Тема № 5

Атомная абсорбционная спектроскопия

Области электромагнитных излучений, используемых в аналитических методах

Взаимосвязь спектроскопических методов и областей электромагнитного спектра

Спектроскопические методы	Спектральная область	С какими элементами взаимодействует
ядерно-физические	0.005-1.4 Å	ядра
рентгеновские	0.1-100 Å	внутренние электроны
вакуумная УФ-спектроскопия	10-180 нм	валентные электроны
УФ-спектроскопия	180-400 нм	валентные электроны
спектроскопия в видимой области	400-780 нм	валентные электроны
ближняя ИК-спектроскопия	780-2500 нм	молекулы (колебательная энергия)
ИК-спектроскопия	4000-400 $см^{-1}$	молекулы (колебательная и вращательная энергия)
микроволновая спектроскопия	0.75-3.75 мм	молекулы(вращательная энергия)
электронный парамагнитный резонанс	~ 3 см	неспаренные электроны (в магнитном поле)
ядерный магнитный резонанс	0.6-10 м	ядерные спины (в магнитном поле)

Историческая справка

Окрашивание пламени солями щелочных металлов использовал в 1758 г. Маргграф для различения солей натрия (желтое пламя) и калия (красное пламя), даже не подозревая о причине данного явления.

Позднее проводились систематические наблюдения за солнечным светом, приведшие в 1802 Уоллстоуна к открытию черных линий в солнечном спектре. Которые впоследствии подробно изучал Фраунгофер.

Фундаментальные зависимости между атомной абсорбцией и атомной эмиссией определили физик Кирхгофф и химик Бунзен в 1860 г. Кирхгофф сформулировал общий закон, согласно которому **любая материя поглощает свет именно на той длине волны, на которой она его излучает**.

Большинство сведений о строении атомов получено на основе экспериментов с атомной спектроскопией.

Только в 1955 году атомно-абсорбционная спектрометрия была заново открыта Уолшем с коллегами и предложена в качестве универсальног метода анализа.

В 1958 профессор Б.В.Львов из Ленинграда первый начал заниматься беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопией. Но несмотря на новые знания эта методика получила своё практическое воплощение лишь спустя 10 лет.

Типы атомных спектров

При высокотемпературном воздействии на вещество возможно возникновение трех типов спектров: непрерывных полосатых и линейчатых.

Излучение с *непрерывным спектром* испускается раскаленными твердыми телами.

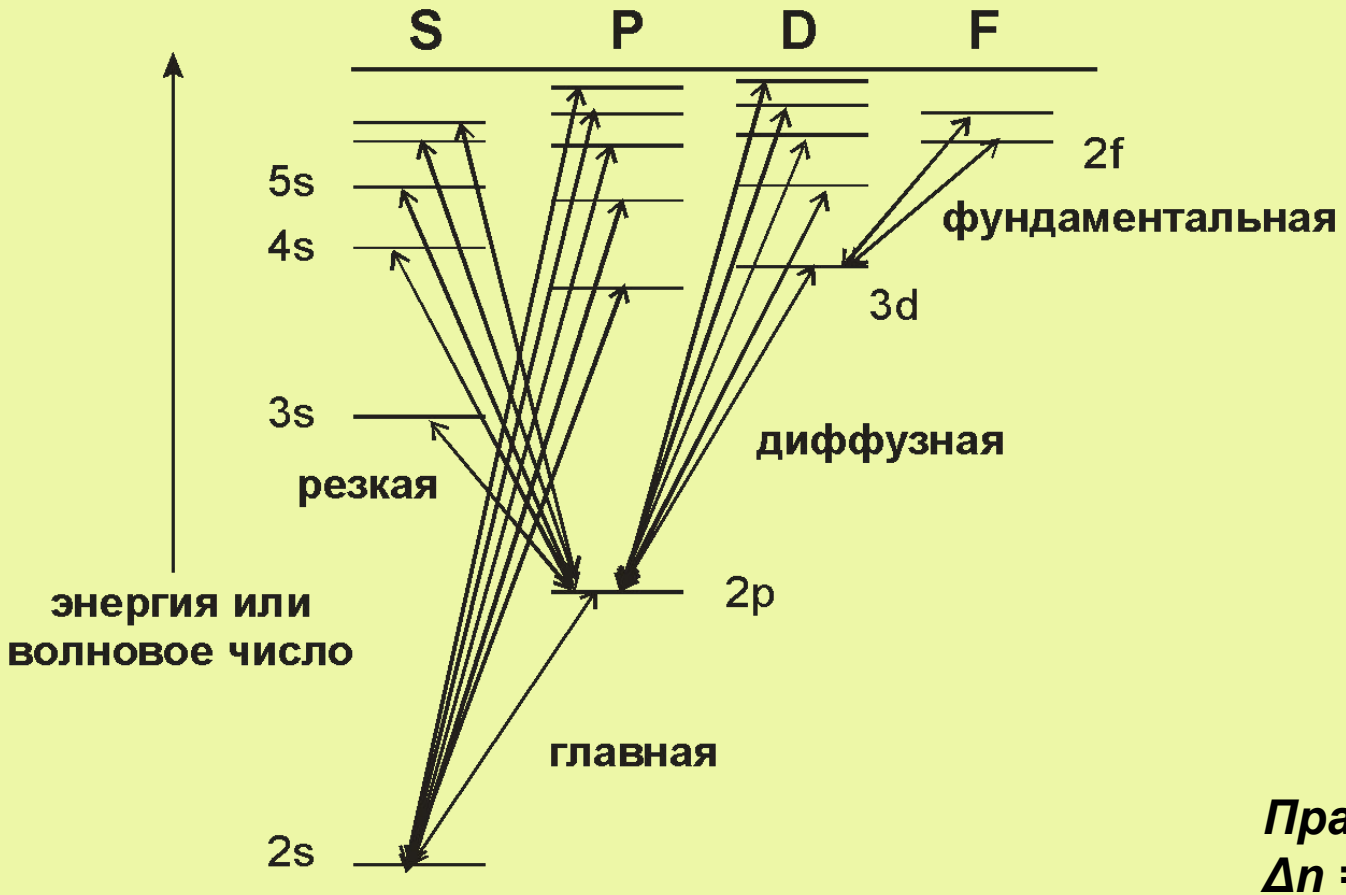
Полосатые спектры типичны для молекул, находящихся при высокой температуре. Эти спектры отражают сложные процессы, связанные с изменением электронной, колебательной и вращательной энергии молекул.

Линейчатые спектры обусловлены процессами возбуждения электронов свободными атомами и одноатомных ионов. Для объяснения линейчатой природы атомных спектров можно использовать Боровскую модель атома.

Закономерности в атомных спектрах для элементов Периодической системы подчиняются *правилу сдвига Косселя-Зоммерфельда*: спектр каждого элемента подобен спектру однократно ионизированного атома элемента, следующего за ним. Эта же закономерность распространяется и на многократно ионизированные атомы. Например, сходство в атомных спектрах в рядах :

Na, Mg^{+}, Al^{2+}, Si^{3+}, ... или
Al, Si^{+},P^{2+}, S^{3+}, ...

Схемы электронных уровней и переходы между ними (атом лития)

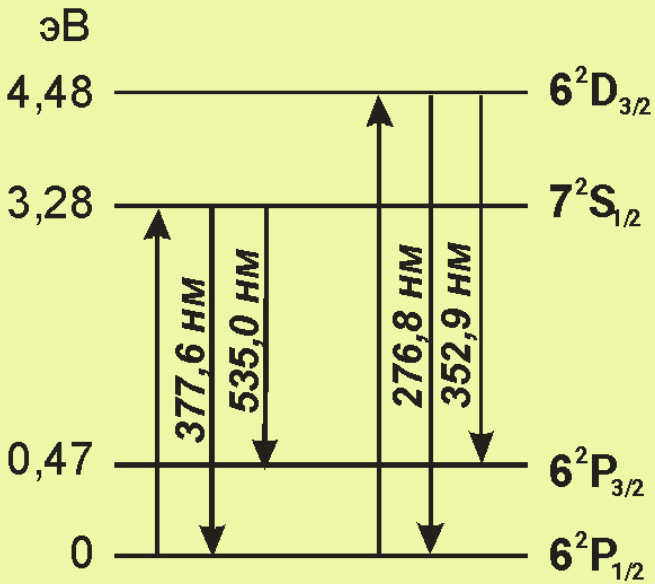


Правило отбора:
Δn = 1,2,3,..
$\Delta l = \pm 1$
$\Delta j = \pm$ 1 ил
$\Delta j = 0$ если $j \neq 0$

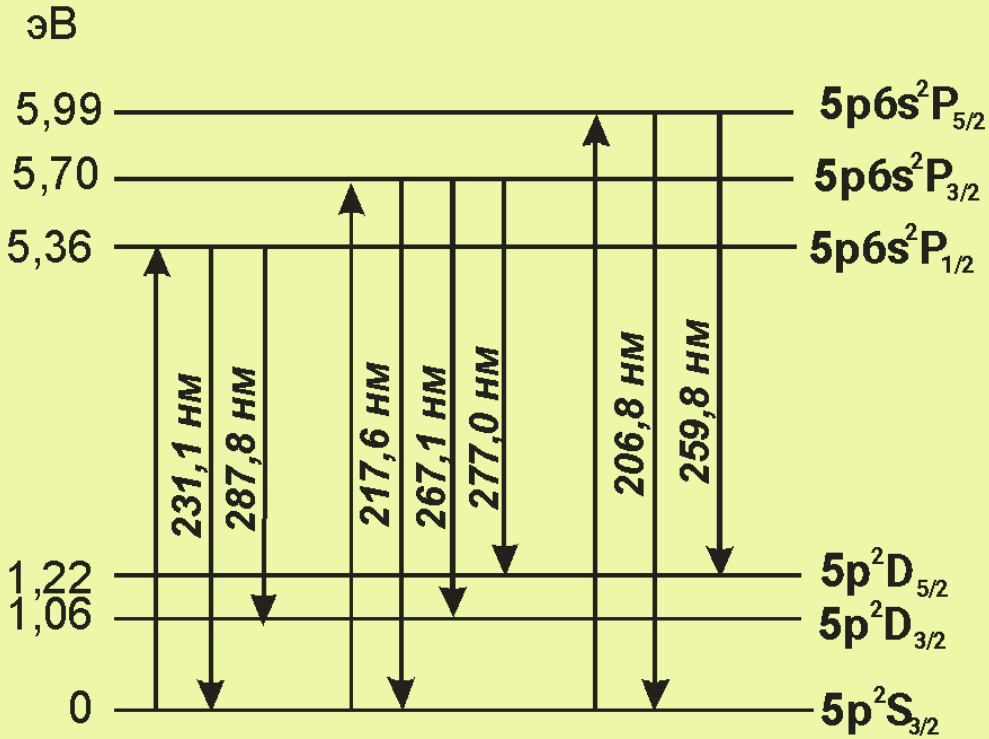
резкая – sharp
главная – principal
диффузная – diffuse
фундаментальная - fundamental

Схемы оптического возбуждения

Для атома таллия



Для атома сурьмы



В спектроскопии приняты следующие единицы: $E = h\nu$, $h\nu = kT$, $\nu = \lambda/c$, $h\nu = eV$

Эти выражения дают величины переводных множителей, тогда

1 эВ ≈ 8000 см$^{-1}$ ≈ 23000 кал/мол ≈ 12000 К

Интенсивность спектральной линии

В соответствии с законом распределения Больцмана при тепловом равновесии числа частиц в основном N_0 и возбужденном N^* состояниях относятся как:

$$\frac{N^*}{N_0} = \frac{g^*}{g_0} \cdot e^{-\frac{\Delta E}{k \cdot T}}$$

g^* и g^0 - статистические веса возбужденного и основного состояний;
ΔE – разность энергий основного и возбужденного состояний;
k - константа Больцмана ($1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж·К$^{-1}$).
Для пламени с температурами от 1000 до 4000 К сраведливы слдующие утверждения:

- **Подавляющее число атомов находится даже при высоких температурах в основном электронном состоянии. Вероятность поглощения света атомами выше, чем вероятность испускания.**

- **Вероятность поглощения света практически не зависит от температуры. Повышение температуры на 1000 К значительно изменяет число возбужденных частиц. Число же невозбужденных остается практически постоянным.**

Методы оптической атомной спектрометрии, применяемые в аналитических целях

(методы элементного анализа, в основном неорганических соединений)

Атомные спектры имеют линейчатый характер

- **Атомно-абсорбционный спектральный анализ**
- **Атомно--эмиссионный спектральный анализ**
- **Атомно-флуоресцентный спектральный анализ**

Атомная абсорбция	Атомная эмиссия
Термическое возбуждение материи до атомизации в основном состоянии и измерение поглощения света посредством подходящего источника излучения	**Более высокое термическое возбуждение материи до возбужденных состояний атомов и измерение излучения света возбужденных атомов**

Bernhard Welz
Michael Sperling

Atomic Absorption Spectrometry

Third, Completely Revised Edition

WILEY-VCH
Weinheim · New York · Chichester · Toronto · Brisbane · Singapore

1976, 1985, 1999, 2005 гг.

Bernhard Welz
Michael Sperling

Atomabsorptions-spektrometrie

WILEY-VCH

Atomabsorptionsspektrometrie, Vierte Auflage, Bernhard Welz, Michael Sperling
Copyright © 1997 WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim
ISBN: 3-527-28305-6

1997, 1999 гг.

