

Министерство здравоохранения Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Гомельский государственный медицинский университет»

## Лекция 1

# Методы атомной спектроскопии



К оптическим методам анализа относят физико-химические методы, основанные на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом. Это взаимодействие сопровождается явлениями, из которых наиболее важны испускание, поглощение и рассеяние излучения. Возникающие при этом сигналы несут качественную и количественную информацию о веществе. Частота сигнала отражает специфические свойства вещества, его природу, а интенсивность сигнала связана с количеством анализируемого соединения.

Оптические методы включают в себя большую группу спектральных методов анализа. Для наблюдения и исследования получаемых сигналов используются различные физические закономерности. Благодаря этому методы спектроскопии позволяют получать детальную информацию о составе, строении и количественном содержании исследуемых веществ.

# Характеристики электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение имеет двойственную природу. В одних проявлениях ведет себя как физическое поле с непрерывными свойствами (преломление, интерференция, дифракция, отражение, рассеяние), которые описываются на основе волновой природы излучения. В других случаях электромагнитное излучение проявляет себя как поток дискретных частиц (квантов), и такие явления, как испускание и поглощение атомами и молекулами, описываются на основе корпускулярной природы излучения.

К волновым характеристикам излучения относятся **частота колебаний, длина волны и волновое число**, к квантовым - **энергия квантов**.

**Частота  $\nu$**  показывает число колебаний электрического поля в 1 с, измеряется в герцах ( $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$ ). Частота определяется источником излучения.

**Длина волны  $\lambda$**  показывает наименьшее расстояние между точками, колеблющимися в одинаковых фазах. Это линейная величина, в единицах СИ измеряется в метрах (м) и его долях.

**Волновое число  $\nu$**  показывает число волн, приходящихся на 1 см. Если длина волны выражена в сантиметрах (см), то  $\nu = \lambda \text{ (см}^{-1}\text{)}$ .

**Энергия электромагнитного излучения  $E$**  зависит от частоты излучения и определяется соотношением  $E = h\nu$ , где  $h$  - постоянная Планка, равная  $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ .

При прохождении излучения через прозрачный слой твердого тела, жидкости или газа происходит селективное поглощение излучения с определенными частотами. Электромагнитная энергия в этом случае передается атомам или молекулам вещества и переводит поглощающие частицы из нормального состояния, или основного, в возбужденное.

Так же, как и атом, молекула может существовать только в определенных энергетических состояниях, называемых энергетическими уровнями (орбиталями). Каждому электронному состоянию соответствуют колебательные уровни, а каждому колебательному уровню - вращательные. Любой уровень, помимо главного, побочного, магнитного и спинового, характеризуется колебательным и вращательным квантовыми числами.

Переходы между колебательными уровнями в пределах одного электронного состояния отвечают меньшим энергиям (0,4-15 кДж/моль, излучение в ИК-области), переходы между вращательными уровнями характеризуются еще меньшей энергией (0,010,4 кДж/моль, излучение в далекой инфракрасной и микроволновой областях).

В спектроскопии, как отмечалось выше, чаще используют возбуждение молекулы под действием электромагнитного поля. При этом молекула поглощает фотоны с энергией, равной разности энергий ее орбиталей. Совокупность всех поглощенных частот составляет спектр поглощения молекулы (молекулярный абсорбционный спектр). Поглощение электромагнитного излучения веществом  $M$  можно представить как двухступенчатый процесс, первая ступень которого выражается следующим образом:

$M + h\nu \rightarrow M^*$ , где  $M$  - атом или молекула в возбужденном состоянии.

Время пребывания в возбужденном состоянии невелико ( $10^{-9} \div 10^{-8}$  с); частицы возвращаются в исходное состояние в результате какого-либо релаксационного процесса.

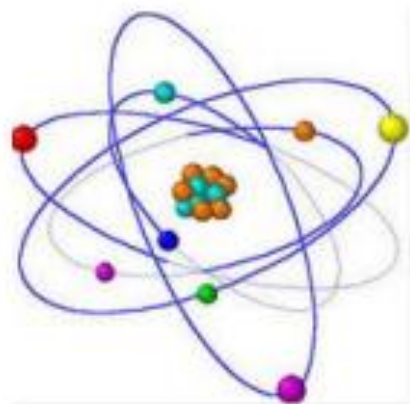
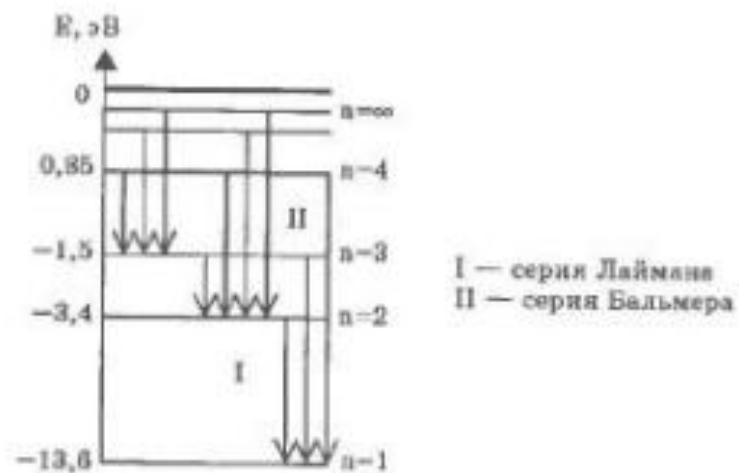
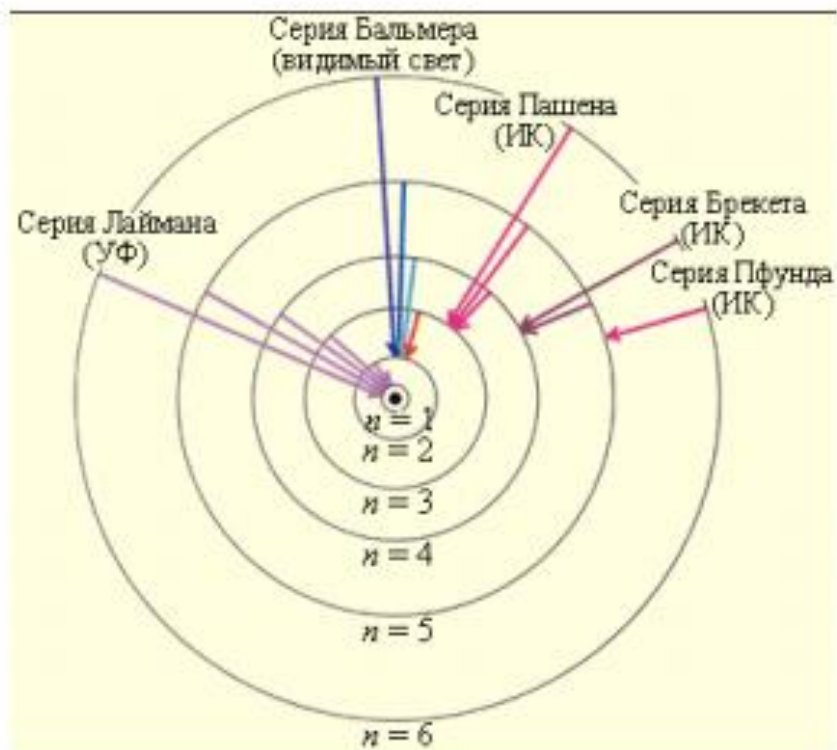
Наиболее известным видом релаксации является превращение энергии возбуждения в тепло:



Релаксация может произойти в результате разрушения  $M^*$  с образованием новых веществ - фотохимическая реакция, а также при переходе в невозбужденное состояние с выделением фотона – флуоресценция и фосфоресценция. Эти процессы объединяют под общим названием люминесценция:



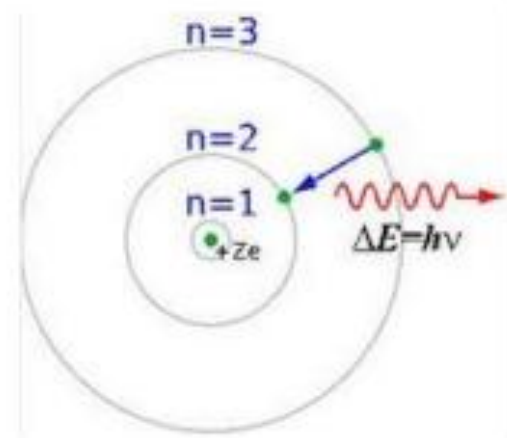
Возбуждение молекул другими видами энергии, например в плазме, не применяют, так как большинство веществ в этих условиях разлагается.



Частота электромагнитной волны перехода

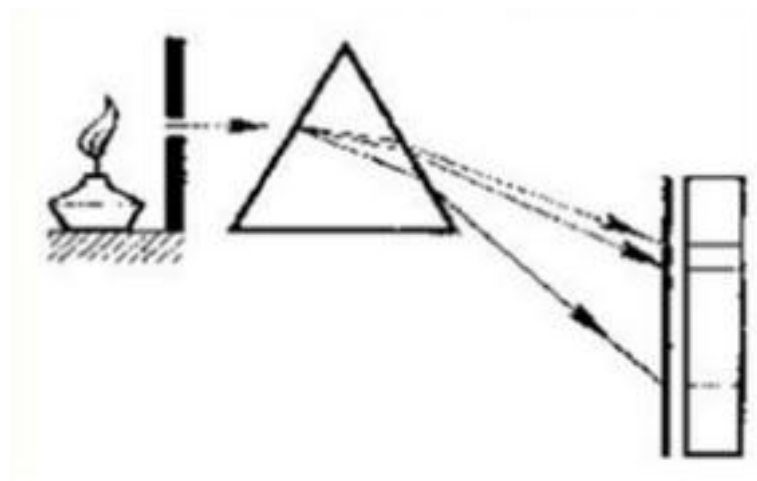
$$\nu_{ml} = \frac{E_m - E_l}{h}$$

где  $h$  – постоянная Планка

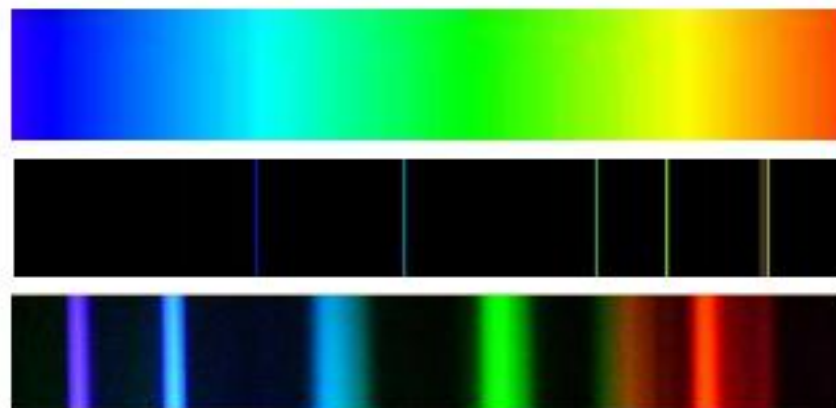




- Спектры испускания
- Спектры поглощения
- Спектры пропускания
- Спектры отражения  
определяют видимые свойства  
объекта (яркость, цветовой тон)



