлектрическом методе)

Принципиальная схема спектрального прибора

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Основные параметры спектральных приборов

Определение	Призменные приборы	Дифракционные приборы
Угловая дисперсия $D_{\Theta} = d\Theta / d\lambda$	$D_{\Theta} = \frac{2 \sin \frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \frac{A}{2}}} \cdot \frac{dn}{d\lambda}$	$D_{\Theta} = \frac{k}{d \cos \Theta}$
Линейная дисперсия $D_x = dx / d\lambda$	$\frac{dx}{d\lambda} = \frac{f}{\sin \varepsilon} \frac{d\Theta}{d\lambda}$	
Разрешающая способность $R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$	$R = T \frac{dn}{d\lambda} \left(1 + \frac{\Phi_0 s}{\lambda} \right)$	$R = kN$

Область дисперсии спектрального прибора – тот интервал длин волн в спектре, в котором имеется однозначная связь между длиной волны излучения и положением соответствующей спектральной линии в спектре.

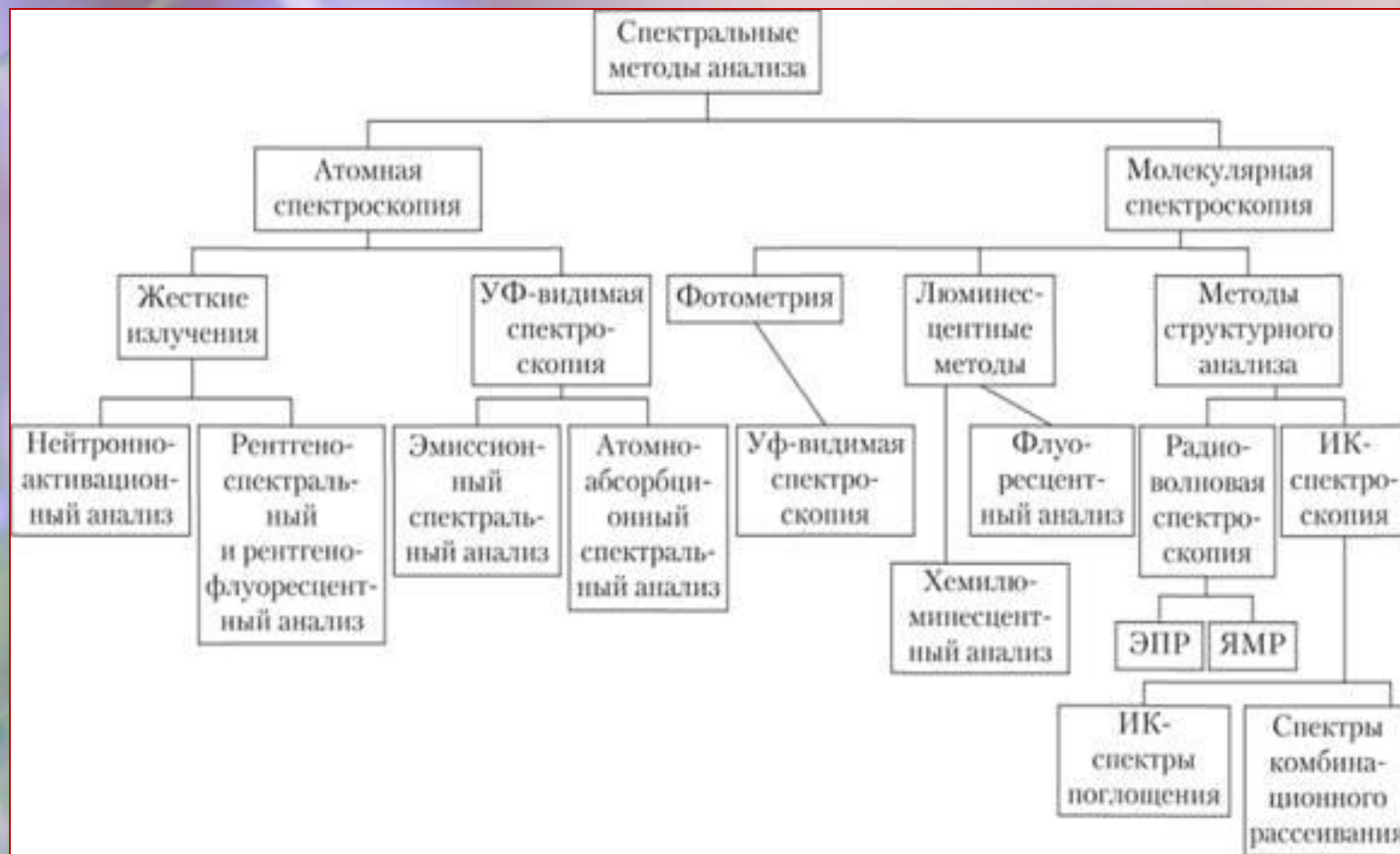
Светосила – отношение освещённости или светового потока Φ на выходе прибора к монохроматической яркости B входной щели прибора: $P = \Phi / B$.

Светосила характеризует фотометрические свойства спектрального прибора.