1950

1950

Atomic absorption spectroscopy: The technique of Atomic Absorption Spectroscopy was first developed during the 1950's by a team of Australian chemists, lead by Alan Walsh, working at the CSIRO (Commonwealth Science and Industry Research Organisation) Division of Chemical Physics, in Melbourne Australia. [WP]

1963

Kem-Tech Laboratories, Inc: Publication of "Atomic absorption spectroscopy: final report." Publisher: Kem-Tech (Baton Rouge, La.). Published in 1963.

1966

Publication: Publication of "Atomic absorption spectroscopy (by) James W Robinson." Published in 1966.

Williams, Thomas Rees: Author of "Applications of atomic absorption spectroscopy for the analysis of plants and soils." Published in 1966.

Wilson, L.: Author of "The determination of arsenic in copper-arsenic alloys by atomic absorption spectroscopy." Publisher: Dept. of Supply, Australian Defence Scientific Service, Aeronautical Research Laboratories, (Melbourne). Published in 1966.

1967

Abbey, Sydney: Author of "Analysis of rocks and minerals by atomic absorption spectroscopy: Part 1. Determination of magnesium, lithium, zinc, and iron." Publisher: Energy, Mines and Resources Canada (Ottawa). Published in 1967.

Holm, Paul L.: Author of "Considerations involving the use of atomic absorption spectroscopy for the determination of nickel in hydrogenated fats and the use of 1-pyrrolidinecarbodithioic acid as a complexing agent for nickel." Published in 1967.

Kopito, L. and H. Shwachman: "Determination of lead in urine by atomic absorption spectroscopy using coprecipitation with bismuth" appears in The Journal of Laboratory and Clinical Medicine written by L. Kopito and H. Shwachman. Published in August 1967.

Stumpf, H. H.: "Atomic absorption spectroscopy. A versatile new laboratory tool" appears in The Journal of the Medical Society of New Jersey written by H. H. Stumpf. Published in June 1967.

1968

Slavin, Walter: Author of "Atomic absorption spectroscopy." Publisher: Interscience Publishers (New York). Published in 1968.

Zettner, A. and A. H. Mensch: "The use of atomic absorption spectroscopy in hemoglobinometry. II. Determination of the quarter-millimolar extinction coefficient of cyanmethemoglobin" appears in American Journal of Clinical Pathology written by A. Zettner and A. H. Mensch. Published in February 1968.

1969

American Society for Testing and Materials: Publisher of "Atomic absorption spectroscopy: a symposium presented at the seventy-first annual meeting, American Society for Testing and Materials, San Francisco, Calif., 23-28 June, 1968." Publisher: American Society for Testing and Materials (Philadelphia, Pa.). Published in 1969.

Jeltes, R.: "Determination of bis(tributyltin)oxide in air by atomic absorption spectroscopy or pyrolysis gas chromatography" appears in The Annals of Occupational Hygiene written by R. Jeltes. Published in October 1969.

L?. V.: Publication of "Atomic absorption spectroscopy (by) B. V. L? Translated from Russian (by IPST staff)." Published in 1969.

Publication: Publication of "Atomic absorption spectroscopy a symposium presented at the 71. annual meeting (of the) American Society for Testing and Materials, San Francisco, Calif., 23-28 June, 1968." Published in 1969.

Segal, R. J.: "Nonspecificity of urinary lead

1953 - основная идея, первый патент на спектрометр (Walsh);

1955 - основной принцип ААА, первая публикация (Walsh; Alkemade, Milatz);

1958 - графитовая кювета (Б.В. Львов);

1961 - первая книга по ААА (Elwell, Gidley);

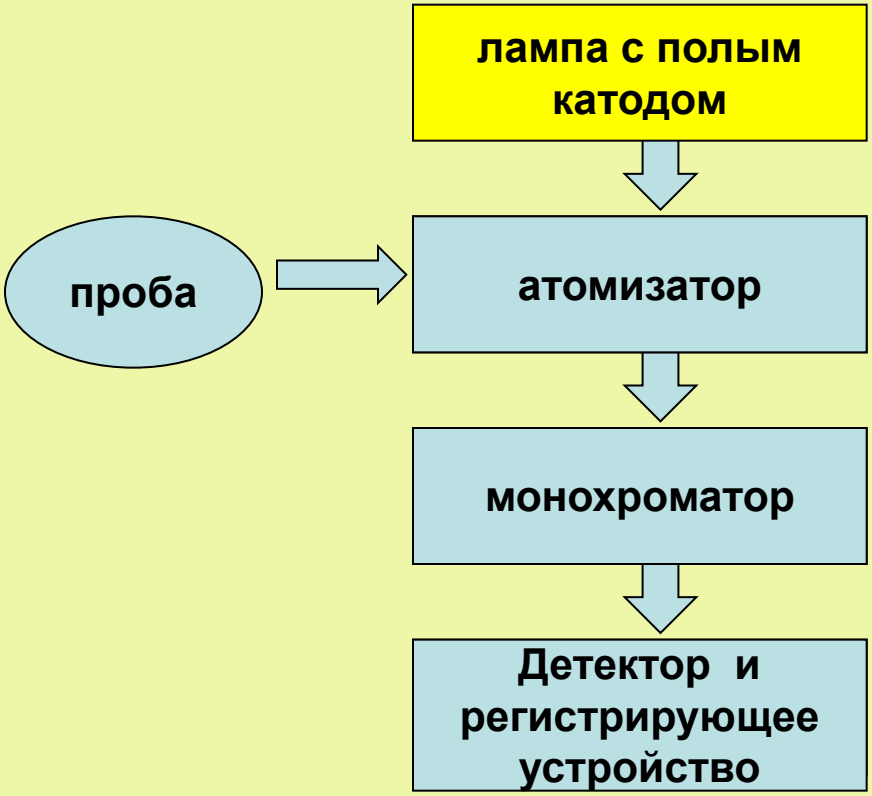
1963 - Метод «холодного пара» (Полуэктов Н.С., Виткун Р.А.);

1965 – пламя C_2H_2-N_2O (Amos, Willis). Дейтериевый корректор фонf (Koirtyohann, Pickett);

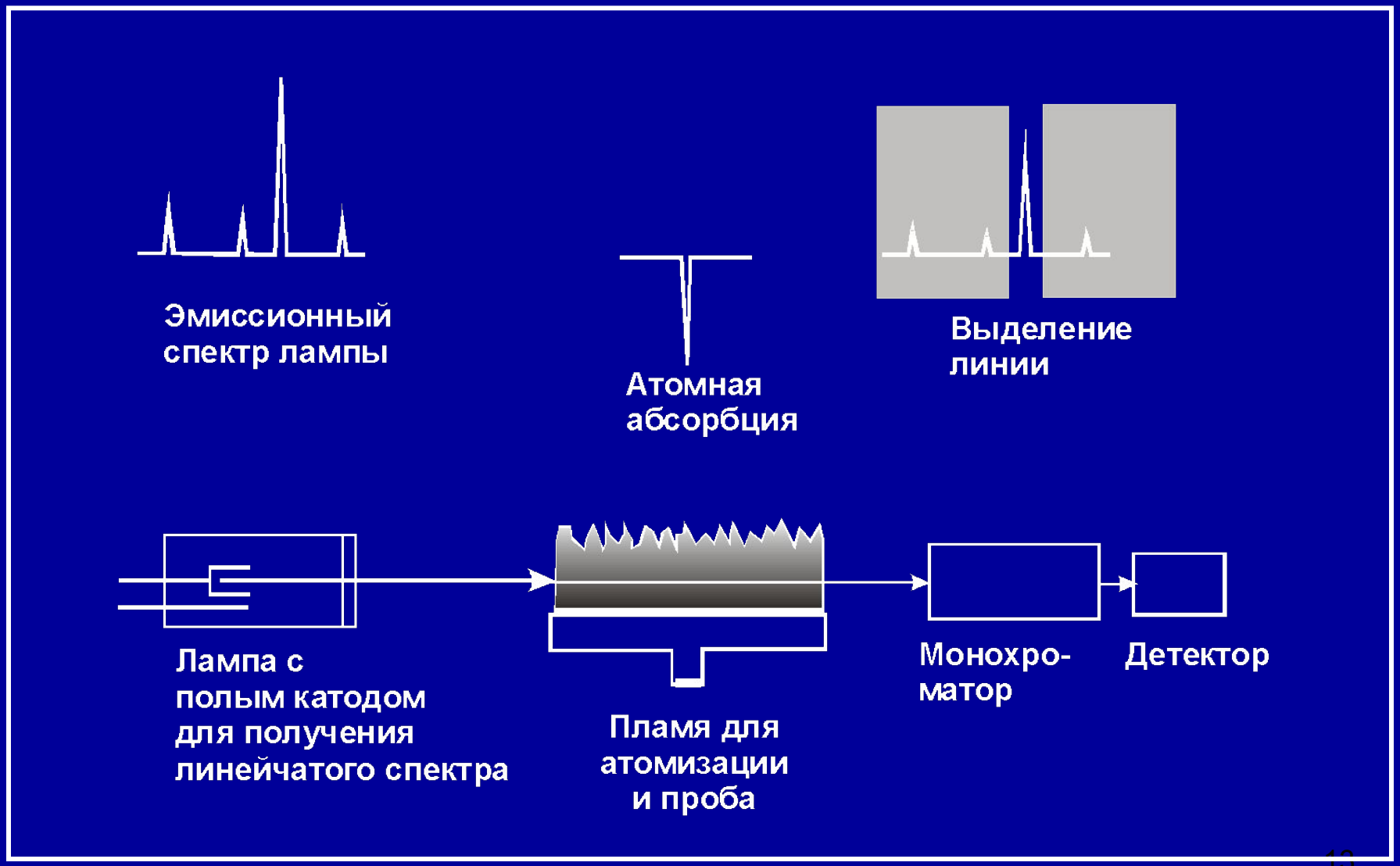
1966 - первая монография по электротермической атомизации (Львов Б.В.);

1967 - графитовая печь (Massmann).

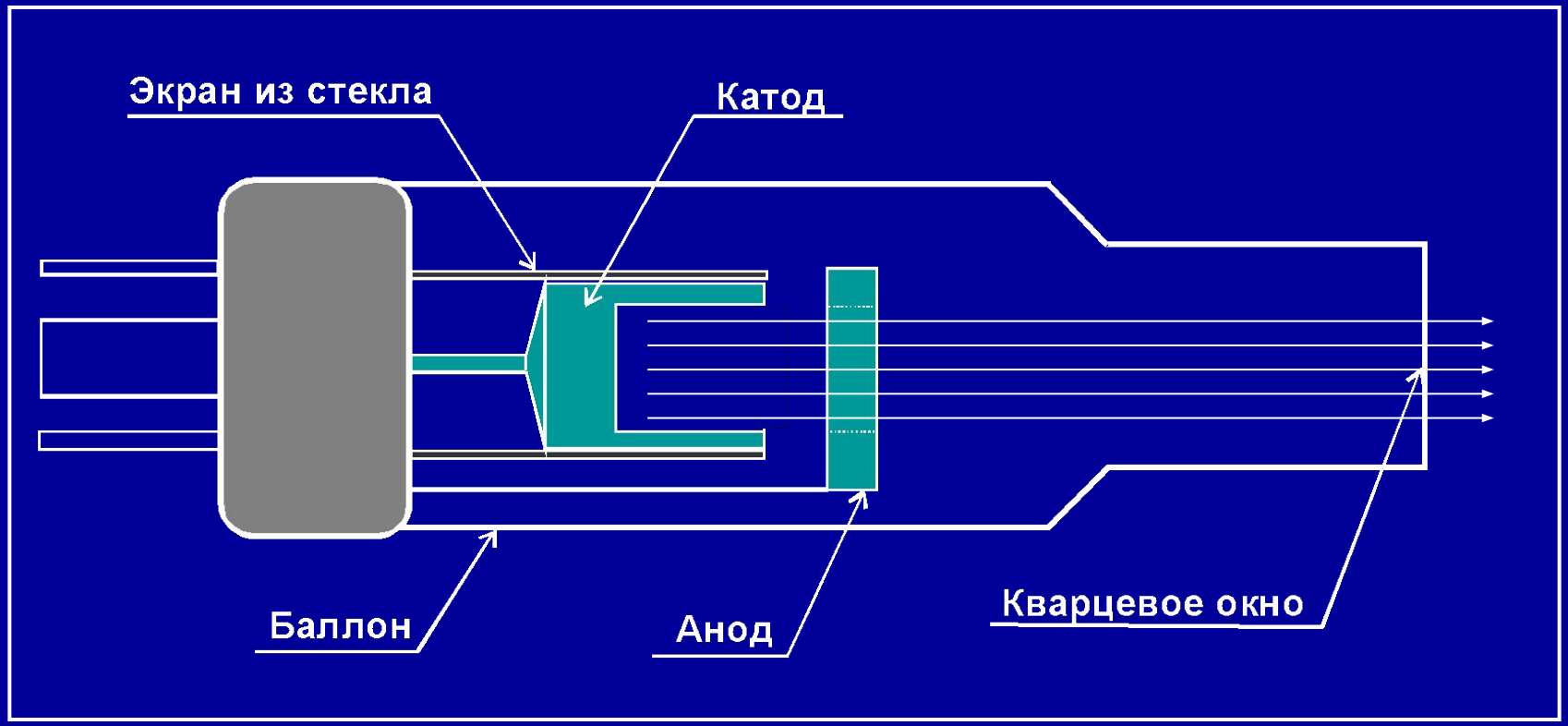
Принципиальная схема атомно-абсорбционного спектрометра