- Сплошной спектр
- Линейчатый спектр
- Полосовой/полосатый спектр



# Классификация методов спектроскопии

Спектроскопические методы подразделяют на *атомные и молекулярные* в зависимости от того, какие частицы формируют аналитический сигнал. Методы, основанные на излучении низких энергий (сопоставимых с энергиями химических связей или меньше их), являются методами молекулярного анализа. Методы же, использующие излучение высоких энергий, относятся к атомным (элементным).

## Атомная спектроскопия

Методы анализа, использующие излучение оптического диапазона, относят к оптической спектроскопии. Общим для них является необходимость предварительной атомизации пробы.

***Атомно-эмиссионная спектроскопия (АЭС)*** основана на испускании излучения атомами, возбужденными кинетической энергией плазмы, дугового или искрового разряда.

***Атомно-флуоресцентная спектроскопия (АФС)*** использует испускание излучения атомами, возбужденными электромагнитным излучением от внешнего источника.

***Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС)*** основана на поглощении невозбужденными атомами излучения от внешнего источника.

***Рентгеновская спектроскопия*** основана на возбуждении внутренних электронов молекул, при этом не требуется предварительной атомизации пробы. Различают рентгено-эмиссионный спектральный анализ (РЭС), рентгено-флуоресцентный (РФС) и рентгено-абсорбционный (РАС) методы.

*Электронная спектроскопия* - рентгено-фотоэлектронный (РФЭС) и оже-электронный (ОЭС) методы основаны на испускании электронов с поверхности образца под воздействием пучка рентгеновского излучения или электронов.

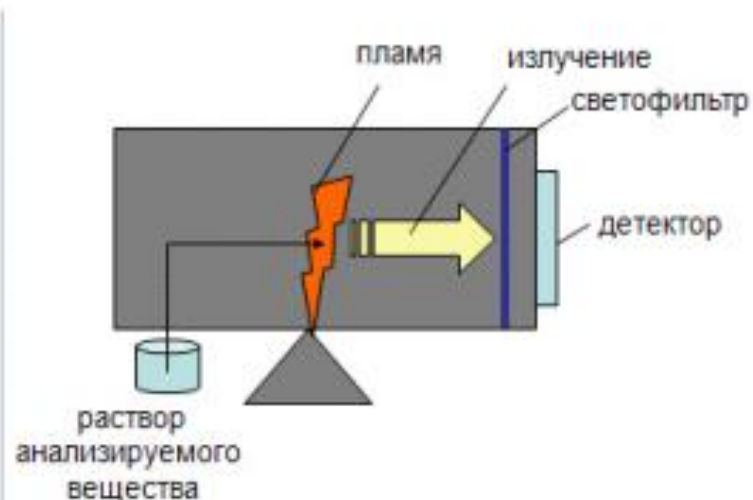
РФЭС и ОЭС занимают особое место в современной аналитической химии, они позволяют проводить неразрушающий качественный и количественный элементный и фазовый анализ поверхности твердого тела.

Для аналитических целей наибольшее значение имеют методы оптической спектроскопии.

# Виды спектрального анализа

## • Эмиссионный

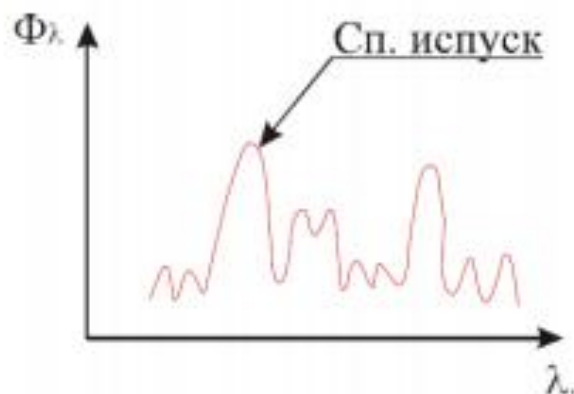
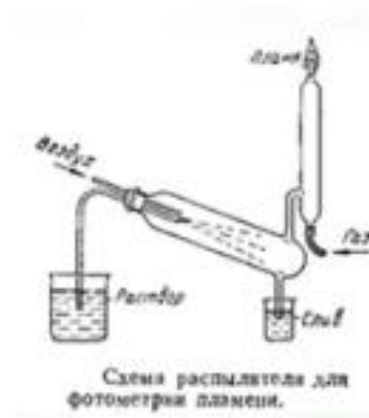
Эмиссионный спектральный анализ дает возможность определять элементный состав вещества.



Для этого вещество переводят в атомарное состояние, используя пламя (пламенно-эмиссионный метод), электрическую дугу или искру (эмиссионно-спектральный метод). Обычно раствор пробы впрыскивается в пламя.

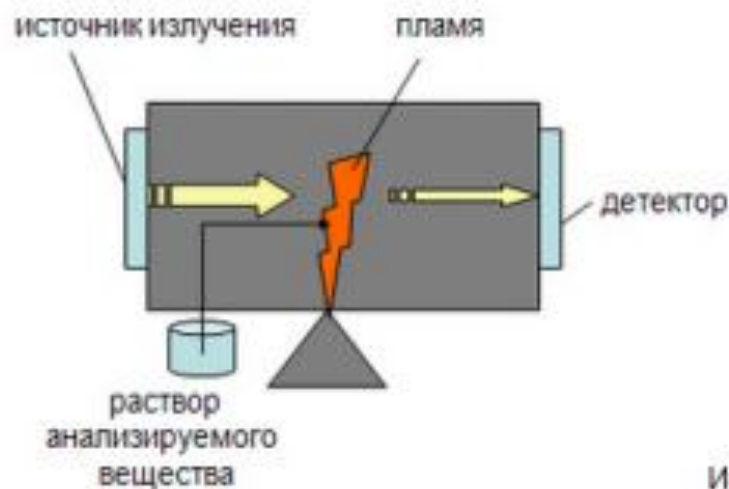
Нагретое вещество испускает электромагнитное излучение (спектр испускания), которое регистрируется детектором. Для выделения излучения определенной длины, характерной для определяемого химического элемента, используют светофильтр.

Если спектр регистрируется визуально, прибор называется спектроскоп, если на фотопластинке, - спектрограф, если с помощью фотоэлемента - спектрометр.



# Виды спектрального анализа

## • Абсорбционный



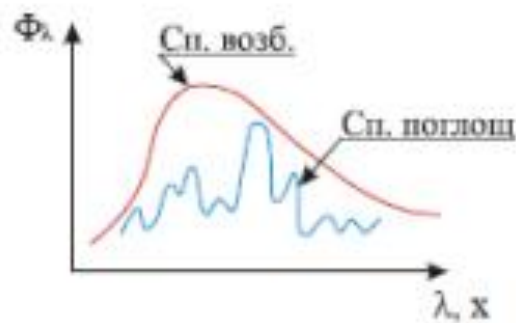
Переход в атомное состояние происходит при распылении раствора пробы в высокотемпературное пламя, которое получают при горении ацетилена в воздухе или кислороде. Температура пламени в воздухе - 1900°C, в кислороде - 3100°C.

Через пламя пропускают излучение определенной для каждого химического элемента длины волны. Для этого используют специальные лампы, испускающие очень узкий пучок света известной интенсивности. Часть излучения поглощается химическим элементом, находящимся в пламени; интенсивность прошедшего света измеряется с помощью фотоэлементов.

Интенсивность поглощенного света, согласно закону Ламберта-Бера, пропорциональна концентрации химического элемента:

$$D = \lg(I_0/I) = \epsilon C d$$

где  $D$  - измеряемый сигнал (оптическая плотность),  $\epsilon$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от природы вещества,  $d$  - толщина поглощающего слоя,  $c$  - концентрация вводимого в пламя раствора анализируемого вещества.





# Виды спектрального анализа

## • Люминесцентный

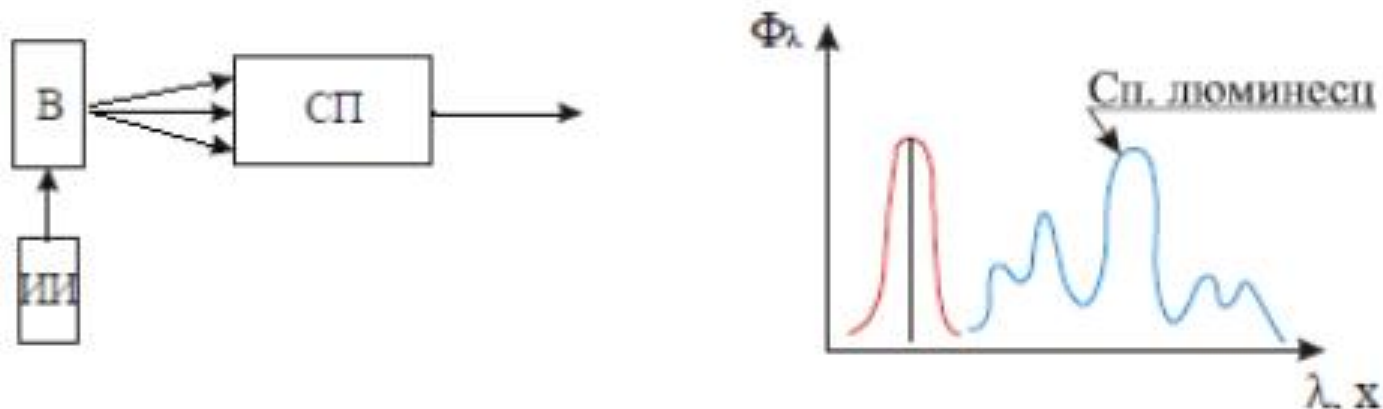
Люминесценция – это свечение не нагретого вещества, возникающее в результате поглощения им энергии извне.