Информационная способность прибора прямо пропорциональна произведению светосилы P на разрешающую способность PR . В большинстве практических ситуаций произведение остается практически постоянным для каждого прибора

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Основы спектрально-абсорбционного анализа

Закон Бугэра $I = I_0 e^{-\alpha d}$

Коэффициент поглощения

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln \frac{I}{I_0}$$

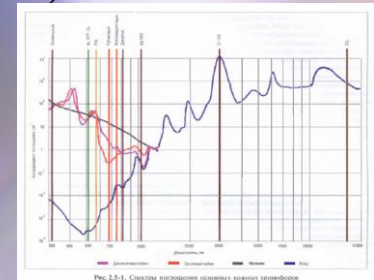
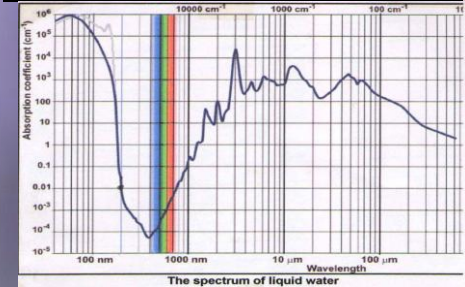
Измеряя экспериментально значения интенсивности I_1 и I_2 , соответствующие прохождению световых пучков одинаковой начальной интенсивности через слои вещества толщиной d_1 и d_2 соответственно, можно определить коэффициент поглощения из формулы

$$\frac{I_1}{I_2} = \exp [\alpha(d_2 - d_1)]$$

Закон Бугера-Ламберта-Бера

$$I = I_0 \exp(-Acd)$$

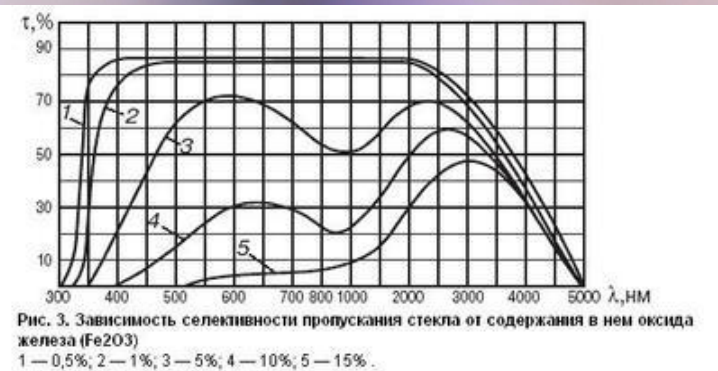
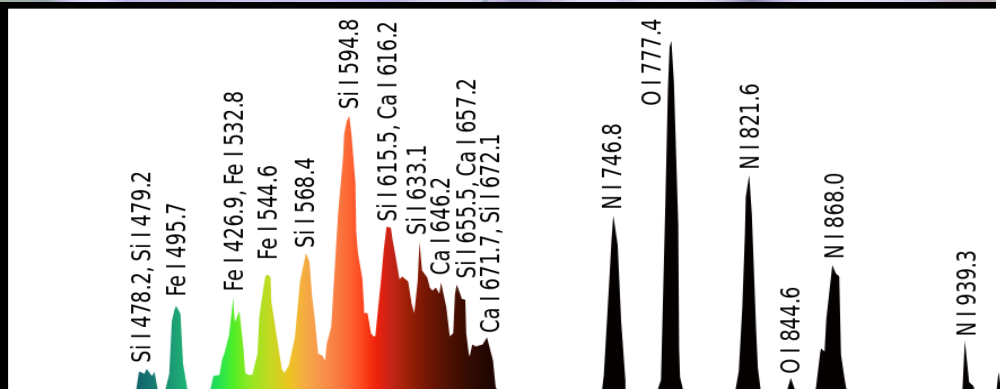
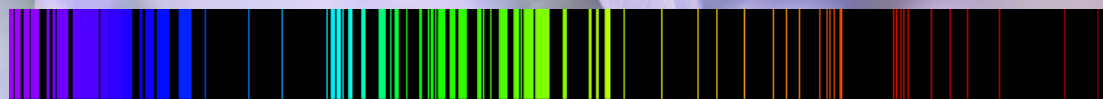
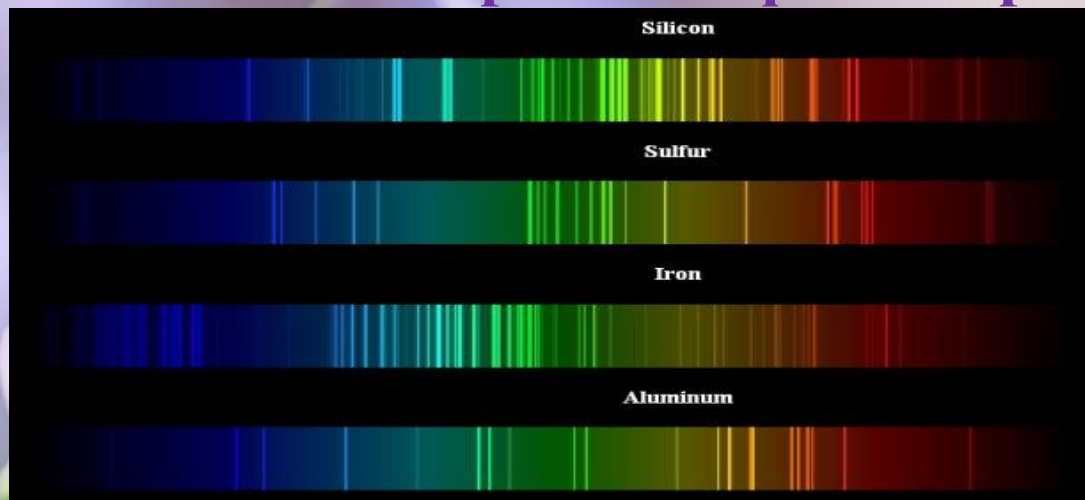
$$D = -\lg T = Acd$$



Спектры поглощения веществ используются для спектрального анализа, то есть для *определения состава сложных смесей*.