Атомно-абсорбционный спектрометр

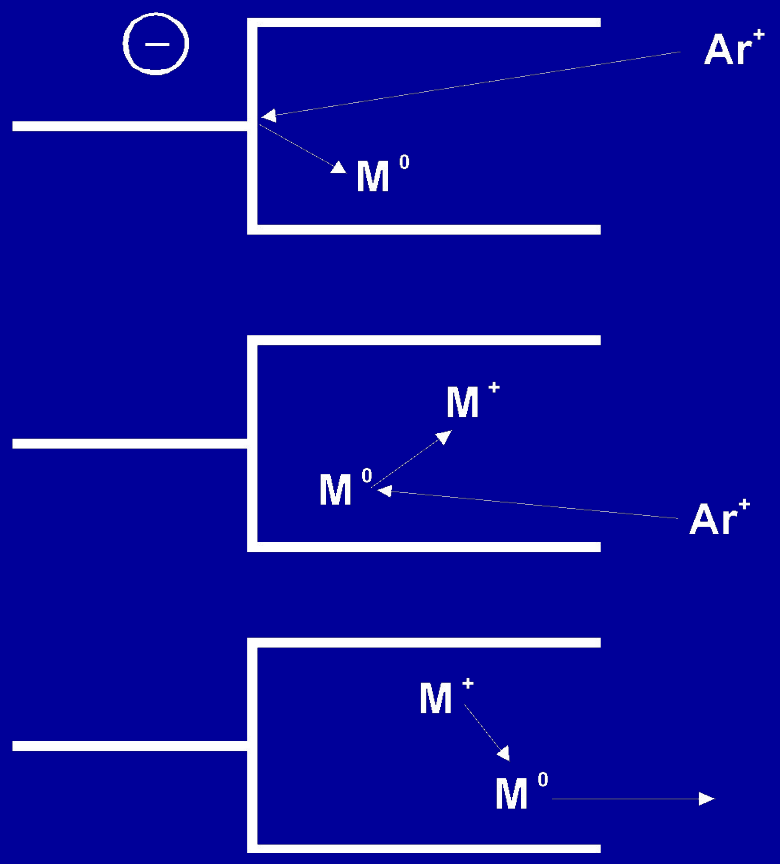


Лампа с полым катодом – источник излучения в атомном спектральном анализе



- *Газ – наполнитель - Ar или Ne* ***под низким давлением 1-5 мм рт.ст****.*
- *Полый катод изготовлен из высокочистого металла, спектр которого необходимо получить.*
- *Напряжение между катодом и анодом ~100 ÷ 400 В, ток не более 30 ма.*

Процессы в лампе с полым катодом



1 - распыление атомов

2 - возбуждение атомов ионами окружающего газа

3 - излучательная дезактивация возбужденных атомов

Для устранения влияния шумовых эффектов, применяют импульсную модуляцию источника

Безэлектродная разрядная лампа

БРЛ – это кварцевая трубка, запаянная с обоих концов, длинной несколько сантиметров и диаметром 5 – 1- мм.

Трубка заполнена несколькими милиграммами интересующего элемента в среде аргона под давлением в несколько милибар.

Трубка помещается в катушку высокочастотного генератора 27 МГц и возбуждается мощностью до 200 Вт.

На порядки более интенсивное излучение.

Многоэлементные лампы с полым катодом

Не находят широкого применения из-за неблагоприятного соотношения сигнал шум, а также интенсивность излучения для отдельных резонансных линий ниже, чем у одноэлементных ламп.

1962 г. – идея использования непрерывных источников света в атомно-абсорбционном анализе.

Выделение из непрерывного спектра узкого спектрального интервала, соответствующего условию А.Уолша, должно обеспечиваться монохроматором.

к **1994 г.** были сформулированы основные технические требования к атомно-абсорбционному прибору с непрерывным источником спектра.

2004 г. – выпуск первого коммерческого прибора

1966 г.!

THE THEORY AND APPLICATION OF
A CONTINUOUS SOURCE IN ATOMIC
ABSORPTION FLAME SPECTROMETRY

By

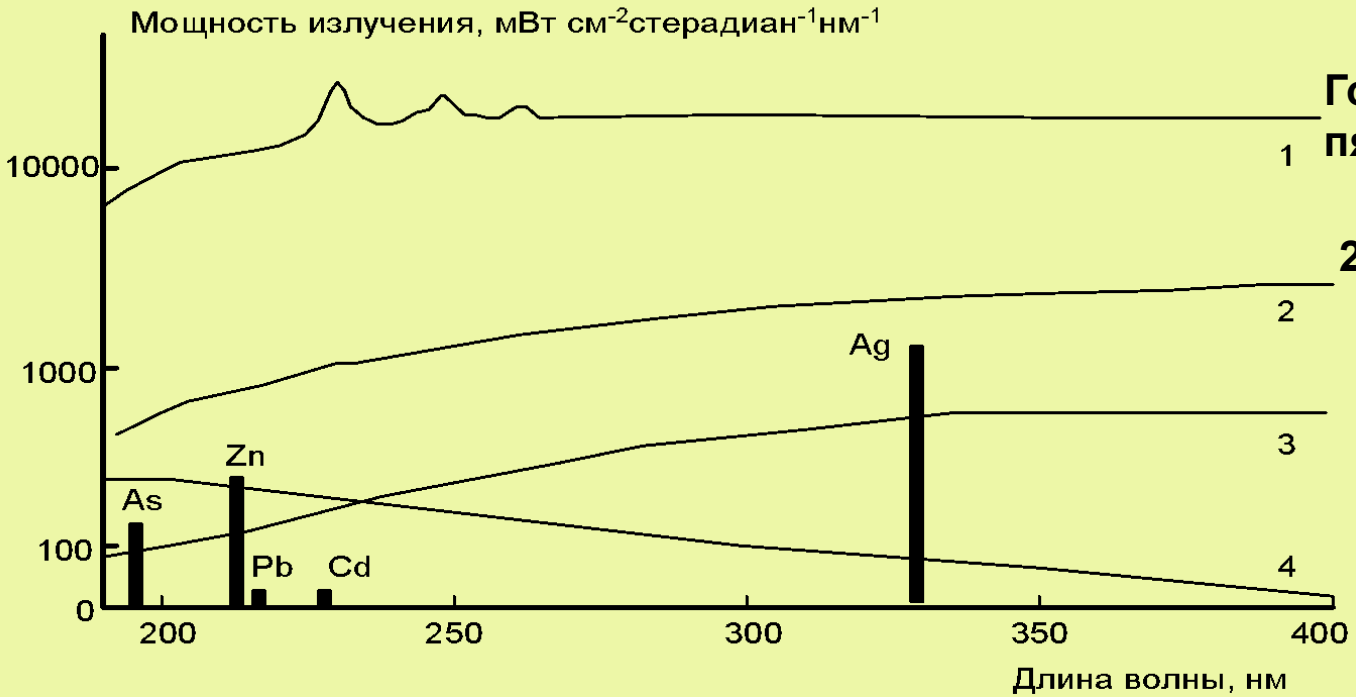
WILLIAM WALTER McGEE III

A DISSERTATION PRESENTED TO THE GRADUATE COUNCIL OF
THE UNIVERSITY OF FLORIDA
IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE
DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

UNIVERSITY OF FLORIDA

December, 1966

Ксеноновая лампа высокого давления с короткой дугой



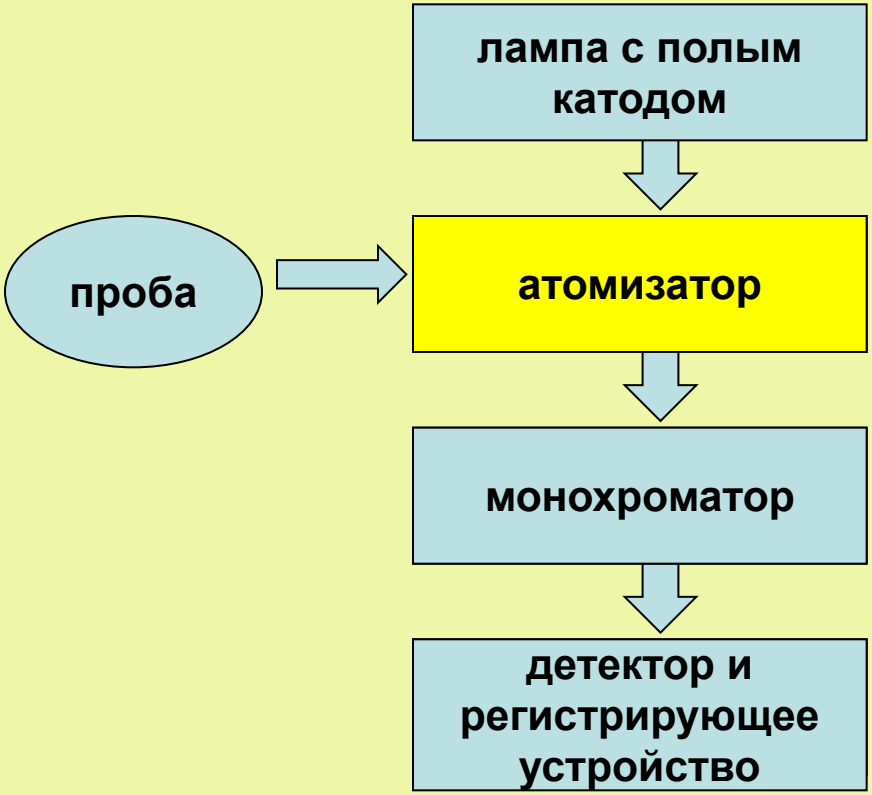
Горячее катодное пятно

250 мкм от катода

750 мкм от катода

Лампа D_2-H_2

Принципиальная схема атомно-абсорбционного спектрометра



ИСТОЧНИК СВОБОДНЫХ ИОНОВ (атомизатор)

Основная роль атомизатора – перевод пробы в свободные атомы, главным образом в основном состоянии

Идеальный атомизатор – должен осуществлять полную атомизацию пробы

В атомно-абсорбционной спектроскопии используют атомизаторы следующих типов типов :

- пламя (смеси различных горючих газов)

- электротермический (в графитовой печи)

- техника гидридных соединений и холодного пара)

Ширина атомных спектральных линий зависит от многих факторов. *Естественное уширение* спектральных линий, обусловленное соотношением неопределенности Гейзенберга, составляет порядка 10^{-5} нм. Дополнительное уширение вызвано эффектом Допплера. Ширина линий зависит также от давления в атомизаторе (Лоренцевское уширение).

Допплеровское уширение спектральных линий

Если атом, излучающий квант электромагнитного излучения частотой ν_0, движется со скоростью v, то регистрируемая прибором частота излучения v будет определяться соотношением:

$$\nu = \nu_0 (1 + v/c).$$

Спектральное распределение интенсивности в допплеровском контуре будет определяться распределением Гаусса.

$$I_D = I_0 \cdot e^{-\beta c^2 \left(\frac{\nu - \nu_0}{\nu_0} \right)^2} \qquad \beta = A/(2RT)$$

где A – атомная масса, R – универсальная газовая постоянная

Из выражения Гауса можно получить допплеровское уширение контура спектральной $\Delta\nu_D$:

$$\Delta\nu_D = \frac{2\nu_0}{c} \sqrt{\frac{2RT}{A} \cdot \ln 2}$$

Его величина приблизительно в 100 раз больше естественной ширины.

Лоренцевское уширение спектральных линий

Столкновения атомов в атомизаторе с другими атомами, ионами или молекулами приводят к так называемому ударному уширению $\Delta\nu_{уд}$ контура спектральной линии (Лоренцевскому уширению). Происходит это за счет уменьшения времени жизни возбужденного состояния.

$$\Delta\nu_{óä} = \frac{2N_A \cdot p \cdot \sigma}{\pi}\sqrt{\frac{2}{\pi RT}\left[\frac{1}{A}+\frac{1}{M}\right]}$$

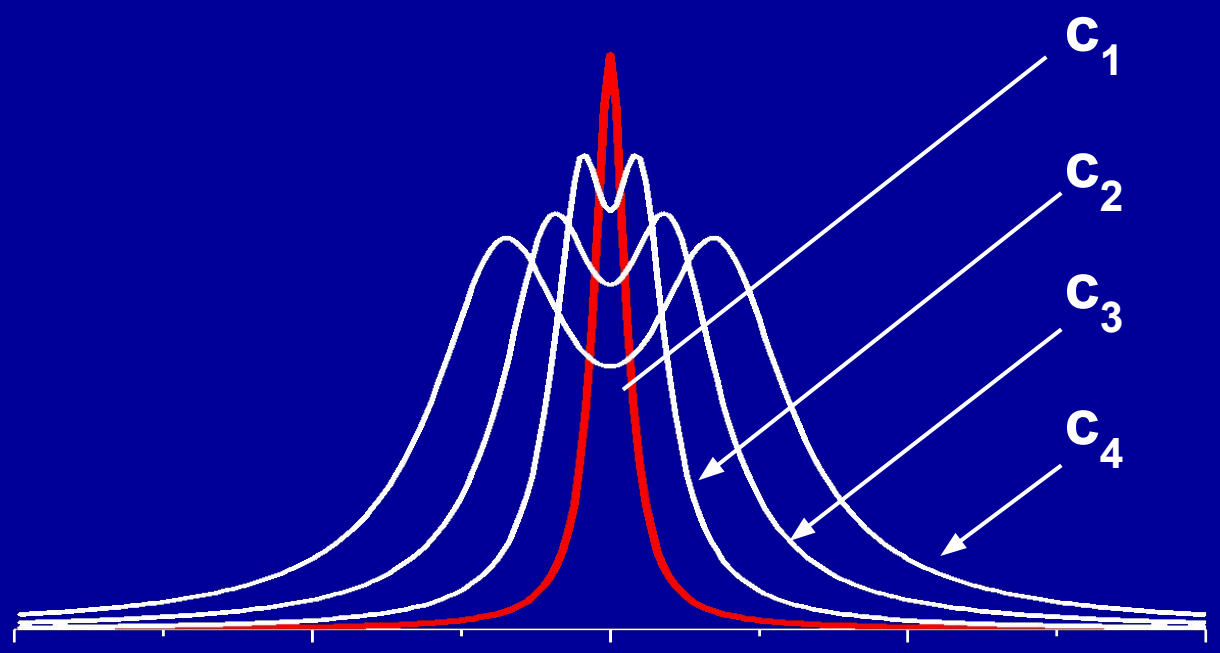
p – давление плазмообразующего газа, σ – сечение уширяющего столкновения, A – атомная масса излучающего атома, M – молекулярная масса плазмообразующего газа.