Фотолюминесценция - это свечение, обусловленное поглощением светового излучения.

Длина волны излучаемого веществом света индивидуальна для каждого вещества, а интенсивность свечения пропорциональна концентрации вещества. Это используется для качественного и количественного анализа.

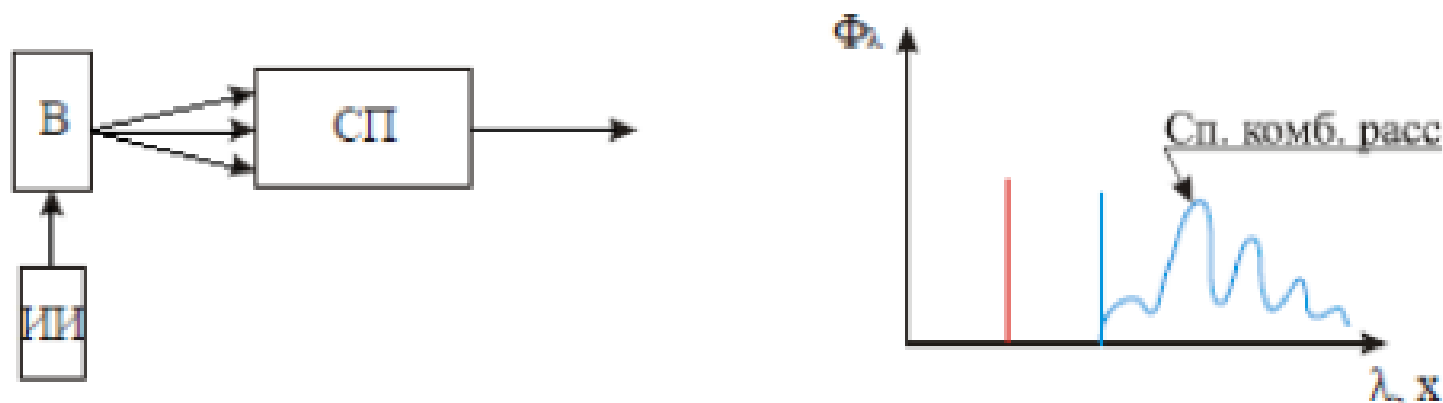
Метод используется для анализа малых концентраций ( $10^{-3}$  –  $10^{-4}$  моль/л, 10-5%). Точность метода 5-7%.

Люминесцентный метод широко используется в аналитической практике для анализа органических и биологических объектов.



# Виды спектрального анализа

- Комбинационный



В комбинационном анализе используется явление комбинационного рассеяния света. Это явление состоит в рассеянии падающего на вещество излучения с изменением длины волны этого излучения. Такое изменение объясняется тем, что при рассеянии света происходит возбуждение колебаний молекул и, таким образом, часть энергии света расходуется на возбуждение. В результате длина волны падающего на вещество излучения с узким спектром смещается в красную сторону на величину характерную для рассеивающей свет молекулы. По величине изменения длины волны можно судить о частотах собственных колебаний молекул.



# Молекулярно-спектроскопические методы

При исследовании энергетического состояния молекул веществ в зависимости от типа поглощающих частиц и способа преобразования избыточной энергии также выделяют несколько методов:

*Молекулярная абсорбционная спектроскопия.* Метод основан на поглощении световой энергии молекулами или сложными ионами.

*Нефелометрия и турбидиметрия.* Эти методы анализа основаны на измерении, соответственно, рассеянного или поглощенного света взвешенными частицами анализируемого вещества.

*Люминесцентный анализ (флуориметрия).* В основе метода - измерение излучения после возбуждения молекул светом.

*Магнитная резонансная спектроскопия.* Метод основан на получении сигналов от молекул, помещенных в магнитное поле.

*Спектроскопия диффузного отражения.* В основе метода - измерение света, отраженного твердым окрашенным образцом.

# Атомно-эмиссионная спектроскопия

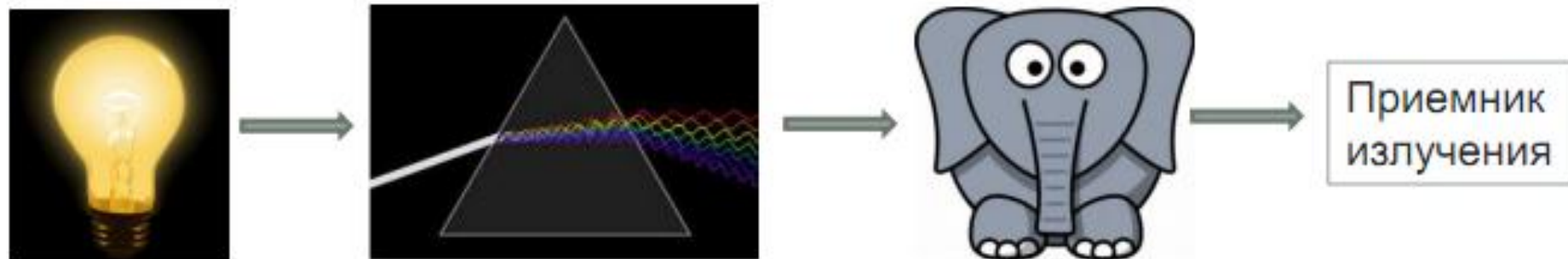
Возникновение метода атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) относят к 1860 г., основоположники метода - Кирхгоф и Бунзен. Метод основан на термическом возбуждении свободных атомов или одноатомных ионов и регистрации оптического спектра испускания возбужденных атомов.

**Принцип метода.** Во всех вариантах метода пробу вносят в источник возбуждения, в котором создается высокая температура. При этом последовательно происходят процессы испарения пробы, атомизации первоначальных продуктов испарения, возбуждения образовавшихся атомов, испускания света возбужденными атомами и регистрация излучения. Для качественного анализа полученный спектр сопоставляют с эталонными спектрами разных элементов. Для количественного анализа измеряют интенсивность спектральных линий.

# Основные узлы приборов в эмиссионной спектроскопии

Возникающее в ходе анализа излучение пробы фокусируют, направляют на спектральную щель прибора, где оно разлагается в спектр и регистрируется соответствующим приемником. Все приборы для спектрального анализа имеют следующие основные узлы: источник возбуждения (атомизации), диспергирующее устройство, блок регистрации излучения. Кроме основных узлов в спектральном приборе есть оптическая система, предназначенная для получения параллельного пучка света, его фокусировки, изменения направления хода лучей и т. д. Разные варианты АЭС различаются по способу возбуждения и по способу регистрации спектра.

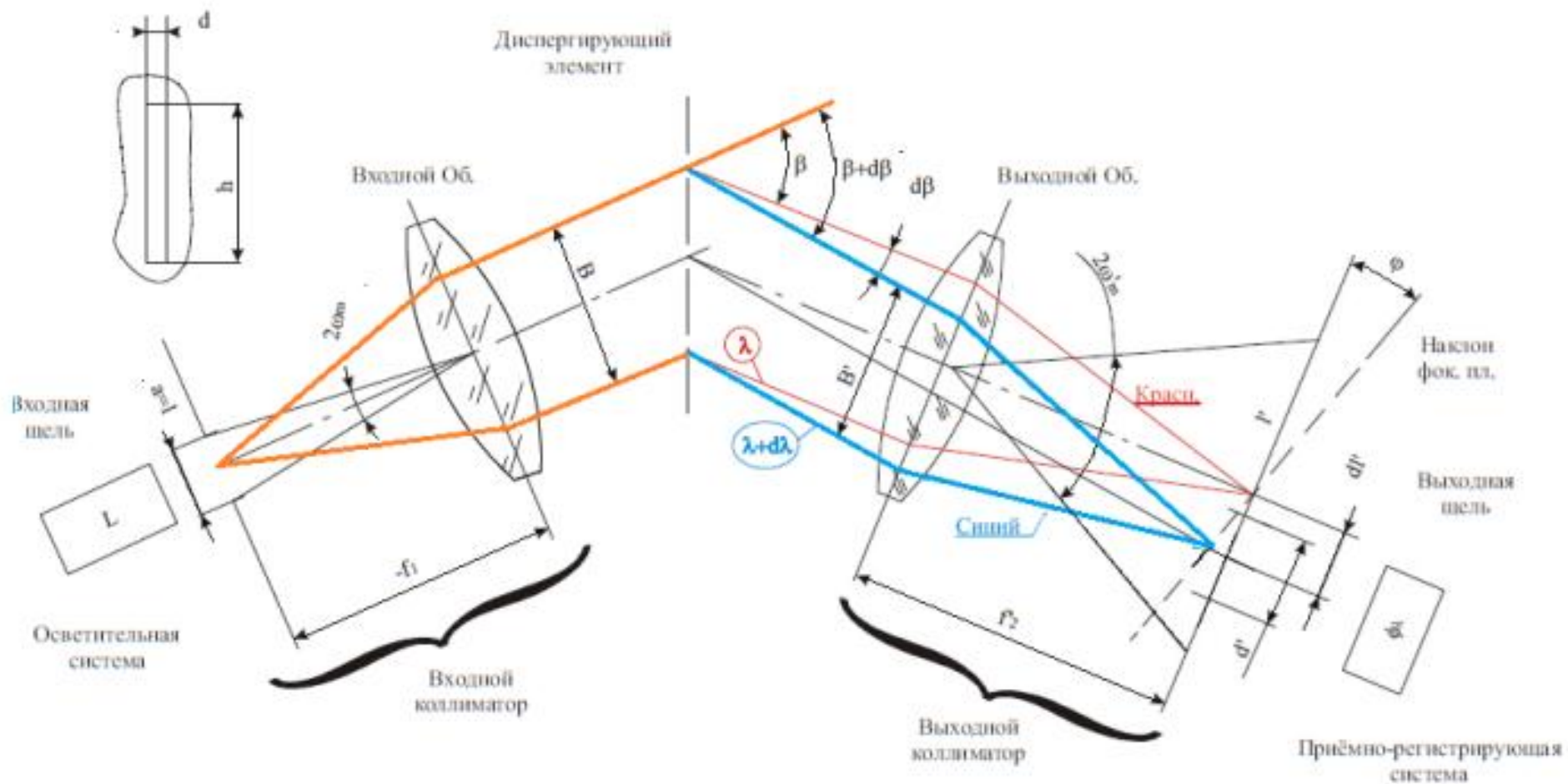
# Структурная схема спектрального прибора