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



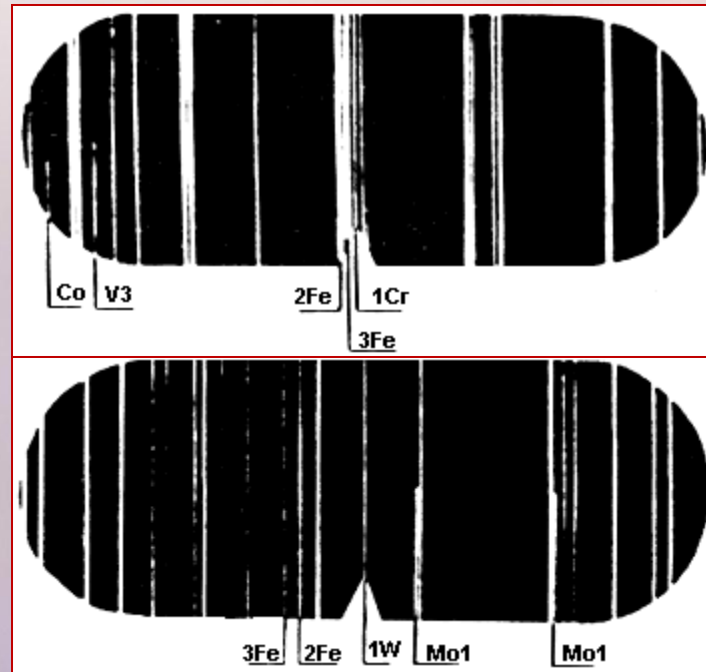
ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Спектральный анализ

Качественный – основан на индивидуальности спектров разных физических объектов (атомов, ионов, молекул и др.)

Количественный – основан на зависимости интенсивности спектральных линий излучения и полос поглощения от концентрации определяемого элемента в пробе



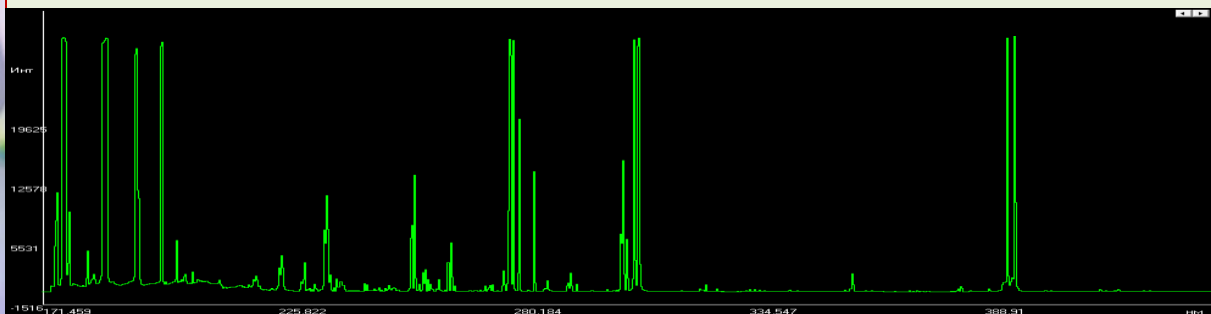
Аналитическая пара – это две спектральные линии, одна из которых принадлежит спектру основы образца, а другая – спектру элемента-примеси, относительная интенсивность которых изменяется при изменении концентрации примеси. В аналитическую пару включают линии основы и элемента, которые соответствуют частицам одинаковой кратности ионизации; мало отличаются по интенсивности; характеризуются близкими энергиями возбуждения и поэтому в спектре расположены близко друг к другу



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Атомно-эмиссионная спектроскопия (спектрометрия), АЭС или **атомно-эмиссионный спектральный анализ** — совокупность методов элементного анализа, основанных на изучении спектров испускания свободных атомов и ионов в газовой фазе .



Обычно эмиссионные спектры регистрируют в наиболее удобной оптической области длин волн от ~ 200 до ~ 1000 нм. Для регистрации спектров в области < 200 нм требуется применение вакуумной спектроскопии, чтобы избавиться от поглощения коротковолнового излучения воздухом. Для регистрации спектров в области > 1000 нм требуются специальные инфракрасные или микроволновые детекторы.

Важным достоинством АЭС по сравнению с другими оптическими спектральными, а также многими химическими и физико-химическими методами анализа, являются возможности бесконтактного, экспрессного, одновременного количественного определения большого числа элементов в широком интервале концентраций с приемлемой точностью при использовании малой массы пробы

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Метод пламенной фотометрии основан на фотометрическом измерении излучения элементов в высокотемпературном пламени. Анализируемый раствор сжатым воздухом разбрызгивается в пламени газовой горелки, в которой сгорает ацетилен, водород, светильный или какой-либо другой газ. Пламя горелки при этом окрашивается в характерный для данного элемента цвет. Пламя горелки служит также источником света для возбуждения спектра. Оптическим устройством прибора выделяют спектральную линию определяемого элемента и измеряют ее интенсивность с помощью фотоэлемента. Концентрацию элемента определяют по градуировочному графику или с помощью компенсационного самописца.