Лоренцевский контур спектральной линии излучения:

$$I_{óä} = \frac{I_0}{4\left[(\nu-\nu_0)/\Delta\nu_{óä}\right]^2+1}$$

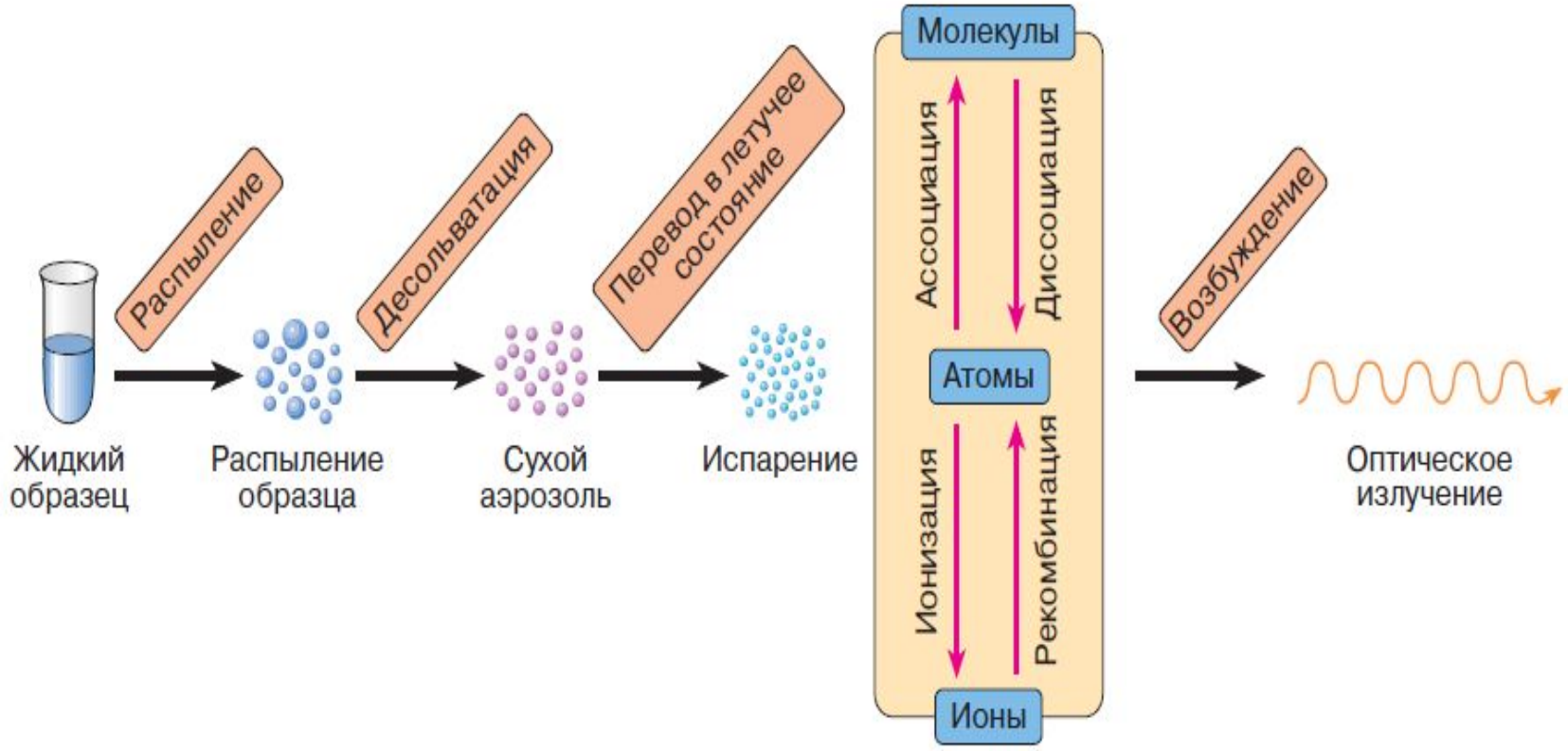
Лоренцевское уширение на 2-3 порядка больше естественной ширины.

Изменение интнсивности и контура спектральной линии с увеличением оптической толщины плазмы источника



$c_1 < c_2 < c_3 < c_4$

Превращения жидкого образца при вводе пробы в методах атомной спектроскопии



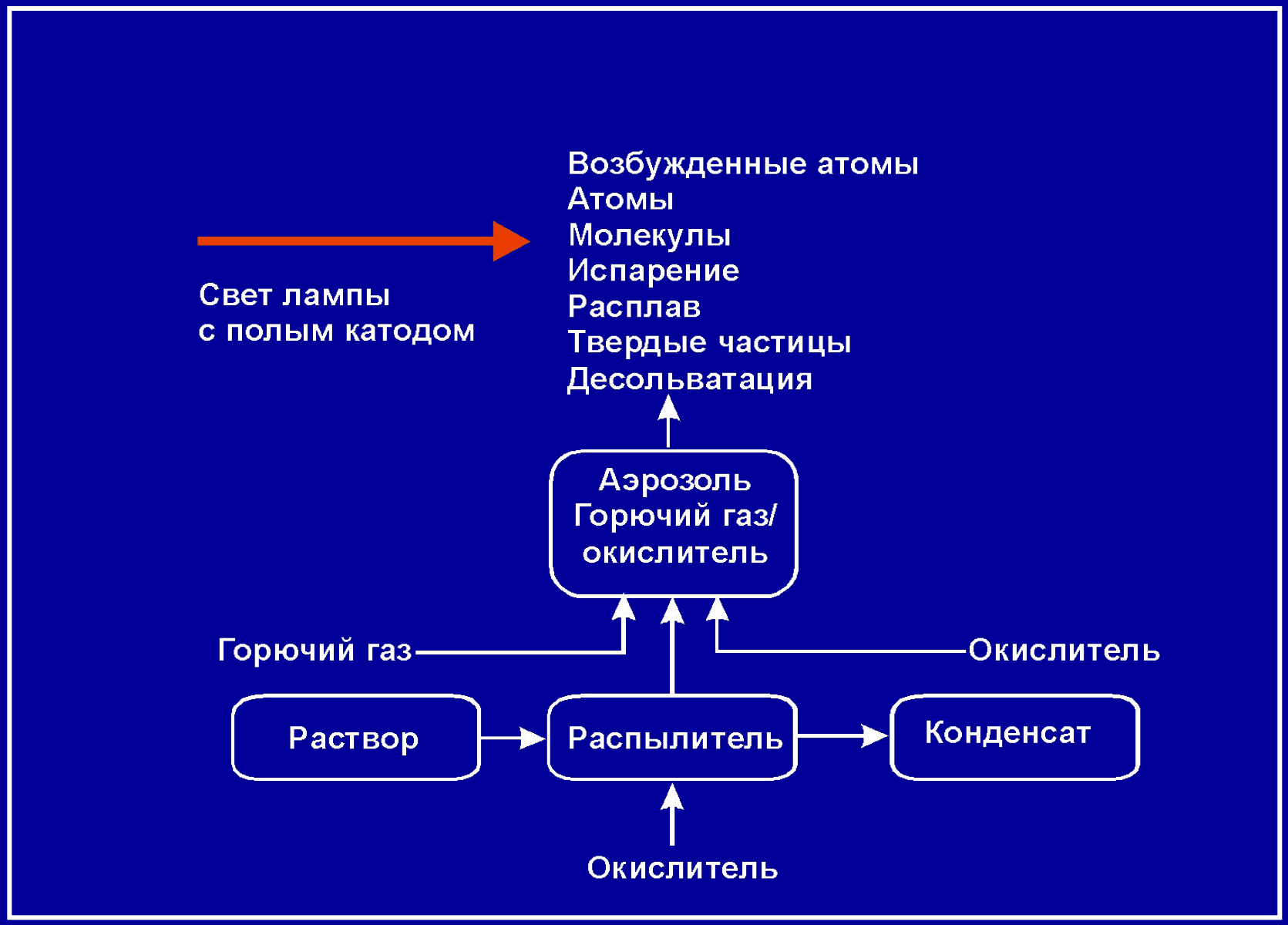
Атомизация в пламени

Составы газовых смесей для пламенной ААС:

Газовая смесь (горючий газ – окислитель)	Температура, К	Определяемые элементы
ацетилен - воздух	до 2500	большинство
ацетилен - закись азота	до 3100	B, Al, Si, Be, элементы 3-5 побочных подгрупп
водород - воздух	до 2300	As, Se
метан - воздух	до 2000	щелочные металлы

Пламенная абсорбционная спектроскопия ограничивается анализом растворенных проб

Атомизация в пламени



Работа распылителя

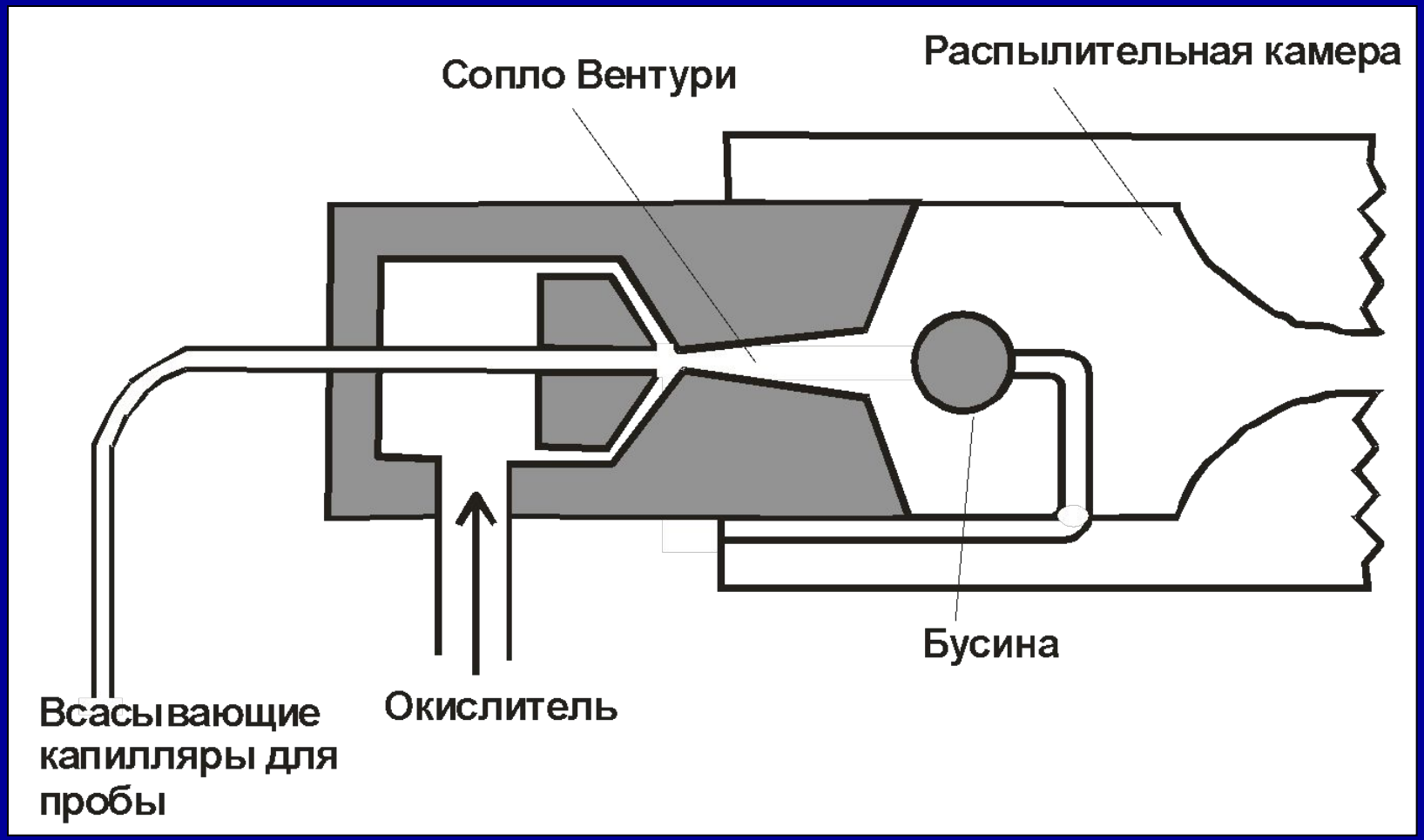
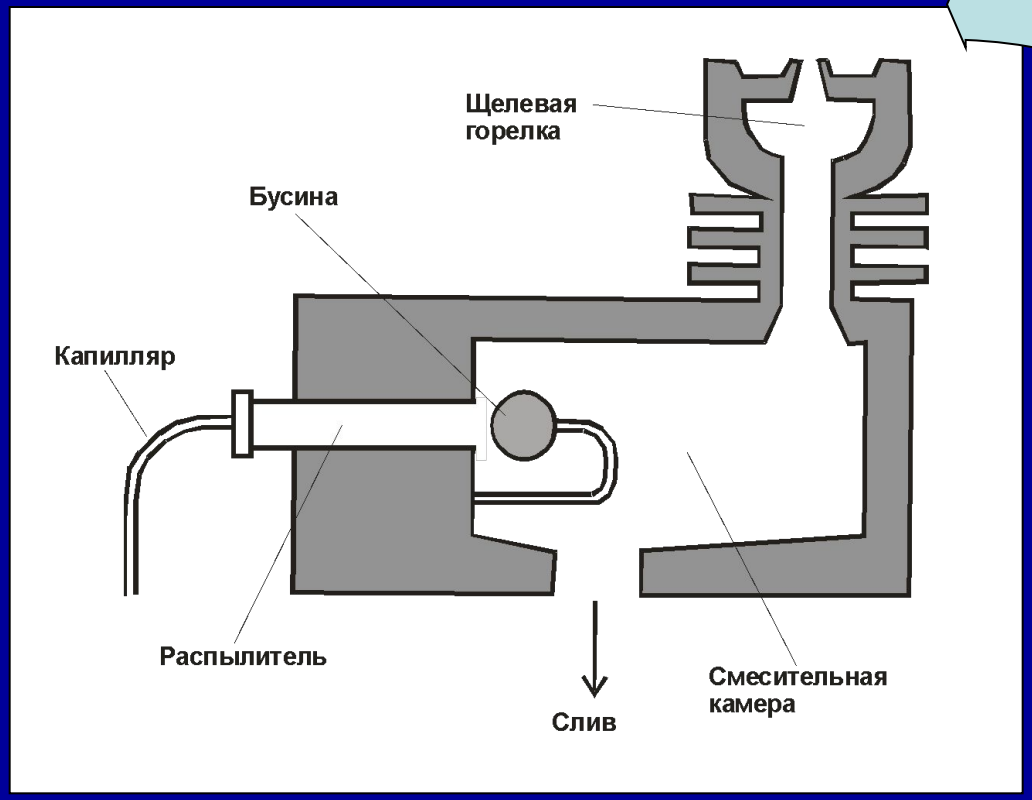