# Спектральный прибор

1. По способу регистрации спектра
  - Визуальные (спектроскопы)
  - Фотографические (спектрографы)
  - Фотоэлектрические (спектрофотометры, спектрометры)
2. По способу спектрального разложения излучения
  - Призменные
  - Дифракционные
  - Интерференционные
3. По рабочей области спектра
  - Вакуумные
  - Ультрафиолетовые
  - Видимые
  - Инфракрасные
4. По точности измерения
  - Качественный
  - Количественный

# Оптическая схема спектрального прибора



# Основные характеристики оптической системы спектрального прибора

- Рабочая область прибора
- Дисперсия
- Предел разрешения
- Разрешающая способность
- Увеличение
- Поле зрения
- Светосила
- Коэффициент пропускания

## **Источники атомизации и возбуждения**

Атомизация и возбуждение происходят в атомизаторе одновременно. В качестве источников возбуждения применяют пламя, электрическую дугу, искру и самый современный источник возбуждения - индуктивно-связанную плазму (ИСП, ISP).

**Пламя.** Раствор пробы распыляется в пламя, и возникающее излучение термически возбужденных атомов можно измерить непосредственно. Температура пламени зависит от состава горючей смеси. Так, пламя обычной газовой горелки дает температуру около 900 °С, при этом возбуждаются лишь атомы наиболее легко возбудимых элементов - щелочных и щелочноземельных металлов. Смесь водорода с воздухом обеспечивает температуру около 2100 °С, водорода с кислородом - 2800 °С, ацетилен с кислородом - 3000 °С, что позволяет определять Mn, Tl, Cu, Pb, Cr и др. (всего порядка 40 элементов). Вариант АЭС с использованием пламени называют пламенной фотометрией. Метод широко используют при анализе природных вод, почв, растительных объектов, пищевых продуктов, фармацевтических препаратов.



## Дуга

Дуговой электрический разряд позволяет достичь более высоких температур - до 5000-6000 °С. Разряд возникает в промежутке (до 1 см) между двумя электродами. Обычно используются электроды из спектрально чистого графита. В этом случае порошкообразную пробу помещают в углубление нижнего электрода, верхний электрод представляет собой заточенный стержень из железа или графита. При горении дуги электроды раскаляются, проба испаряется и возбуждается в плазме дуги. В дуге удастся получить спектр почти всех элементов. Дуговые спектры применяют для качественного и полуколичественного анализа.

## Искра

Для получения искры используют специальные искровые генераторы. При горении искры развивается температура 7000-12000 °С, и происходит возбуждение всех элементов. Длительность искрового разряда мала, поэтому за время разряда успевает испариться малое количество вещества. За счет этого снижается чувствительность определения по сравнению с дуговым методом, но отсутствие фона обеспечивает большую точность результатов. Искровой разряд практически не разрушает исследуемый образец, что выгодно отличает искру от дуги. Это нашло свое применение в криминалистике. Искровой разряд позволяет проводить локальный анализ поверхности металлов и сплавов (микроспектральный анализ).

## **Индуктивно связанная плазма.**

Плазменная горелка состоит из трех concentрических кварцевых трубок, непрерывно продуваемых аргоном. По центральной трубке подается проба в виде аэрозоля, средняя трубка нужна для создания плазменного потока, а внешний поток аргона охлаждает и стабилизирует плазму. Горелка находится внутри индукционной катушки, подсоединенной к радиочастотному генератору. Плазма возникает за счет искрового разряда. При этом аргон частично ионизируется, затем в электропроводящем газе индуцируется высокочастотный ток, вызывающий дальнейшую лавинообразную ионизацию газа. Температура в плазме составляет 5000-10000 °С. В плазме происходит высушивание пробы, атомизация, ионизация и возбуждение образующихся атомов и ионов. Достоинствами ИСП являются высокая долговременная стабильность и воспроизводимость условий возбуждения; самопоглощение в ИСП ничтожно мало. Недостатками метода являются необходимость переведения проб в раствор и высокая стоимость оборудования.

## Диспергирующий элемент

Диспергирующий элемент разлагает излучение в спектр. Это важная часть спектрального прибора, в значительной степени определяющая его аналитические возможности и разрешающую способность (способность давать раздельное изображение двух спектральных линий с близкими длинами волн). В качестве диспергирующего элемента используют *призмы, дифракционные решетки и интерференционные устройства*. Последние применяются реже.

Призмы для спектральных приборов изготавливают из стекла или кварца. Для работы в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра используют стеклянные призмы, для исследования ультрафиолетовой части спектра применяют призмы из кварца. Дифракционные решетки в качестве диспергирующего элемента имеют существенные достоинства - разрешающая способность решетки значительно выше, чем призмы, спектральный интервал, доступный для исследования, достаточно широк (от 200 до 1000 нм).

# Диспергирующие элементы

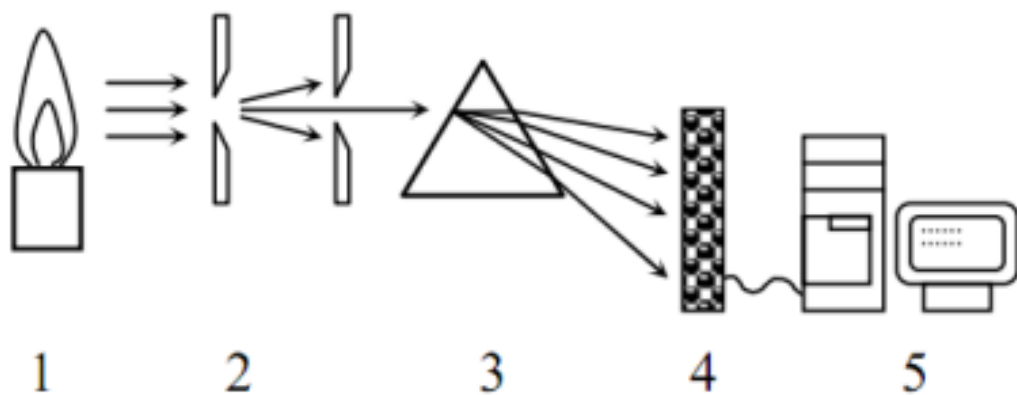
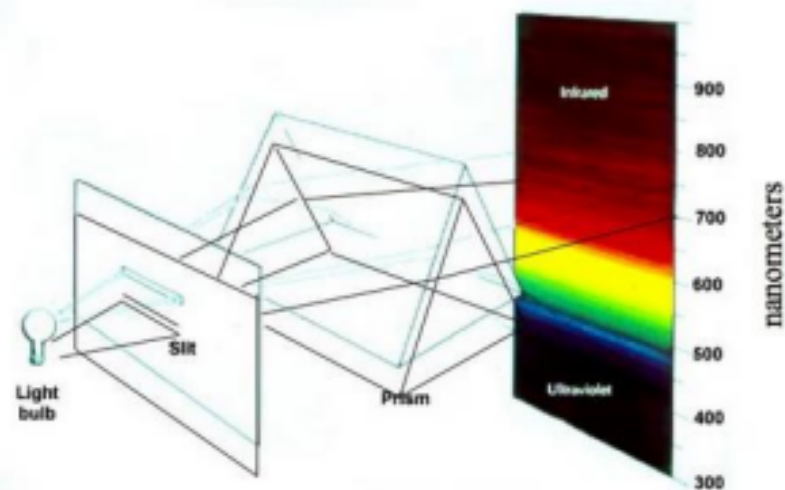
## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗМЫ

**Вид.область** — стекло (флинт, тяж.флинт)

**УФ** — кристаллический кварц, флюорит

**ИК** — фтористый литий, каменная соль

Electromagnetic spectrum

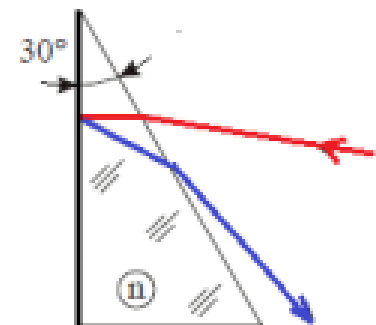
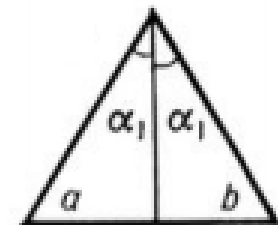
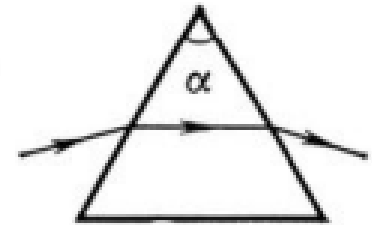


Принципиальная схема многоканального атомно-эмиссионного спектрофотометра:  
1 – горелка, 2 – входная щель, 3 – призма, 4 – диодная линейка, 5 – регистратор