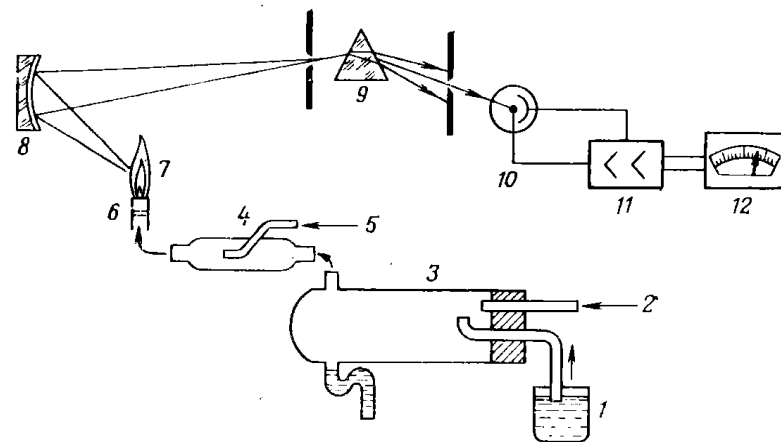
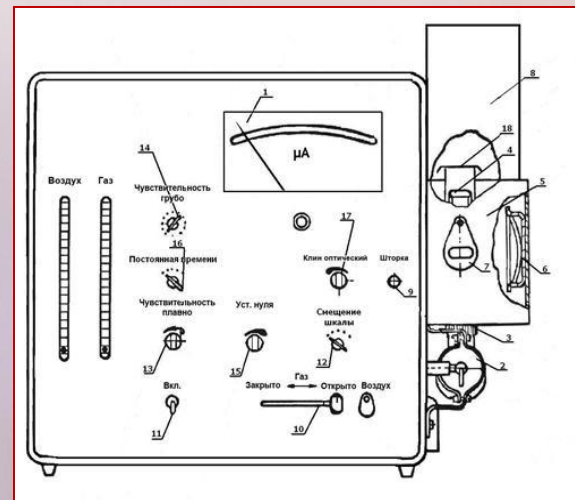


Рис. 30.20. Принципиальная схема пламенного фотометра:

1 — анализируемый раствор; 2 — подача газа-окислителя (воздух, воздух, обогащенный кислородом); 3 — распылитель; 4 — отстойник-смеситель; 5 — подача газа-топлива; 6 — горелка; 7 — пламя; 8 — зеркало-конденсор; 9 — монохроматор (светофильтр, прибор); 10 — фотоэлемент, фотоумножитель; 11, 12 — усилитель и отсчетно-регистрирующее устройство

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Технические характеристики:

Диапазоны измерений массовой концентрации Na, K, Li, Cs
от 0,02 до 100 ppm

Диапазоны измерений массовой концентрации Ca
от 0,2 до 100 ppm

Диапазоны измерений массовой концентрации Ba, Sr
от 20 до 3000 ppm

Относительная погрешность < 2%

Воспроизводимость не хуже 2% при концентрации 10 ppm

Расход пробы 6 мл/мин

Время прогрева не более 30 минут

Продолжительность однократного измерения
не более 20 секунд

Требования к анализируемым пробам:

водные растворы, однородные и не слишком вязкие

Электрическое питание 220 В, 50 Гц

Потребляемая мощность 20 В*А

Условия эксплуатации:

температура окружающего воздуха от 10 до 35 °C

относительная влажность от 30 до 85%

Габаритные размеры 510 x 390 x 345 мм

Масса 9,5 кг

Одноканальный пламенный фотометр М410



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Двухканальный пламенный фотометр М420

Технические характеристики:

Диапазоны измерений массовой концентрации Na, K, Li, Cs
от 0,02 до 199,9 ppm

Диапазоны измерений массовой концентрации Ca
от 0,02 до 199,9 ppm

Диапазоны измерений массовой концентрации Ba, Sr
от 0,005 до 5,0 ppm

Относительная погрешность < 1%

Воспроизводимость не хуже 0,5%

Расход пробы не более 6 мл/мин

Время прогрева не более 15 минут

Продолжительность однократного измерения
не более 20 секунд

Требования к анализируемым пробам
водные растворы, однородные и не слишком вязкие

Электрическое питание 220 В, 50 Гц

Потребляемая мощность 20 В*А

Условия эксплуатации:

температура окружающего воздуха от 10 до 35 °C

относительная влажность от 30 до 85%

Габаритные размеры 510 x 390 x 345 мм

Масса 10 кг

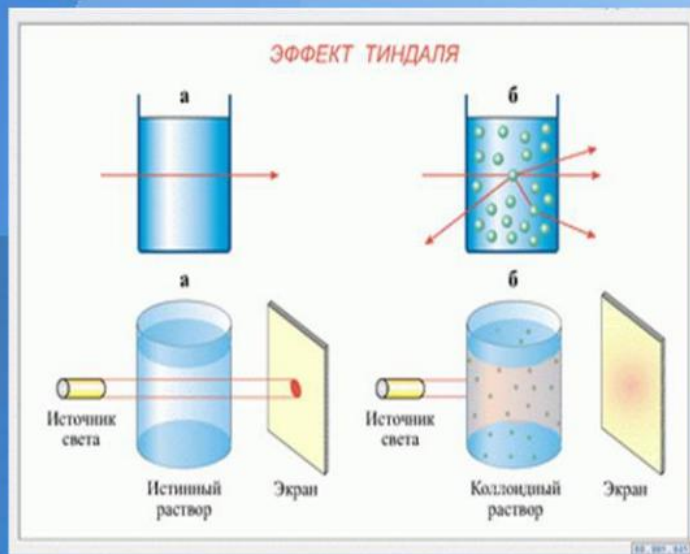


ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

Эффект Тиндала

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



Солнечные лучи
проходящие сквозь
туман.