Схема распределительно-смесительной системы



Хорошо смешанный с горючими газами тончайший аэрозоль попадает в пламя, где он сначала высушивается. Остаются химические соединения, из которых при дальнейшем подводе тепла образуются атомы в основном состоянии.

Процессы, происходящие в пламени

Испарение **составных частей пробы.**

Первый компонент пробы, переходящий в газообразное состояние – растворитель. Мешающее влияние матрицы можно устранить с помощью добавок специальных реагентов

Диссоциация **на свободные атомы и восстановление.**

Степень диссоциации зависит от температуры пламени, энергии диссоциации соединения, его концентрации и т. д….

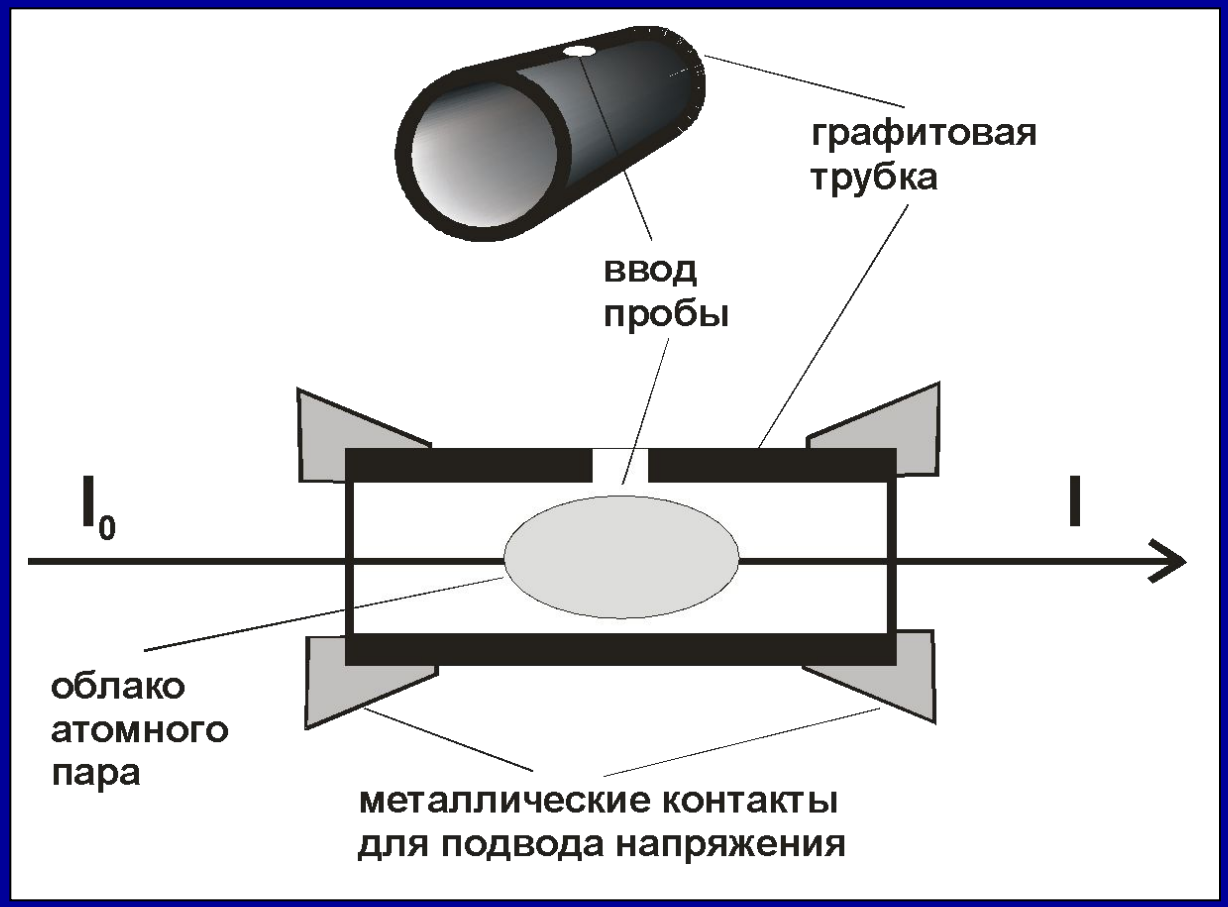
Возбуждение **- определяется законом распределения Больцмана.**

Ионизация **– наряду с диссоциацией происходит (особенно интенсивно при высоких температурах) и нежелательный процесс ионизации свободных атомов:** $M \leftrightarrow M^{+} + e^{-}$

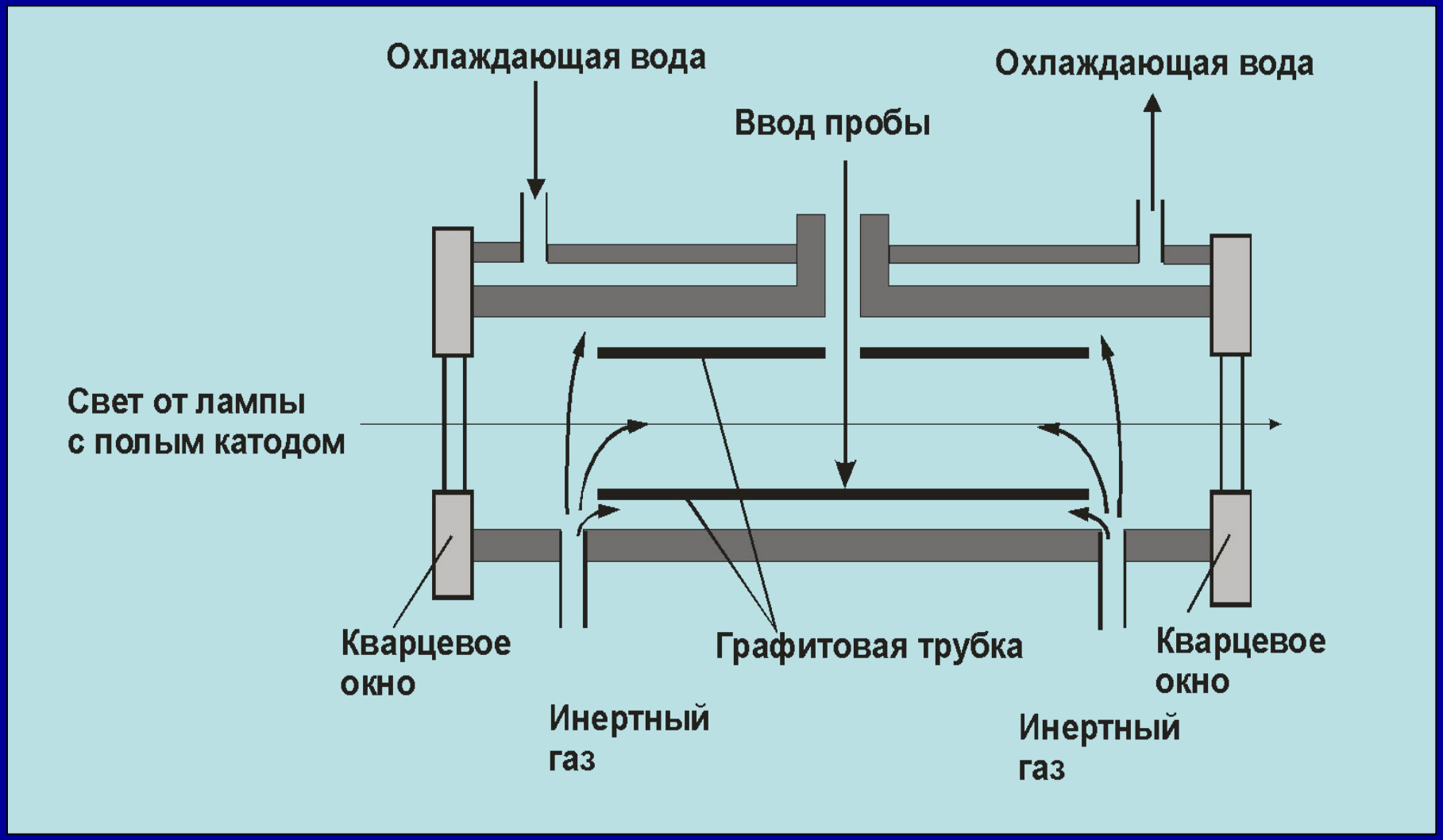
Для поддержания парциального давления электронов на постоянном и высоком уровне к пробе часто добавляют избыток соли легко ионизирующегося элемента, например, натрия или калия. Такие добавки называют *спектроскопическими буферами*.

Электротермическая атомизация – атомизация в графитовой трубчатой печи

В 1959 году Борис Львов из Санкт-Петербурга предложил использовать в атомно-абсорбционной спектроскопии графитовую трубчатую печь. В современном варианте графитовой печи проба испаряется и одновременно атомизируется в импульсном режиме.

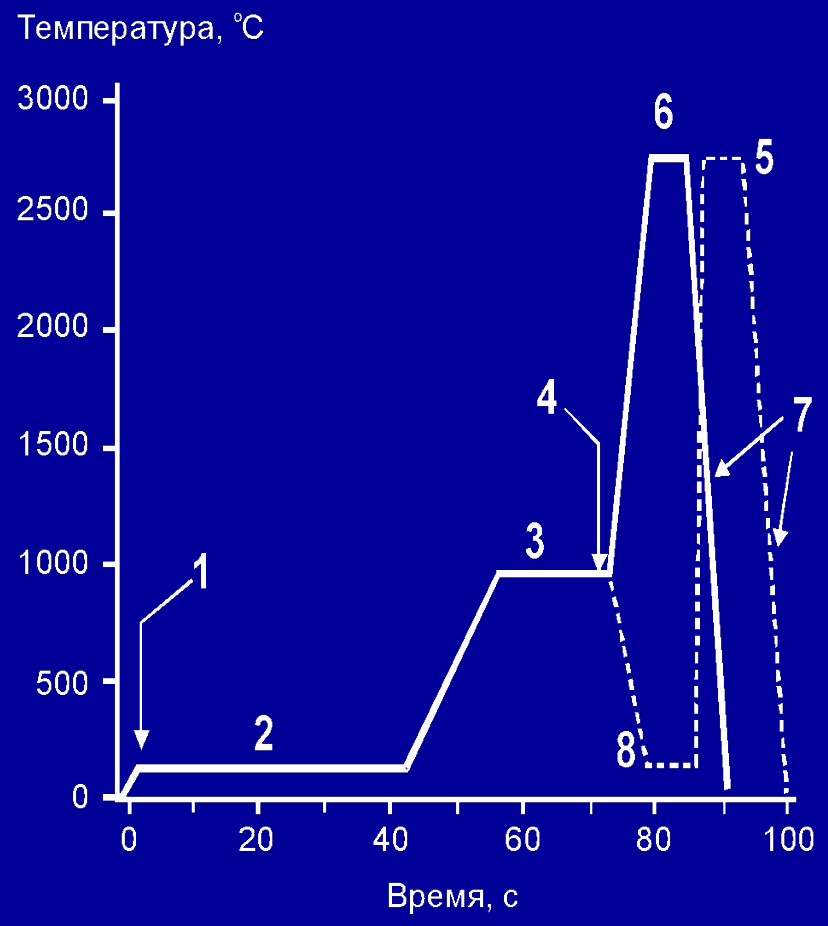


Принцип действия графитовой трубчатой печи



Температурная характеристика при атомизации в графитовой печи

Электротермическая программа состоит из нескольких последовательных стадий нагрева:

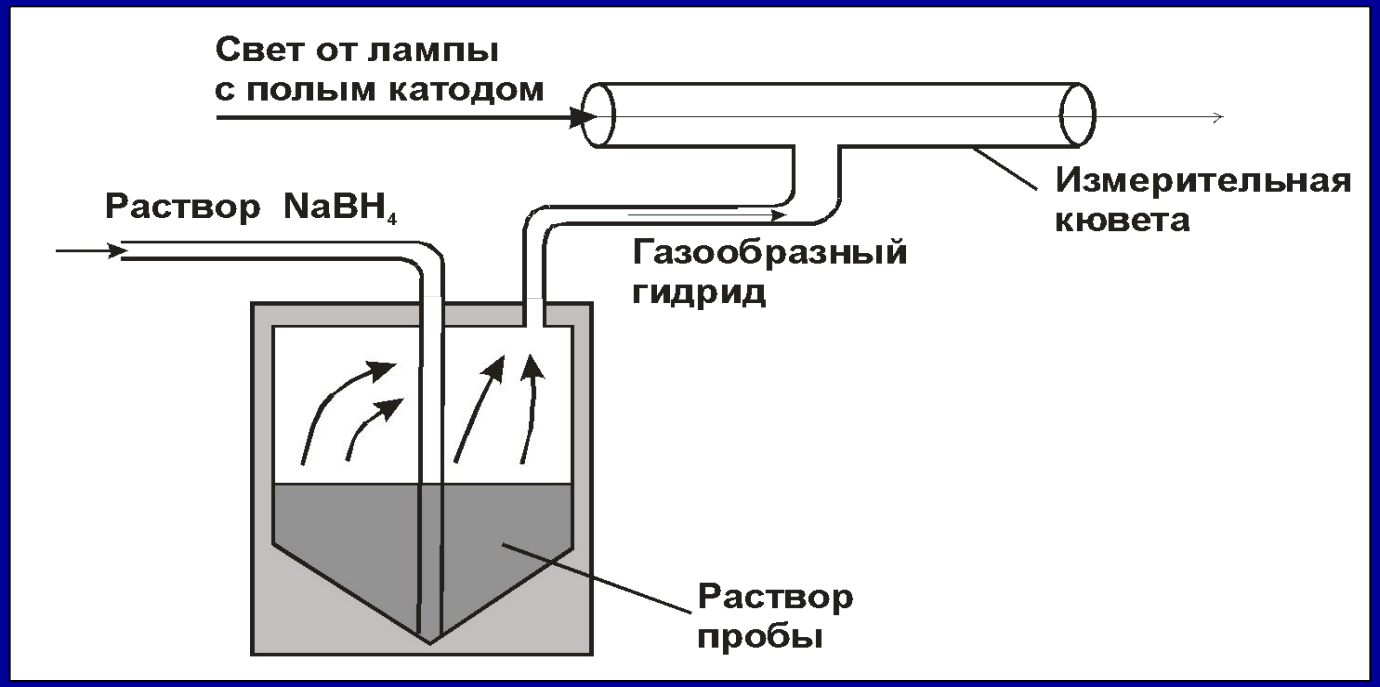


- **Высушивание** обеспечивает десольватацию пробы с целью удаления растворителя испарением (2)
- **Озоление** (3) твердого остатка после первой ступени. Обеспечивает удаление или упрощение органической или неорганической основы, сохранив при этом определяемый элемент внутри атомизатора в стабильной форме, так чтобы атомизация протекала с минимальным мешающим влиянием основы
- **Атомизация** (6), в течение которой происходит диссоциация молекулярных частиц определяемого элемента при высокой температуре и реализуется формирование свободных атомов определяемого элемента. Скорость нагрева должна быть высокой (2000°С/с)

1 - поток Ar включен, 2 – высушивание, 3 – озоление, 4 – поток Ar выключен, 5 – поток Ar включен, 6 – атомизация, 7 – период охлаждения, 8 – процедура охлаждения

Методика на основе гидридных соединений и ртути

В основу методики положен тот факт, что некоторые элементы четвертой, пятой и шестой главной группы образуют летучие гидриды. Особенностью этого метода является то, что определяемый элемент перед переводом его в атомизатор отделяется в форме газообразного гидрида почти от всех имеющихся примесей. Гидридообразующие элементы: мышьяк (As), селен (Se), сурьма (Sb), теллур (Te), висмут (Bi) и олово (Sn). В качестве восстановителя – бортетрагидрид натрия.

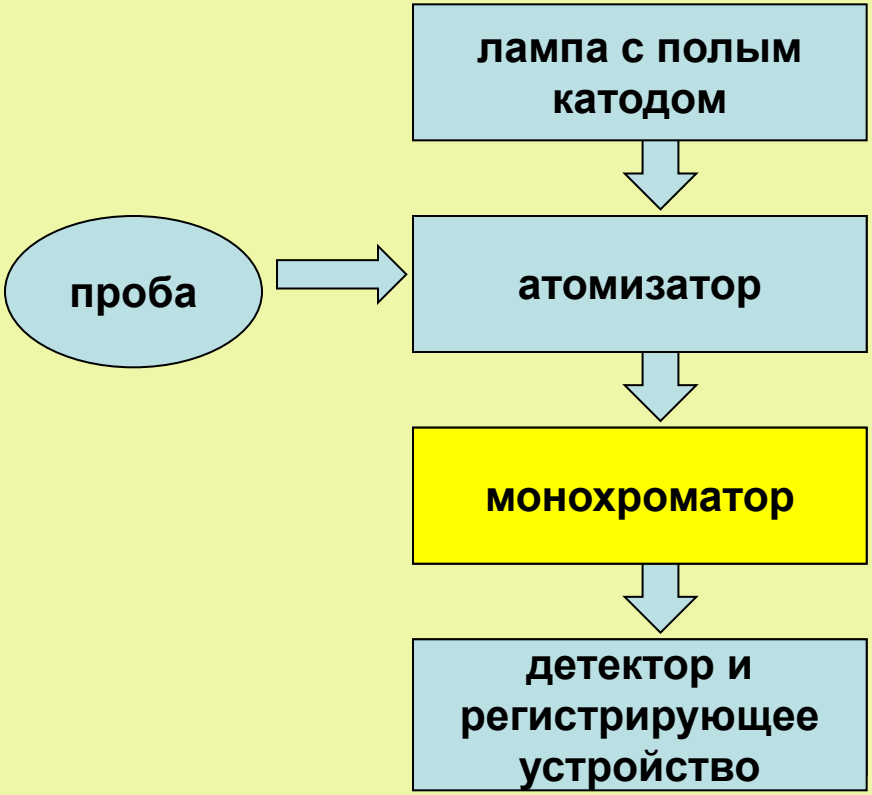


Критерии выбора подходящего способа атомно-абсорбционной спектроскопии

Разные способы атомно-абсорбционной спектроскопии:

С пламенем	- высокая точность - высокая скорость - предел обнаружения в области милионных долей
С графитовой трубчатой печью	- предел обнаружения от миллиардных до трилионных долей - работа с микропробами - возможность дозировки твердых образцов
С гидридами и холодными парами	- наилучшие пределы обнаружения для Hg, As, Bi, Sb, Se, Sn, Te - относительно отсутствие интерференций

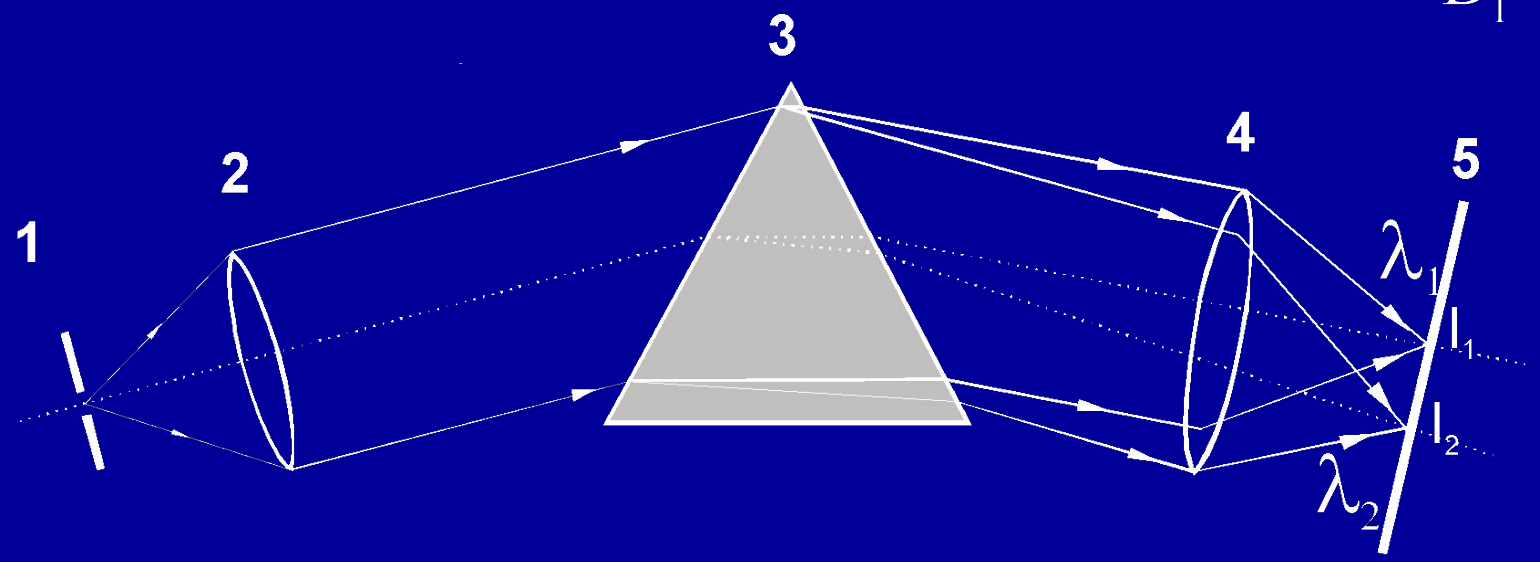
Принципиальная схема атомно-абсорбционного спектрометра



Монохроматизация излучения в методах атомного оптического спектрального анализа

Линейная дисперсия D_l является одной из важнейших характеристик спектрального прибора.

$$D_l = \frac{dl}{d\lambda}$$



1 – входная щель, 2 – коллиматорный объектив, 3 – дипергирующий элемент, 4 – камерный объектив, фокальная плоскость камерного объектива

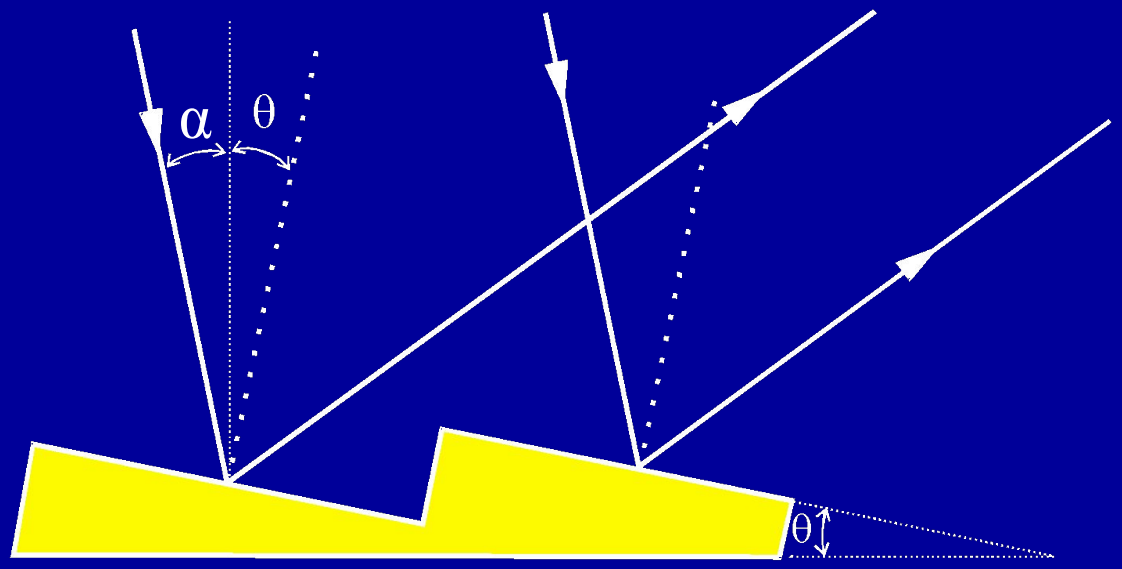
$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$$ - разрешающая способность прибора