# Диспергирующие элементы

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗМЫ

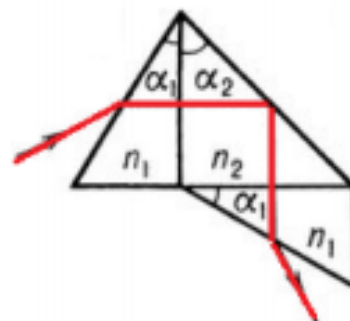
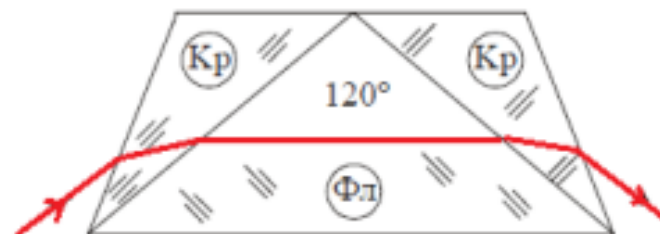
- Простая трехгранная призма с преломляющим углом  $\alpha = 60^\circ$
- Призма Корню (кварц)  
 $\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$
- Призма Литтрова  
(для автоколлимационных схем)



# Диспергирующие элементы

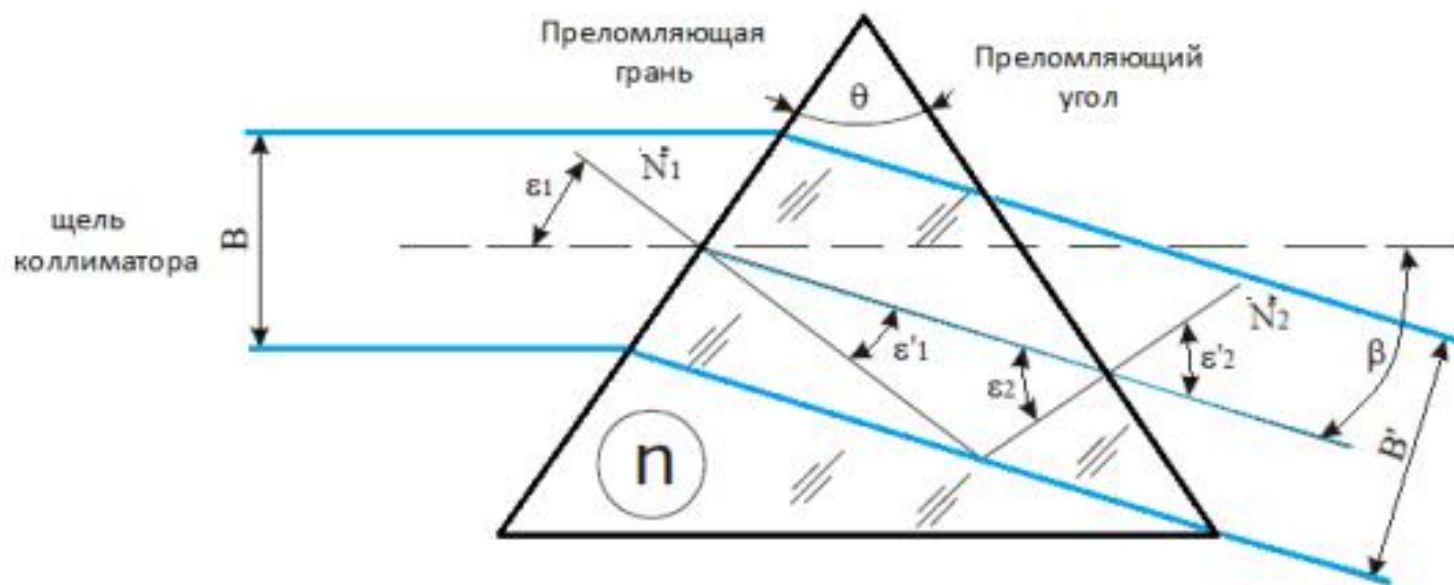
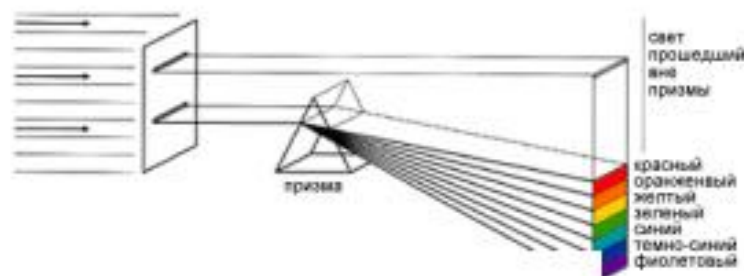
## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗМЫ

- Призма Резерфорда-Броунинга
- Призма Аббе  
 $\alpha_1 = 30^\circ$ ,  $\alpha_2 = 45^\circ$
- Призма прямого видения (Амичи)  
 $\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ$



# Диспергирующие элементы

## ПРИЗМЫ

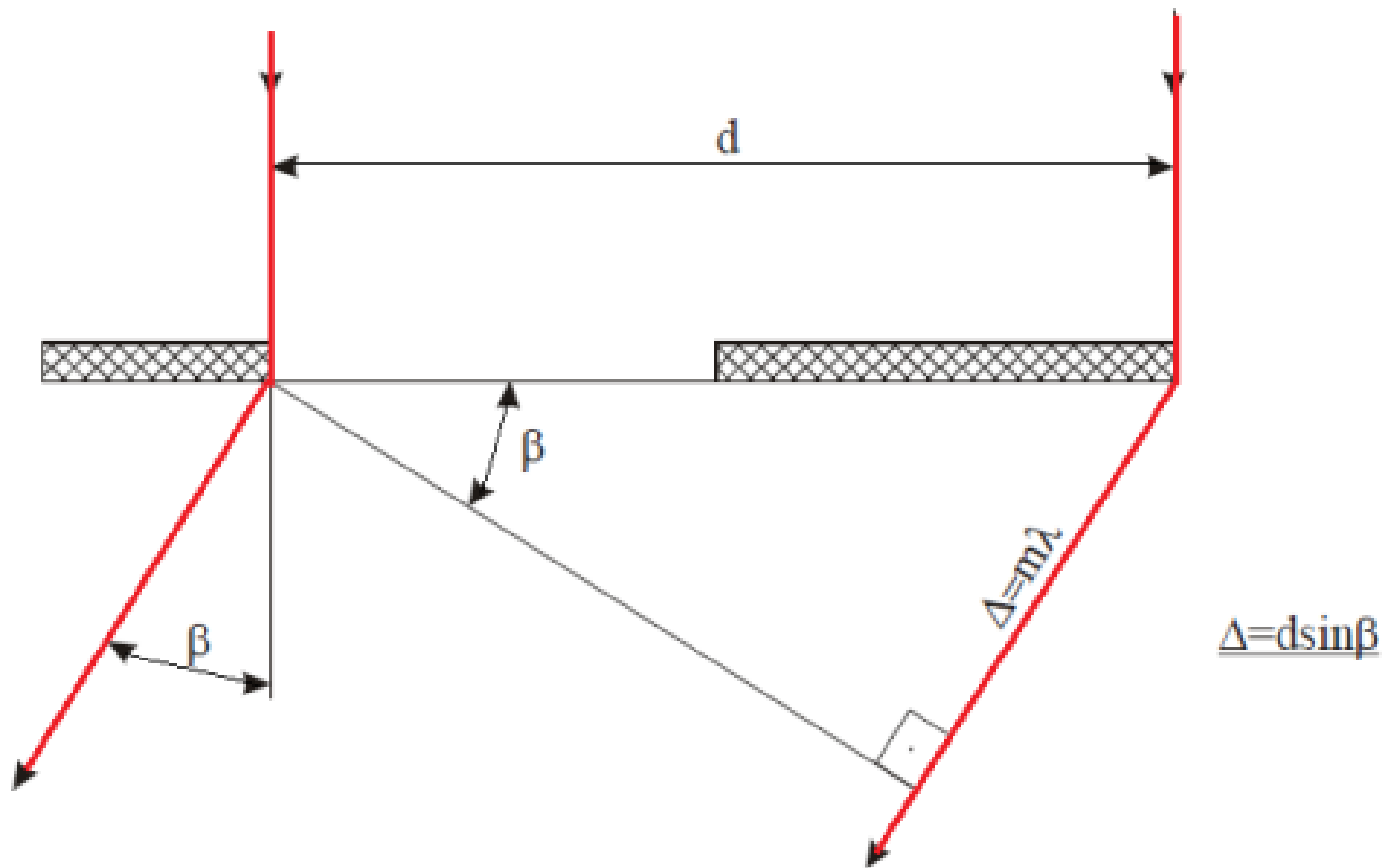


$$\beta = \varepsilon_1 + \varepsilon'_2 - \theta$$



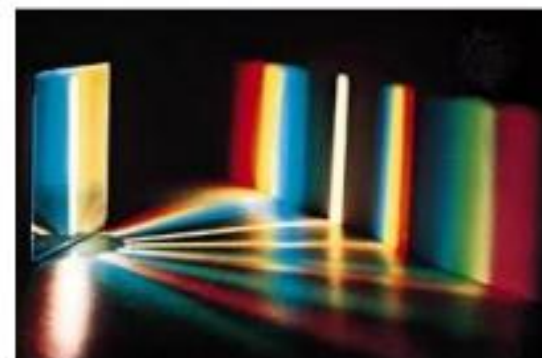
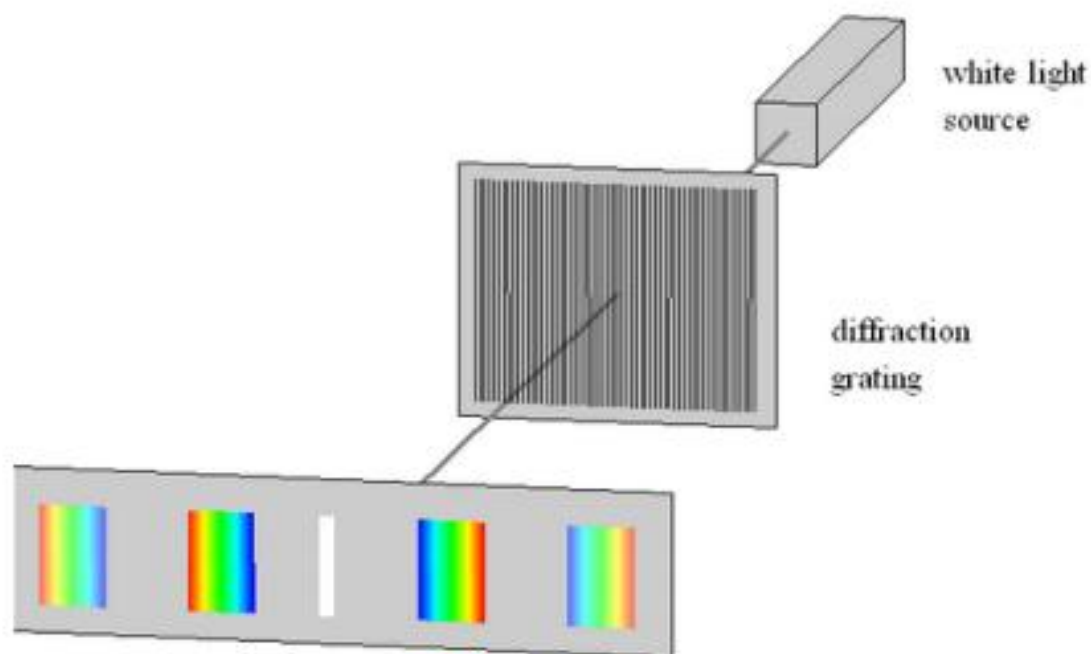
# Диспергирующие элементы