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

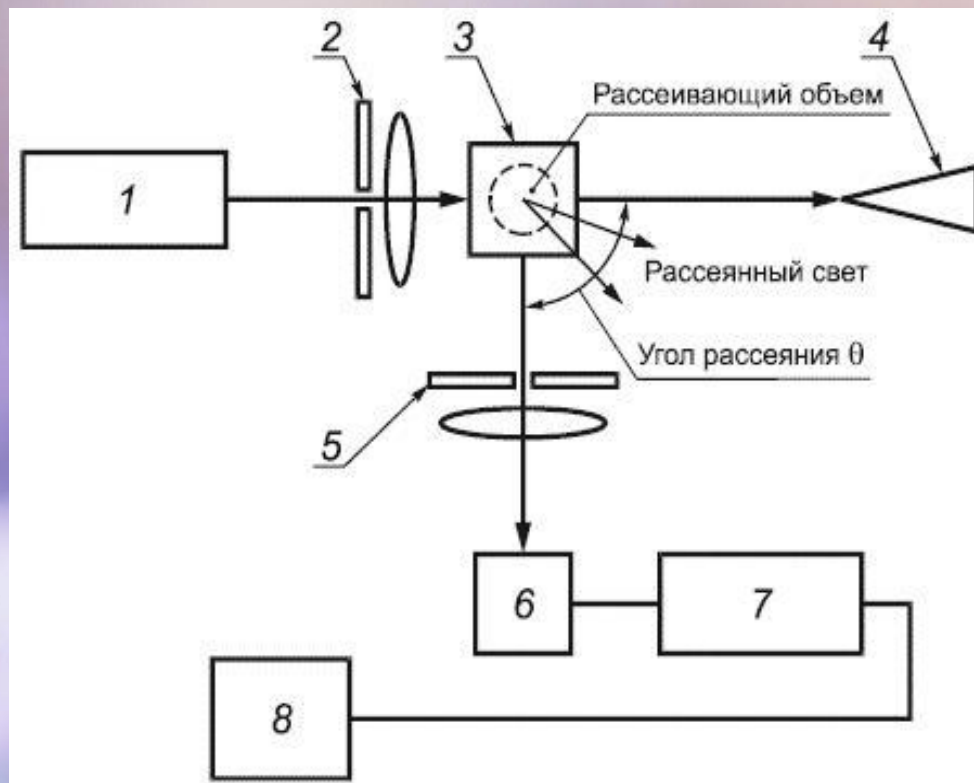
Тема 5 Спектральная фотометрия

И.А. ФАВЕЛИНСКИЙ
МОЛЕКУЛЯРНОЕ
РАССЕЯНИЕ СВЕТА

В. Е. Эскин
РАССЕЯНИЕ
СВЕТА
РАСТВОРАМИ
ПОЛИМЕРОВ
И СВОЙСТВА
МАКРОМОЛЕКУЛ

Рассеяние света
в мутной среде
Научная литература,
физика
Научная литература, физика

Шифрин К.С.



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

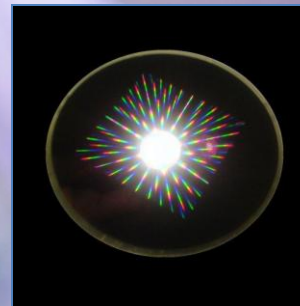
Тема 5 Спектральная фотометрия

Рэлеевское рассеяние — когерентное рассеяние света без изменения длины волны (называемое также упругим рассеянием) на частицах, неоднородностях или других объектах, когда частота рассеиваемого света существенно меньше собственной частоты рассеивающего объекта или системы.

$$I = I_0 \frac{9\pi^2 \varepsilon_0^2 N(V')^2}{2\lambda^4 L^2} \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta)$$

Сечение σ_R зависит от угла рассеяния θ между направлениями падающей и рассеянной волн:

$$d\sigma_R(\theta) = \frac{3}{8} \sigma_R (1 + \cos^2 \theta) \sin \theta d\theta$$