Применение дифракционных решеток

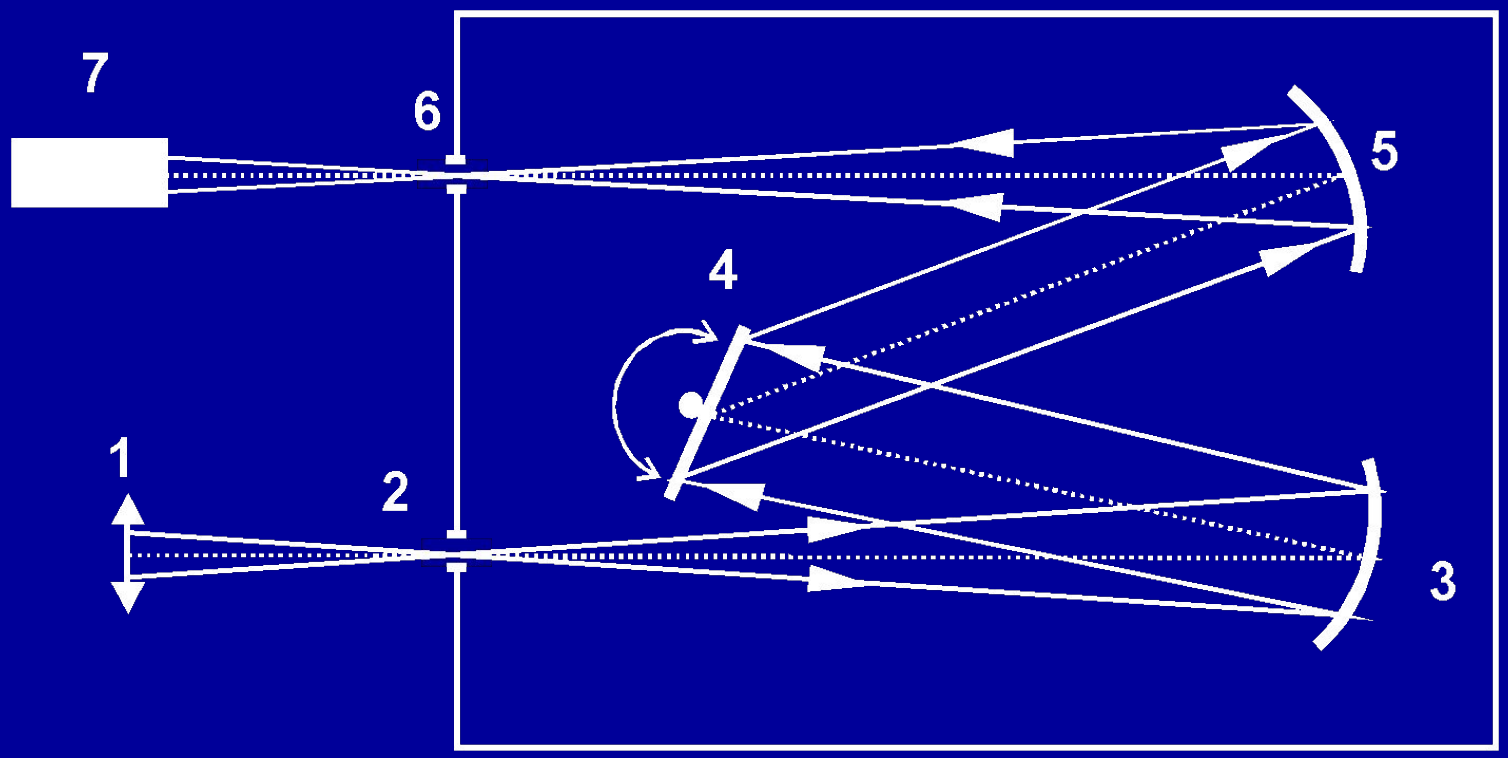
Основные параметры дифракционных решеток:

- **расстояние d между двумя последовательными штрихами;**
- **плотность штрихов (число штрихов на единице длины) n;**
- **ширина решетки W;**
- **общее число штрихов $N=n \cdot W$;**
- **угол θ между нормалью к поверхности решетки и нормалью к поверхности штриха для штрихов пилообразной формы.**

Типичные значения: n ~ 1000÷4800 штрих мм$^{-1}$; W ~ 100 мм; α= 20^0

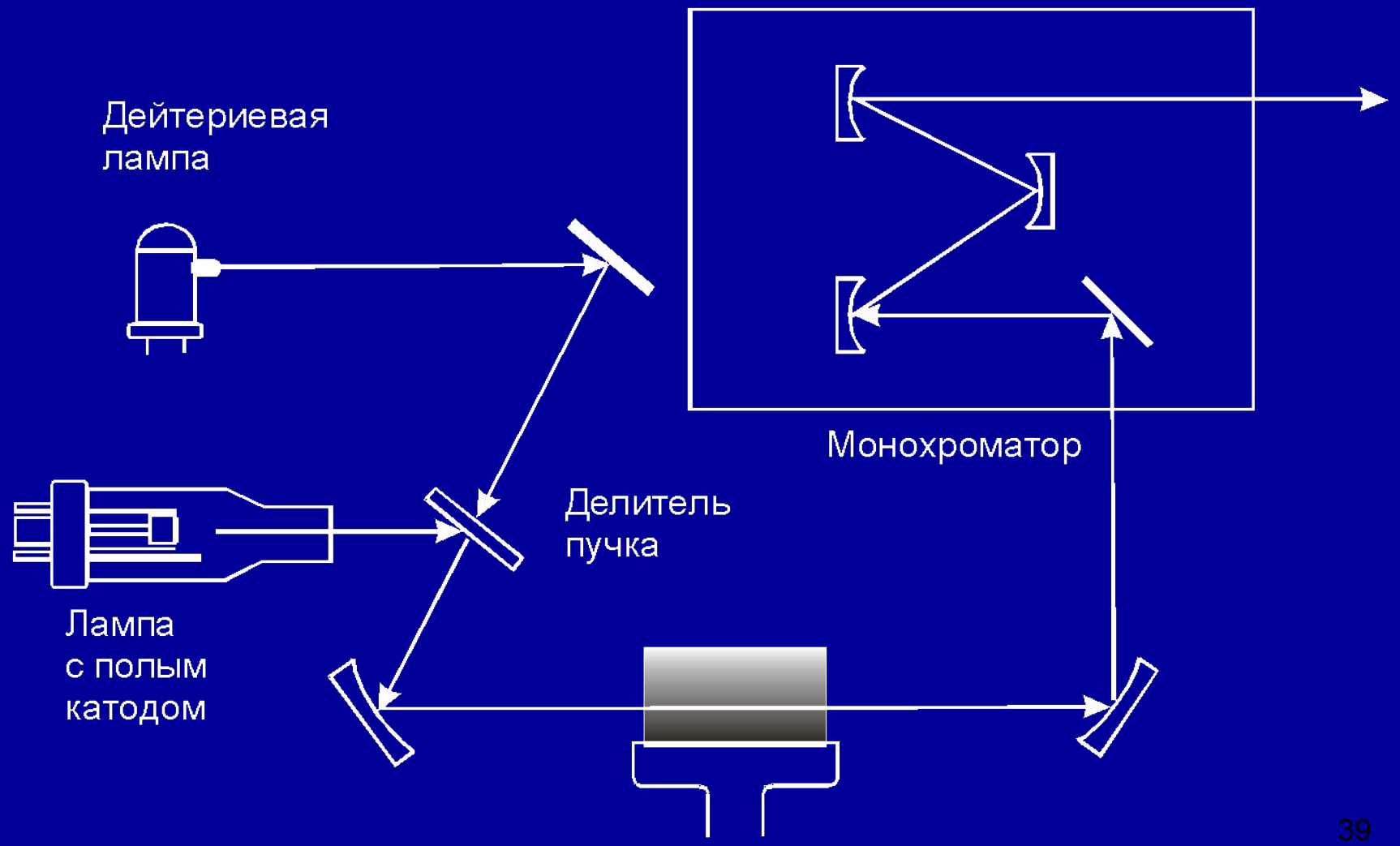


Применение оптической схемы в качестве монохроматора. Схема Черни-Тернера

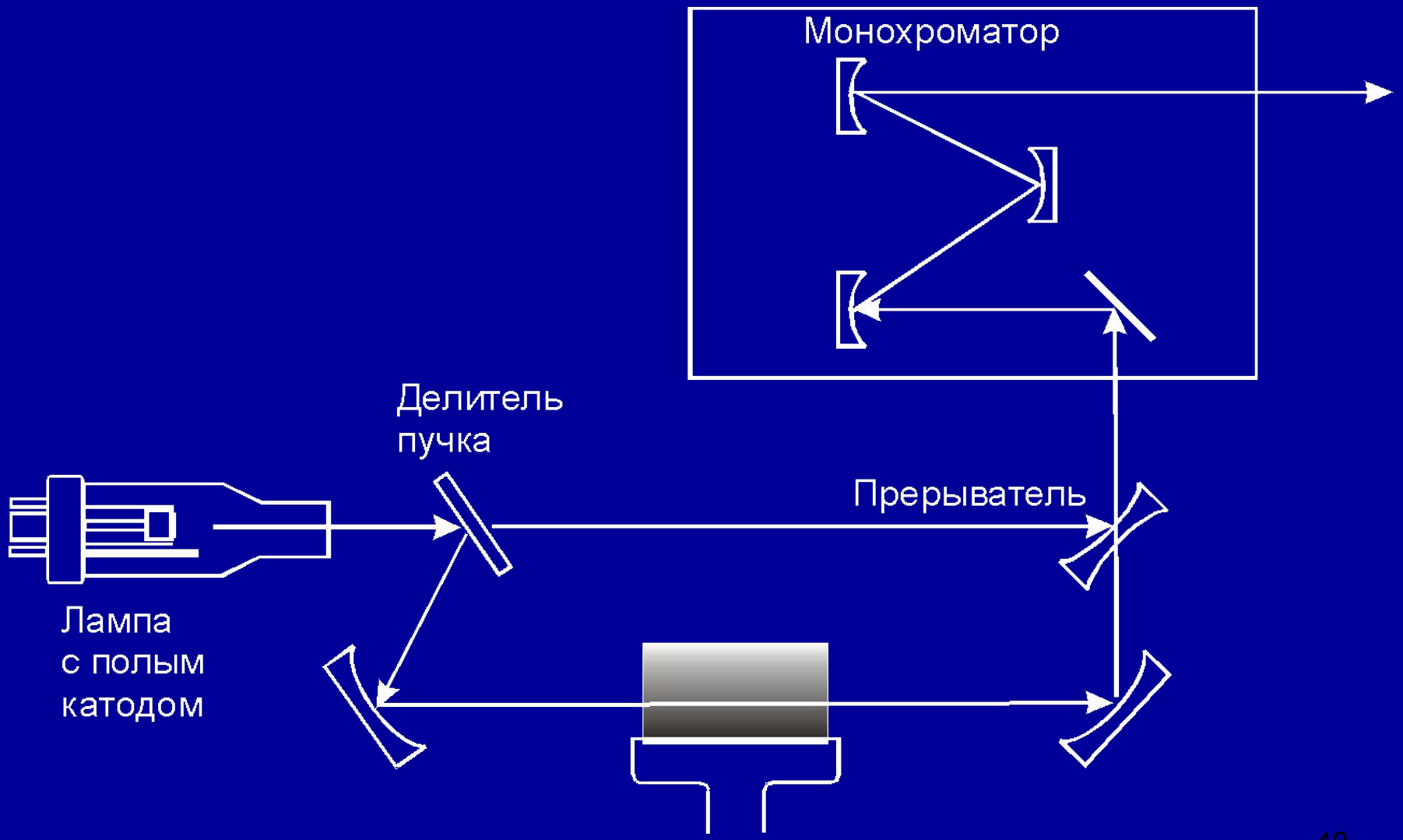


1 – фокусирующая линза;
2 – входная щель;
3 – коллиматорное вогнутое зеркало;
4 – вращающаяся плоская решетка;
5 – вогнутое зеркало объектива;
6 – выходная щель;
7 - детектор

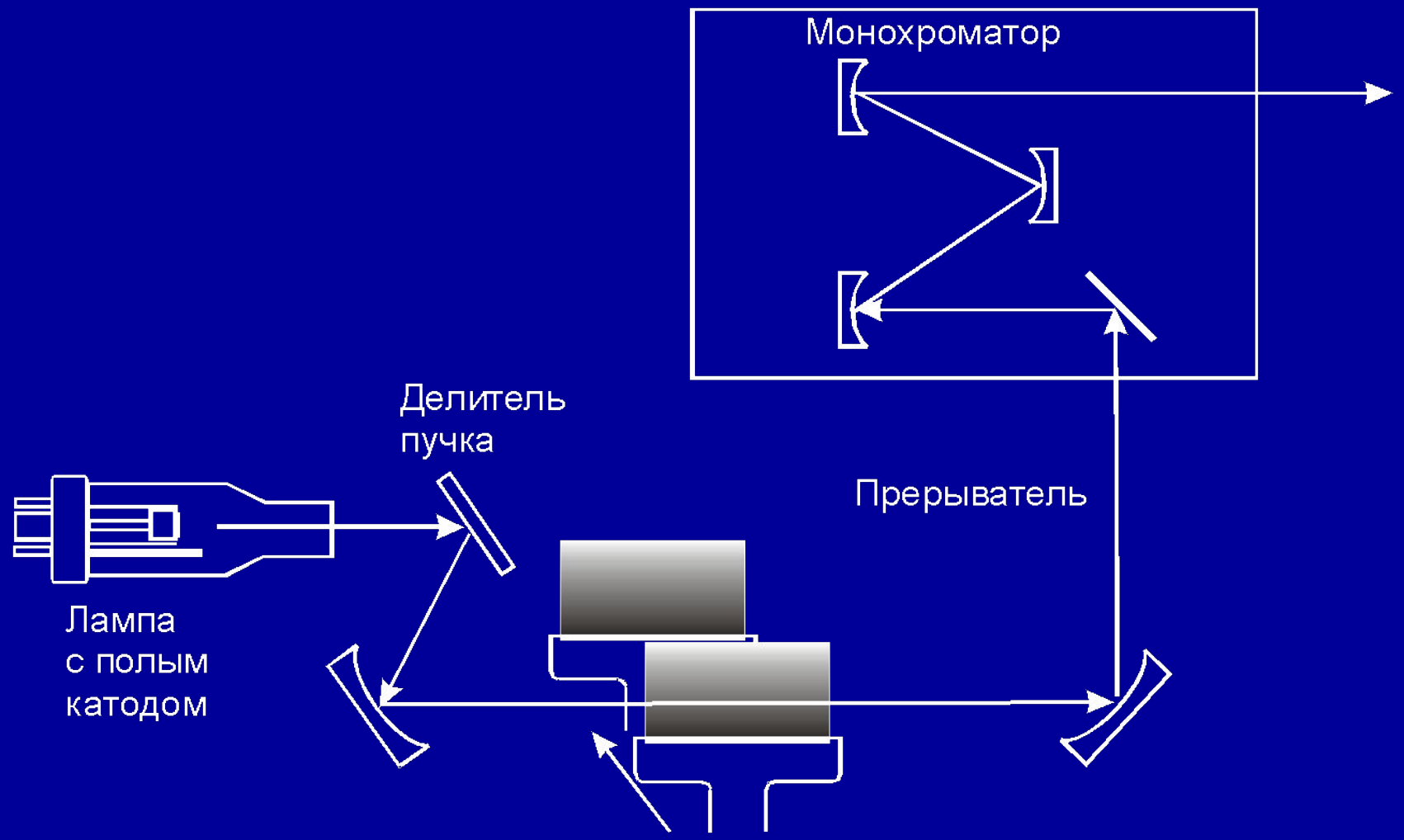
Однолучевой атомно-абсорбционный спектрометр с дейтериевой компенсацией



Двухлучевой атомно-абсорбционный спектрометр



Принцип псевдодвухлучевого атомно-абсорбционного спектрометра



Помехи в атомно-абсорбционной спектроскопии

Атомно-абсорбционная спектроскопия – относительный метод, то есть количественные измерения проводятся лишь на основе сравнения со стандартными веществами, поэтому любое отличающееся от стандарта поведение пробы может стать источником помех.