## ДИФРАКЦИОННЫЕ РЕШЕТКИ



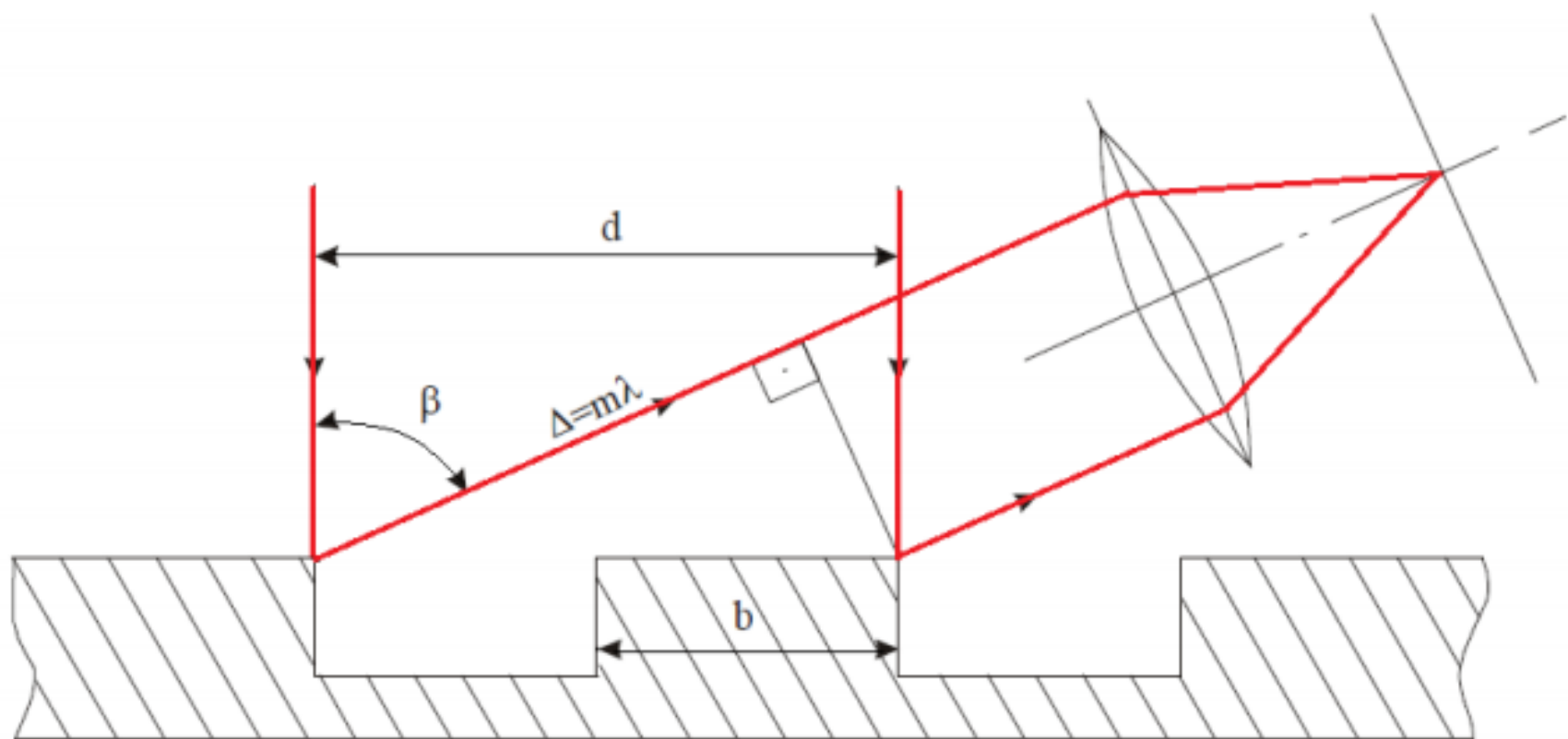
# Диспергирующие элементы

## ДИФРАКЦИОННЫЕ РЕШЕТКИ



# Диспергирующие элементы

## ДИФРАКЦИОННЫЕ РЕШЕТКИ



# Диспергирующие элементы

## ВОГНУТЫЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ РЕШЕТКИ

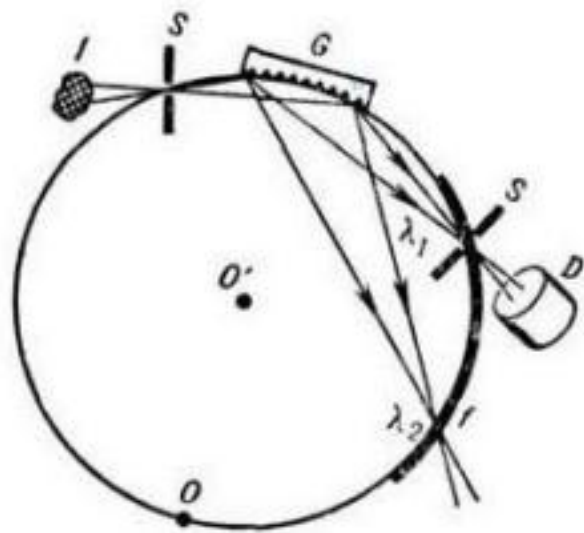
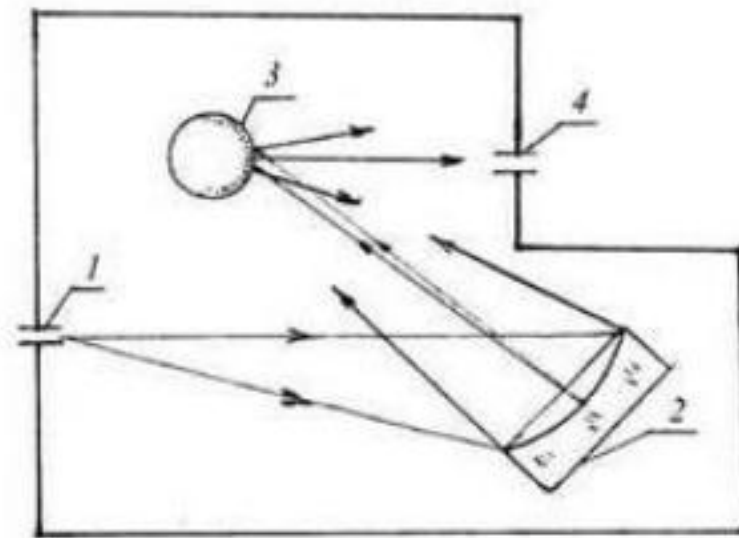


Схема рентгеновского спектрометра с вогнутой дифракционной решёткой G  
S - щель; I - источник излучения;  
f - фокальная окружность; O' - её центр; O - центр вогнутой дифракционной решётки; D - детектор;  $l_1, l_2$  - дисперсионные лучи ( $l_2 > l_1$ ).



1 - входная щель; 2 - вогнутая дифракционная решетка;  
3 - цилиндрическое зеркало; 4 - выходная щель

# Регистрация спектров

Существует три способа регистрации спектров - визуальный, фотографический и фотоэлектрический.

**Визуальный способ.** Глаз человека чувствителен к свету в области спектра примерно 400-760 нм и может установить равенство или неравенство интенсивностей световых потоков одного цвета. В приборах для визуального анализа - *стилоскопах* - можно с помощью призмы выводить в спектральную щель какую-либо линию спектра пробы и сравнивать на глаз с интенсивностью линии элемента-стандарта. Отыскав совпадающие по интенсивности линии и зная содержание элемента в стандартном образце, оценивают содержание элемента в пробе.

**Фотографический способ.** Более универсальной является фотографическая (фотохимическая) регистрация спектров. После разложения излучения пробы по длинам волн оно направляется на фотопластинку. При освещении кристаллы бромида серебра в светочувствительном слое фотопластинки превращаются в металлическое серебро, и фотопластинка чернеет. После проявления и закрепления на фотопластинке остается изображение спектра в виде спектральных линий одинаковой высоты, но с разной степенью почернения, которая определяется интенсивностью светового потока. По сути дела - это фотографии входной щели спектрального прибора, полученные при длинах волн, характерных для спектра излучения пробы. Одновременно регистрируются линии всех компонентов пробы. На одну фотопластинку можно последовательно сфотографировать спектры нескольких проб, размещая их друг под другом. Для идентификации линий в спектре проб его сравнивают с хорошо изученным спектром элемента (чаще всего - железа), длины волн в котором хорошо известны.