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

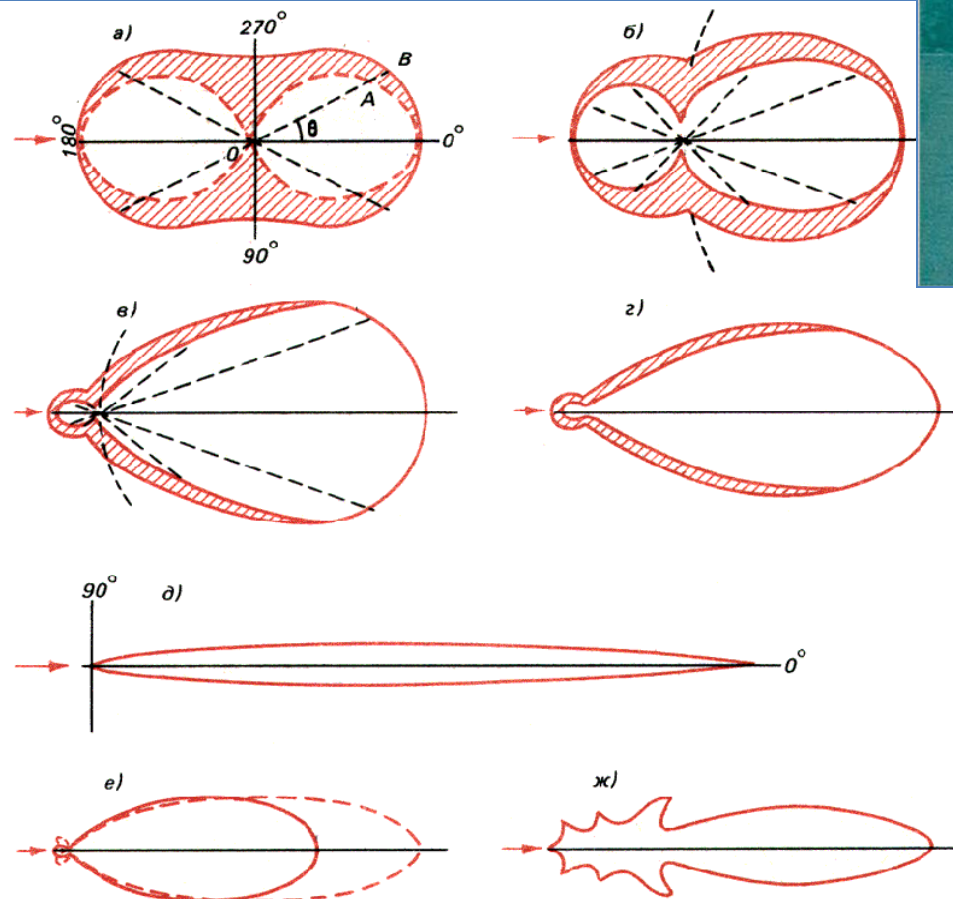
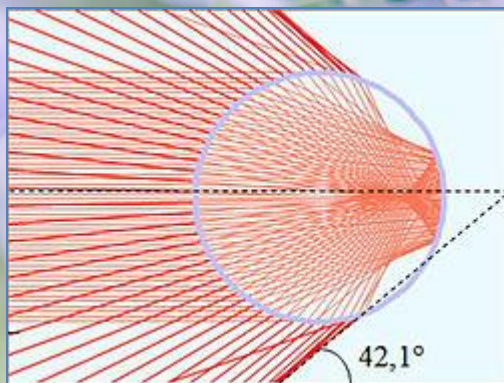
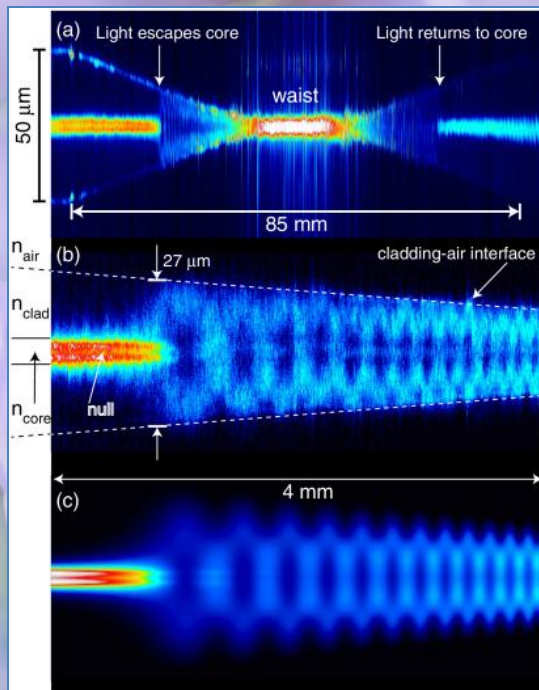
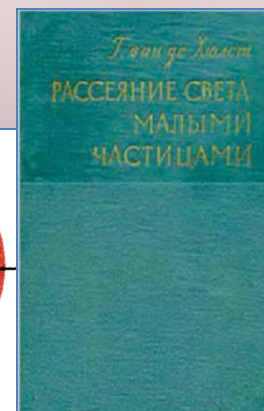


Рис. 2.2. Индикатрисы рассеяния.

а — при молекулярном рассеянии; б — для частиц диаметром, равным $\lambda/3$; в — для частиц диаметром λ ; г — для частиц диаметром 3λ ; д — для частиц диаметром 40λ ; е, ж — с дополнительными максимумами (по О. Д. Бартеневой).



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия

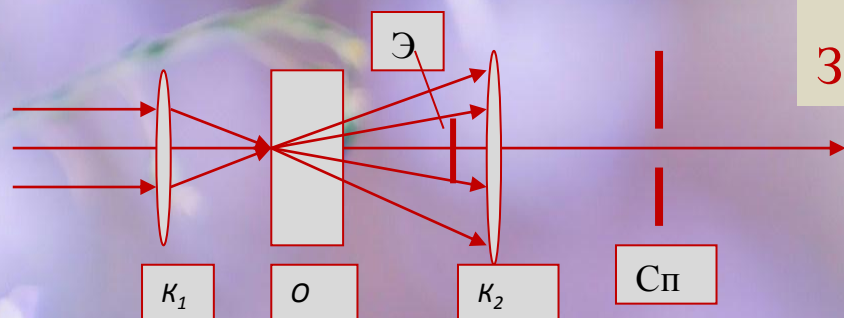
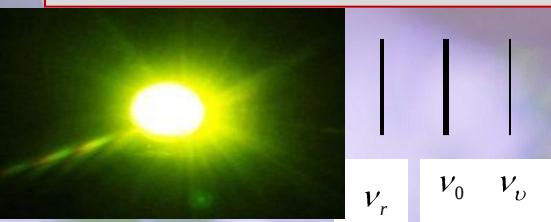


Схема наблюдения комбинационного рассеяния света



Расположение линий-спутников относительно спектральной линии первичного спектра

Вероятность комбинационного рассеяния, а следовательно, интенсивность линий КРС зависит от интенсивностей возбуждающего I_0 и рассеянного I излучения:

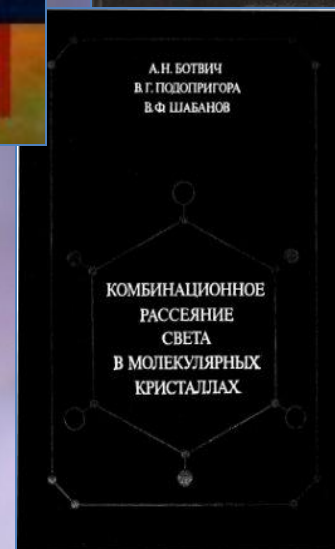
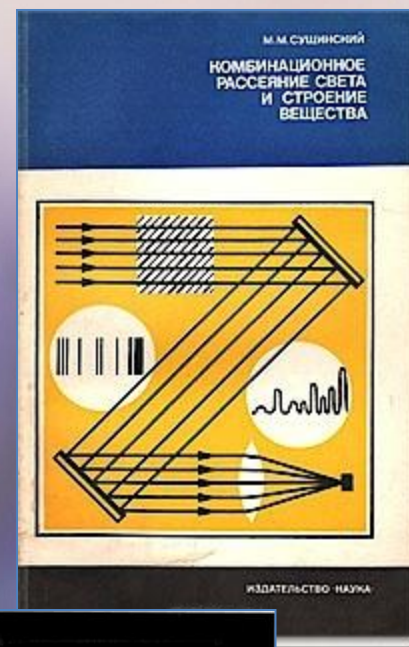
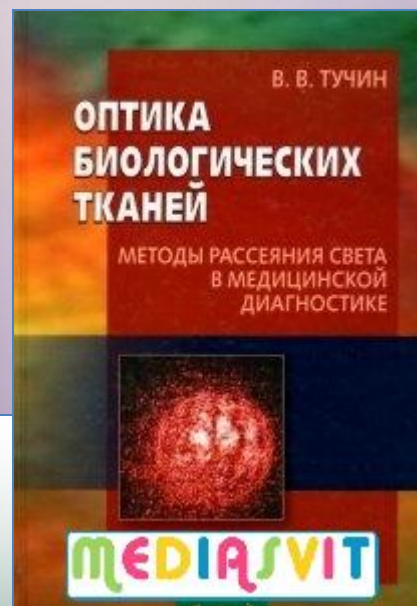
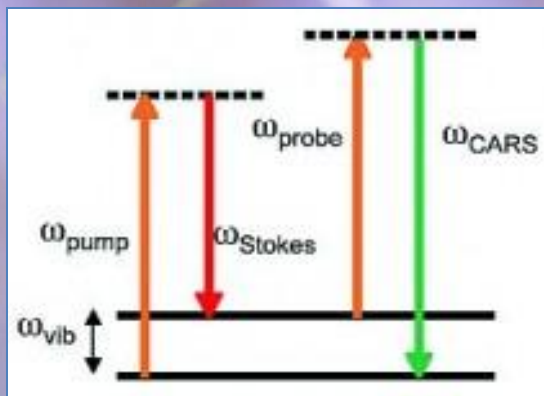
$$\omega = aI_0(b + I)$$

Законы комбинационного рассеяния:

- спутники сопровождают каждую линию первичного света
- различие в частотах возбуждающего первичного излучения и линий-спутников характерно для вещества и равно частотам колебаний его молекул;
- спутники представляют две системы линий, расположенных симметрично относительно возбуждающей линии;
- с повышением температуры интенсивность «фиолетовых» спутников быстро возрастает

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

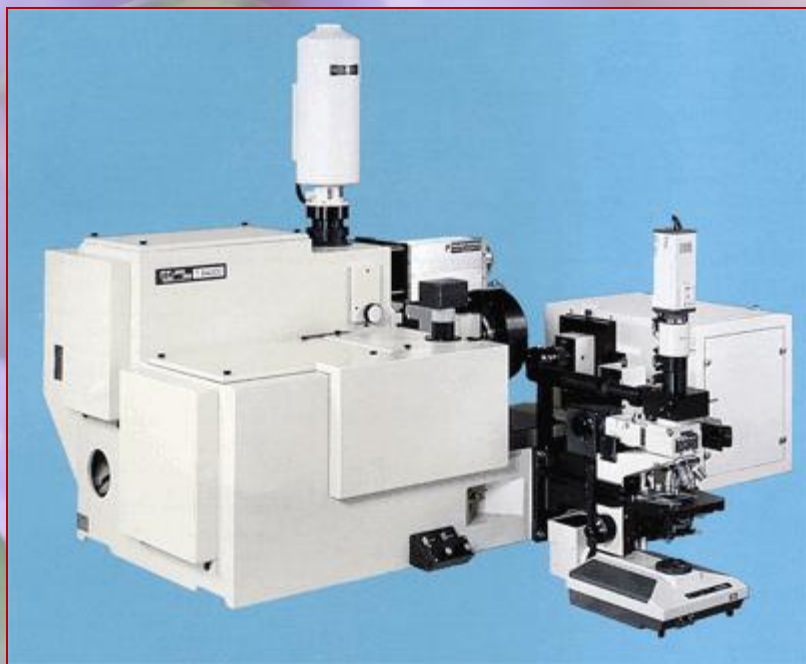
Тема 5 Спектральная фотометрия



Когерентная спектроскопия комбинационного антистоксового рассеяния света (КАРС) является одним из видов спектроскопии

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



Спектрометр комбинационного рассеяния света Horiba Jobin Yvon T64000

Министерство образования и науки Российской Федерации

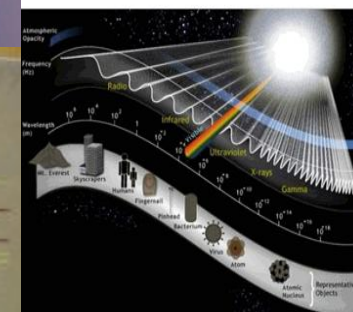
Московский государственный университет
тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова

Кафедра аналитической химии

А.А. Ищенко

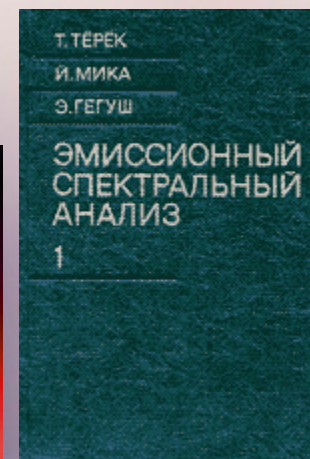
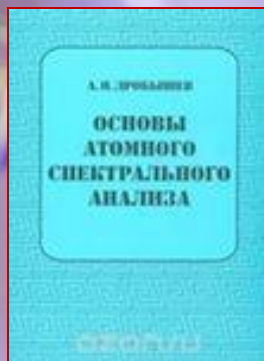
СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Учебное пособие



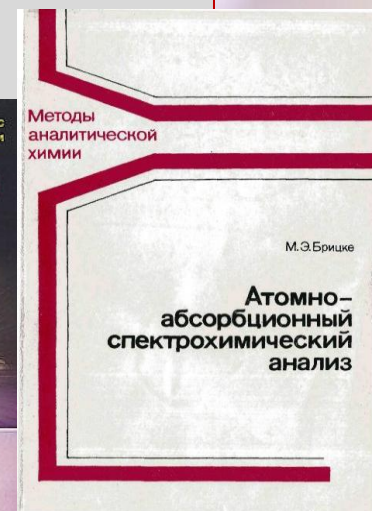
ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



Company. multi N/C sup/sup 2100/2100 S.
Приборы для проведения атомно
абсорбционного анализа в режиме
пламенной фотометрии

Спектрометр атомно-абсорбционный А-2
с пламенной и электротермической атомизацией



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



метр — оптический прибор для измерения концентрации веществ в растворах. Действие колориметра основано на свойстве окрашенных растворов поглощать проходящий через них свет тем сильнее, чем выше в них концентрация окрашивающего вещества.

В отличие от спектрофотометра, измерения ведутся в пучке не монохроматического, а полихроматического света, формируемого светофильтром.

Применяя различные светофильтры с узкими спектральными диапазонами пропускаемого света, определяют по отдельности концентрации разных компонентов одного и того же раствора.

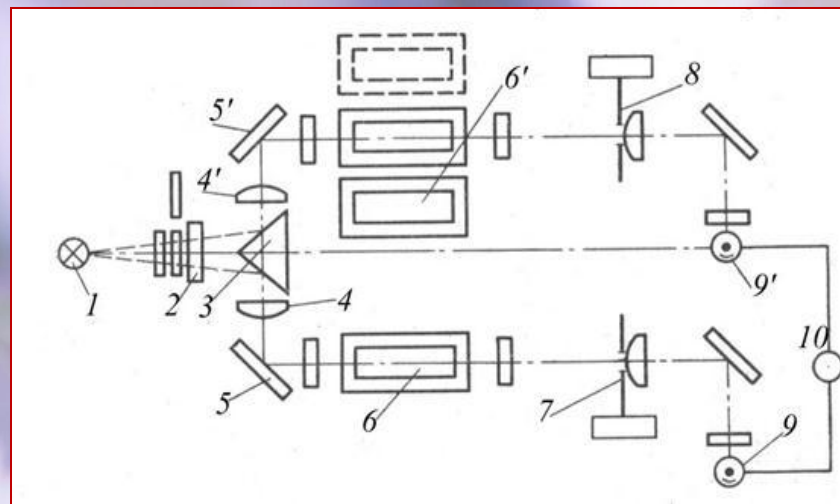
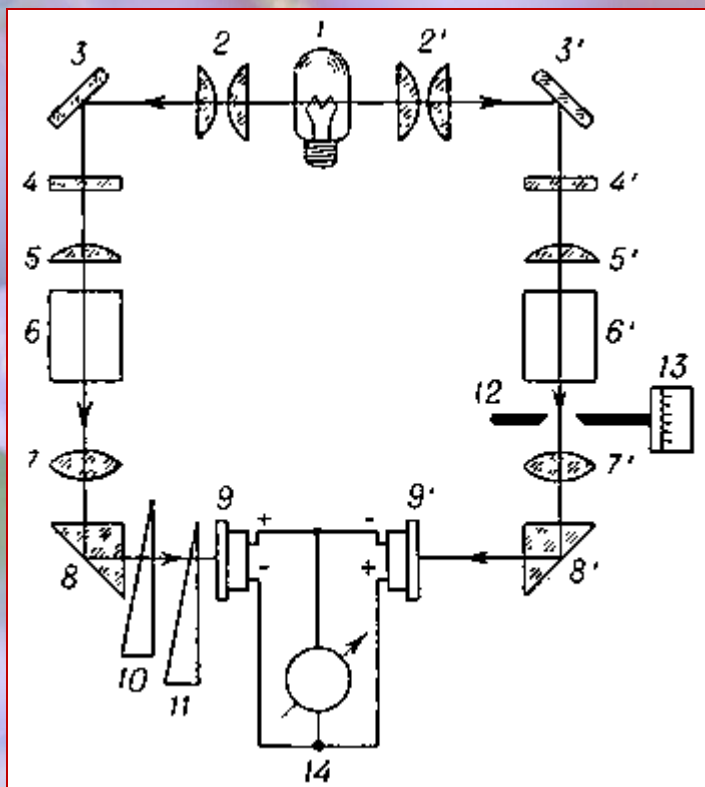
В отличие от спектрофотометров, фотоколориметры просты, недороги и при этом обеспечивают точность, достаточную для многих применений.

Нижние границы определяемых концентраций в зависимости от метода составляют от 10^{-3} до 10^{-8} моль/л.



ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Тема 5 Спектральная фотометрия



• Преодолевая трудности, смело и уверенно – к успеху!