**Фотоэлектрическая регистрация.** Детекторами для фотоэлектрической регистрации служат *фотоэлементы, фотодиоды, фотоумножители* - устройства, основанные на применении фотоэффекта и преобразующие световой поток в электрический сигнал. Затем электрический сигнал усиливается и поступает на самописец. В *одноканальных спектрометрах* имеется одна выходная щель и один фотоэлемент (фотоумножитель). Чтобы зарегистрировать весь спектр, надо поочередно направлять на выходную щель свет с разными длинами волн. *Многоканальные спектрометры* (квантометры) более удобны в работе: позволяют одновременно измерять излучение 24-х длин волн, соответствующих разным элементам.

В самых современных квантометрах излучение пробы после его разложения в спектр попадает на так называемую *диодную линейку*, на которой последовательно расположены тысячи микроприемников. Линейка позволяет принимать излучение на участке спектра шириной в десятки и сотни нанометров, при этом регистрируется спектр пробы в целом.

## **Качественный анализ**

Качественный спектральный анализ основан на способности каждого химического элемента излучать характерный линейчатый спектр.

Качественный анализ методом АЭС позволяет определять более 80 элементов. Предел обнаружения составляет от 10 (Hg, Os, U и др.) до  $10^{-5}$  % (Na, B, Вi и др.). Следует отметить, что отсутствие линии какого-либо элемента в пробе может означать, что концентрация его в пробе меньше предела обнаружения.

## **Количественный анализ**

Интенсивность излучения в АЭС определяется концентрацией возбужденных атомов в плазме. Для количественного определения элементов в методе АЭС используют метод градуировочного графика (особый вариант его - метод трех эталонов, когда для построения графика используют три стандартных образца), метод добавок и метод сравнения со стандартом.



# Молекулярная абсорбционная спектроскопия

Молекулярный абсорбционный анализ можно классифицировать в соответствии с участком электромагнитного спектра, используемого для облучения анализируемого вещества. В этом случае название метода соответствует названию области спектра.

***Ультрафиолетовая спектроскопия (УФ-спектроскопия).***

Для облучения используется ультрафиолетовое излучение,  $\lambda = 200-400$  нм.

***Спектроскопия видимой области.*** Используется видимая часть спектра с набором длин волн: 400-780 нм.

***Инфракрасная спектроскопия (ИК-спектроскопия).*** Для облучения анализируемого вещества используется инфракрасная область спектра.

Метод молекулярной абсорбционной спектроскопии в УФ- и видимой областях спектра обычно называют **спектрофотометрией**. В зависимости от типа абсорбционных спектральных приборов различают **фотометрический** и **спектрофотометрический** методы.

## Источники излучения

Все используемые в оптической спектроскопии источники излучения являются излучателями непрерывного спектра: это вольфрамовые лампы накаливания, газонаполненные лампы (водородная, ртутная), штифт Нернста и глобар.

В лампе накаливания светящаяся вольфрамовая спираль дает свет в широком спектральном интервале, однако стекло пропускает свет с длинами волн 350-1000 нм, т. е. ближний ультрафиолет, видимый свет и излучение ближней ИК-области. В водородной (дейтериевой, ксено-новой) лампе происходит свечение газа при разряде; возникает сплошное излучение в области 200-350 нм.

Штифт Нернста представляет собой столбик, спрессованный из оксидов редкоземельных элементов. При накаливании путем пропускания электрического тока он дает ИК-излучение в области 1,6-2,0 или 5,6-6,0 мкм. Глобар - штифт из карборунда SiC; дает излучение в интервале 2-16 мкм также при пропускании электрического тока.

## Монохроматизация излучения

Работа с узкой полосой излучения обладает следующими преимуществами:

- ✓ возрастает вероятность подчинения поглощающей системы закону Бера;
- ✓ увеличивается селективность, поскольку вещества, поглощающие в других областях спектра, мешают в меньшей степени;
- ✓ если при выбранной длине волны поглощение велико, то при очень малом изменении концентрации наблюдается значительное изменение оптической плотности, что обуславливает высокую чувствительность.

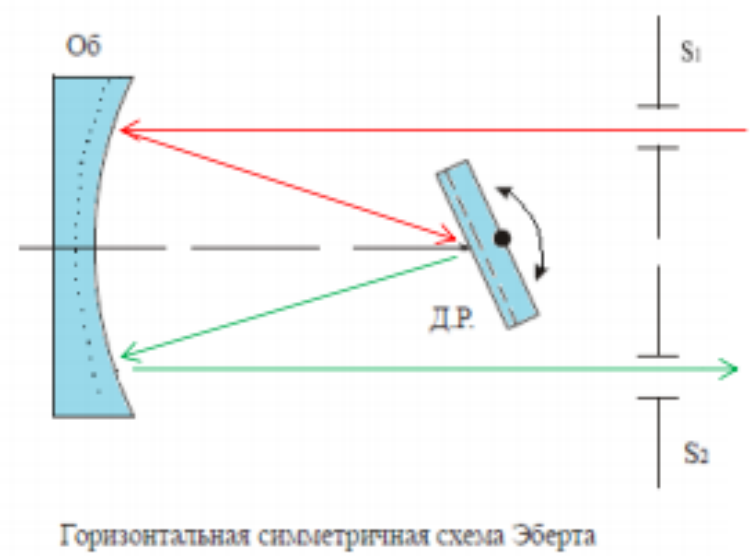
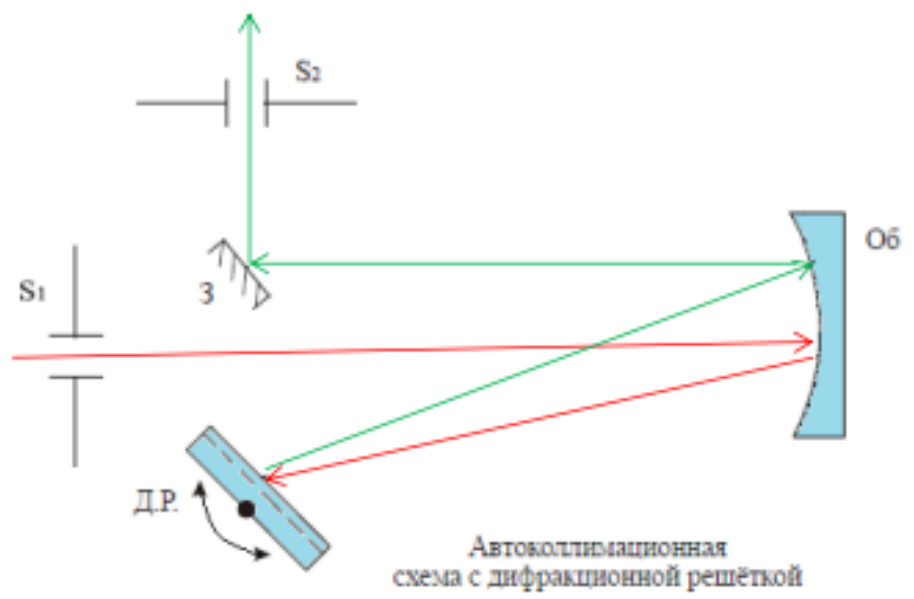
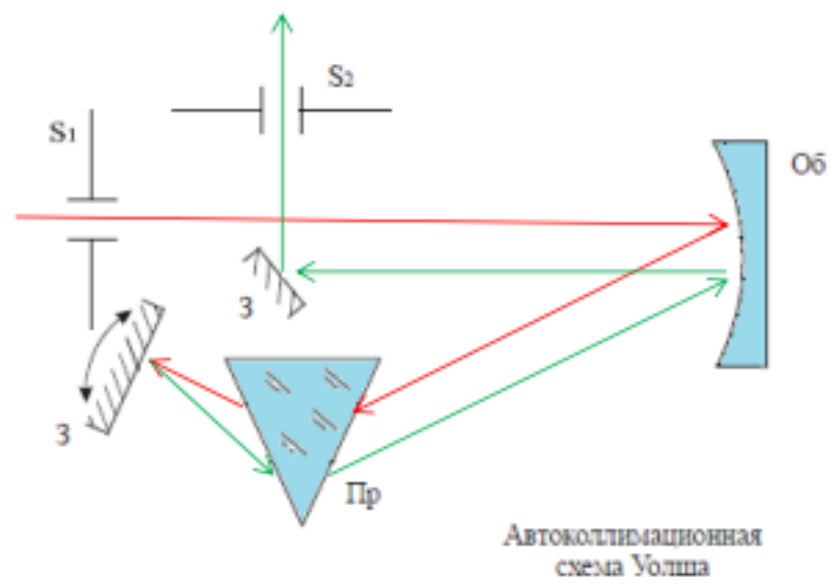
Устройства для выделения части излучения основаны на использовании различных оптических явлений: интерференции, дифракции, поглощении света, дисперсии. Выделить абсолютно монохроматическое излучение невозможно, на практике получают более или менее узкий интервал длин волн; этого достигают бездисперсионными (светофильтры) и дисперсионными (монохроматоры) способами.

**Монохроматор** - это устройство, разлагающее излучение на составляющие его волны разной длины. Все монохроматоры состоят из диспергирующего устройства и связанной с ним системы линз, зеркал, входных и выходных щелей. Диспергирующими элементами служат призмы и дифракционные решетки.

В **призменном монохроматоре** излучение проходит через входящую щель, сводится линзой в параллельный пучок и затем попадает под углом на поверхность призмы. На обеих гранях призмы происходит преломление (фиолетовый свет преломляется больше всего, красный свет - меньше всего); разложенное излучение фокусируется на слегка изогнутой поверхности, на которой расположена выходная щель. Поворотом призмы можно направить в эту щель излучение с требуемой длиной волны.

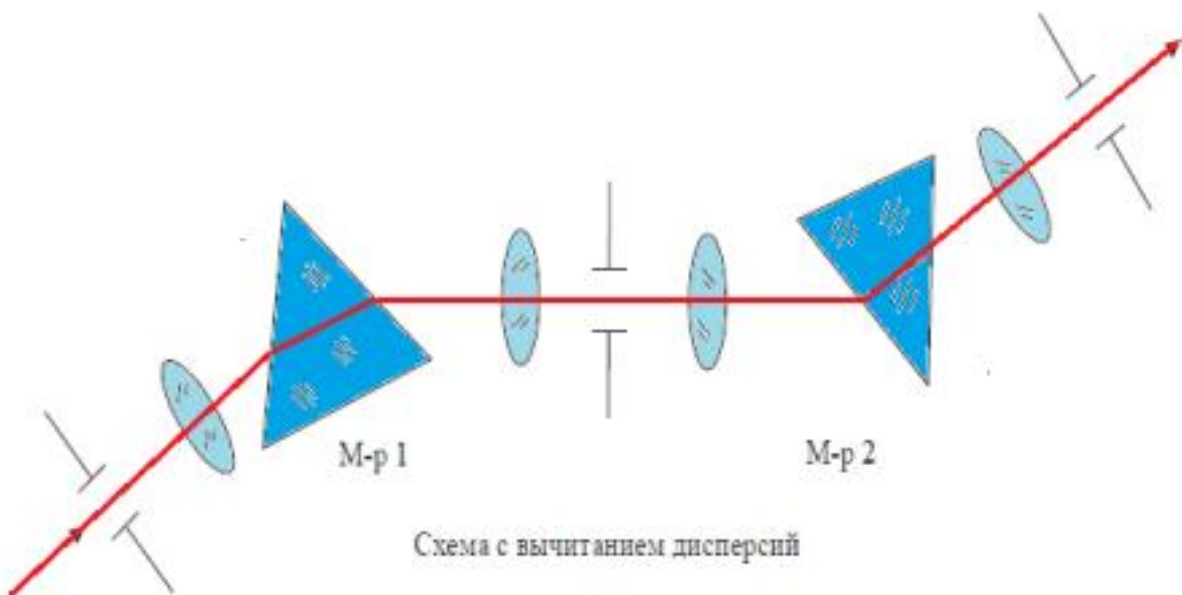
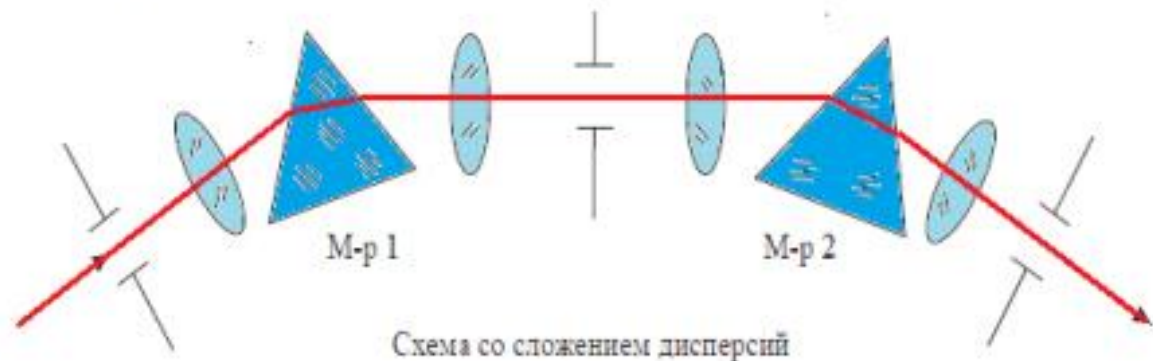
# Монохроматоры

- Автоколлимационные схемы

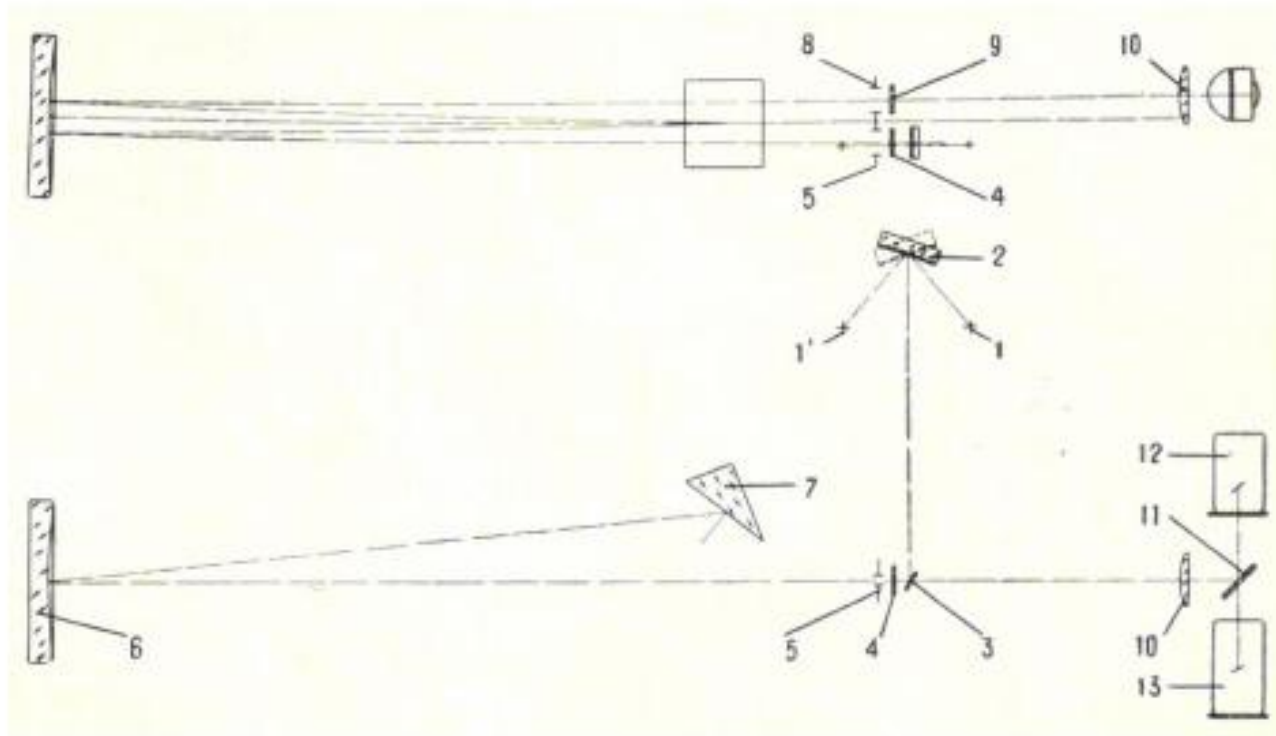


# Монохроматоры

- Схемы с двойной монохроматизацией



# Монохроматоры

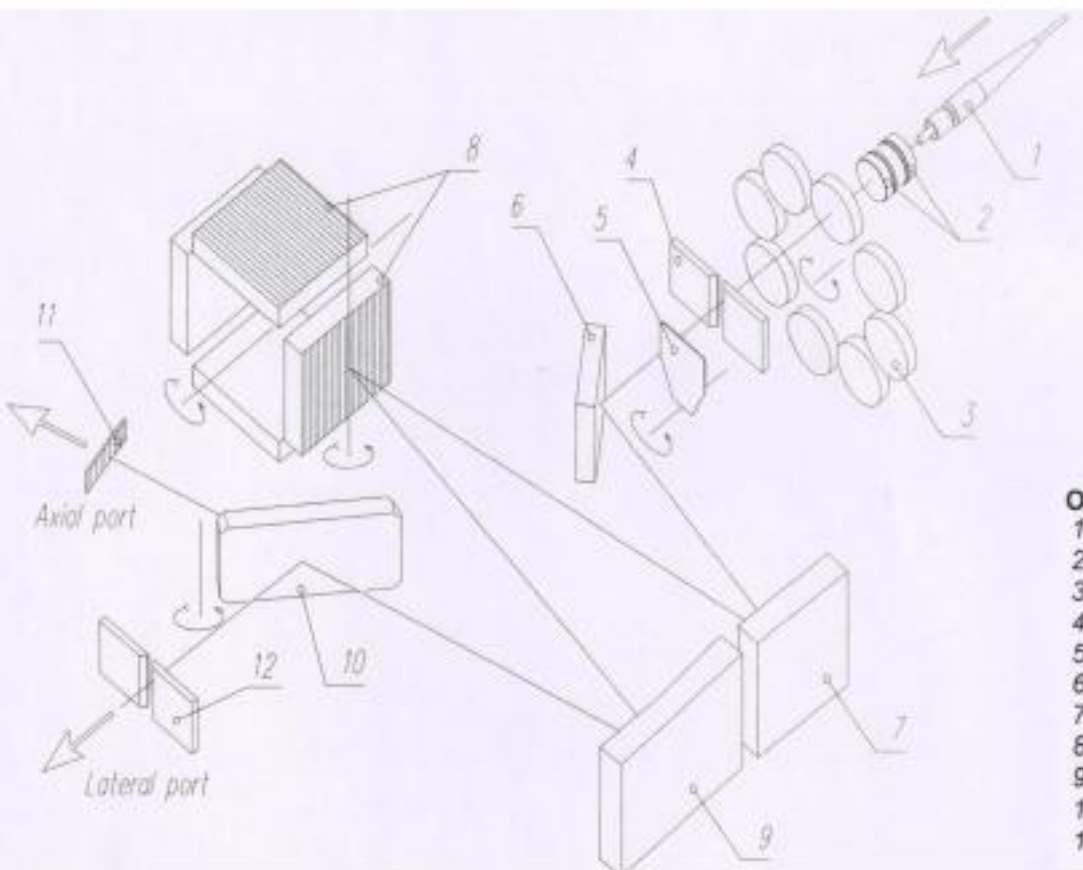


## Оптическая схема спектрофотометра СФ-26

1 – источник излучения (дейтериевая и лампа накаливания, 2 – конденсор, 3 - поворотное зеркало, 4 – объектив, 5 – входная щель, 6 – зеркальный объектив, 7 – призма, 8 – выходная щель, 9 и 10 – линзы, исследуемый объект, 11 – поворотное зеркало, 12 и 13 - фотозлемент



# Монохроматоры



**Оптическая схема монохроматора/спектрографа M266**

- 1 - оптическое волокно,
- 2 - конденсор,
- 3 - турель фильтров,
- 4 - входная щель,
- 5 - затвор,
- 6, 10 - поворотные зеркала,
- 7 - коллиматорное зеркало,
- 8 - дифракционные решетки,
- 9 - камерное зеркало,
- 11 - осевой порт,
- 12 - боковой порт.