Химические помехи.

Химической помехой является любое образование соединения, препятствующее количественной атомизации определяемого элемента.

Физические помехи.

Понятие «физические помехи» включает в себя все помехи, обуславливающие общую численность образовавшихся атомов на основе разных физических свойств раствора пробы. (плотность, вязкость и поверхностное натяжение). Причиной этих помех почти всегда является пневматический распылитель.

Помехи в атомно-абсорбционной спектроскопии (продолжение)

Ионизационные помехи.

Многие металлы, особенно в горячем пламени, более или менее сильно ионизируются.

Средства борьбы: снижение температуры, создание избытка электронов за счет добавки к раствору пробы легко ионизируемого элемента.

Спектральные помехи.

Средство борьбы: различные схемные решения, рассмотренные выше.

Метод добавок **– хорошее средство борьбы за уменьшение влияния помех.**

Стандарты с концентрацией того же порядка

Для незнакомой матрицы-добавка сильно концентрированного раствора определяемого элемента

Разбавление сильно концентрированного раствора

Серия AA-7000 : чувствительность, надежность, универсальность, скорость, комфорт

AA-7000F Flame Model

AA-7000G Furnace Model (with options attached)

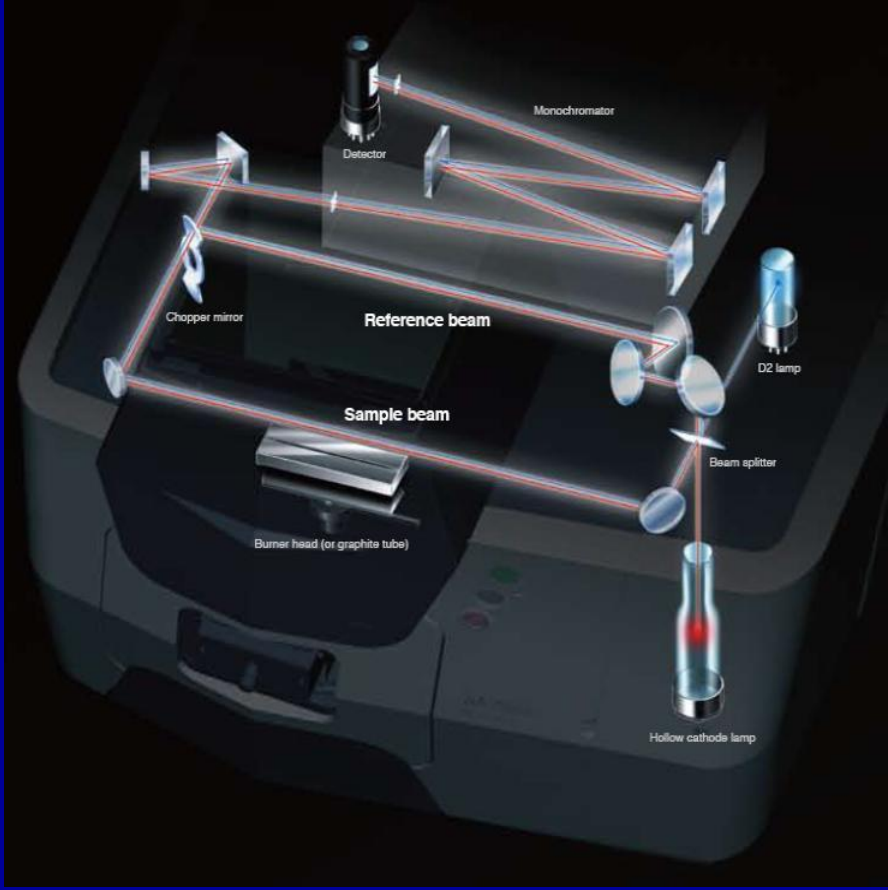
Конфигурации AA-7000

- **Системы с пламенной атомизацией AA-7000F.**
  - пламя, ручная юстировка горелки, без автодозатора
  - пламя, ручная юстировка горелки, с автодозатором
  - пламя, автоюстировка горелки, без автодозатора
  - пламя, автоюстировка горелки, с автодозатором.

- **Системы с электротермической атомизацией AA-7000G.**
  - печь, автоюстировка, без автодозатора (опция CCD камера)
  - печь, автоюстировка, с автодозатором (опция CCD камера)

- **Системы с двойной атомизацией : пламенной и электротермической AA-7000FG.**
  - пламя и печь, автоматическая смена и юстировка атомизаторов, автодозатор (опция CCD камера).

АА-7000. Оптика

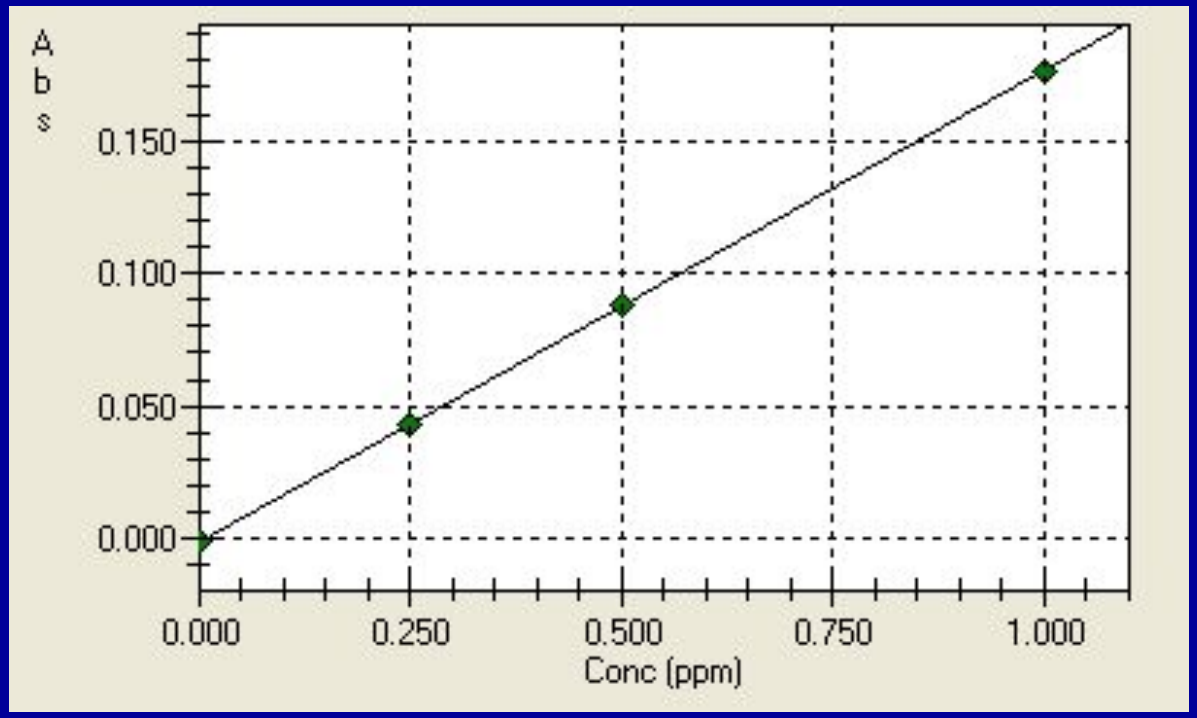


- 3-мерная 2-лучевая оптическая схема, возможность автоматического переключения в 1-лучевой режим. Регулируемый аттенюатор. Монохроматор Черны-Тернера
- Спектральный диапазон 185-900 нм.
- Детектор: ФЭУ.
- Автоматическая настройка на длину волны определяемого элемента.
- Спектральная щель 0.2; 0.7; 1.3; 4.0 нм. Автоматическая установка ширины и высоты щели.
- Турель на 6 ламп с полым катодом. Автоматическая установка ламп. Юстировка ламп не требуется.
- Система коррекции фона: двойная, дейтериевый корректор + корректор на основе высокоскоростного самообращения линий (модифицированный корректор Смита-Хифти).

Пламенный атомизатор

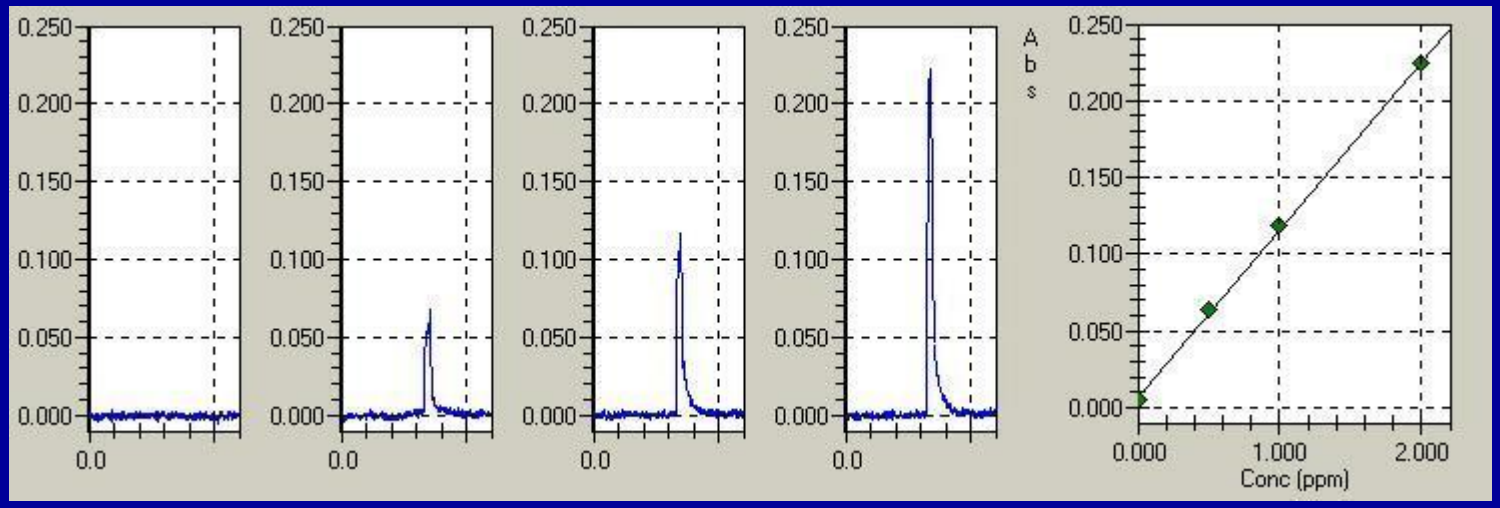
- Титановая 10 см горелка (C_2H_2-воздух), сменная высокотемпературная горелка (C_2H_2–N_2O). Опция автоматического микродозирования в пламя.
- Pt/Ir капилляр. Керамический коррозионно-стойкий распылитель.
- Полипропиленовая коррозионно-стойкая распылительная камера.
- Автоматическая настройка положения горелки на максимальную чувствительность.
- Автоматическая оптимизация потоков горючего газа и окислителя. Авто-коррекция потока горючего газа при работе с органическими пробами или при изменении высоты горелки (патент Японии).
- Автоматический контроль герметичности газовых линий.
- Автоматический поджиг и гашение пламени. Автоматическое переключение воздух/закись.
- Автоматический контроль давления для предотвращения проскока пламени. Датчик вибрации пламени при сейсмоопасности.
- Автоматическое прекращение подачи газов при потухании пламени.
- Блокировка от неправильной установки горелки.
- Автоматическое гашение пламени, автоматическое отключение газов и вентиляция камеры горелки при отключении электроэнергии.

Технические характеристики АА-7000: превосходная чувствительность.



Пламя. Калибровочная кривая для Cu.
1 ppm : 0.175 Abs
C_x=0.025 ppm; DL≈0.008 ppm

Пример анализа методом микродозирования в пламя



Калибровочная кривая, полученная автоматическим разбавлением стандартного раствора 2 ppm Cu с помощью автодозатора ASC-7000 (объем пробы – 90 мкл).

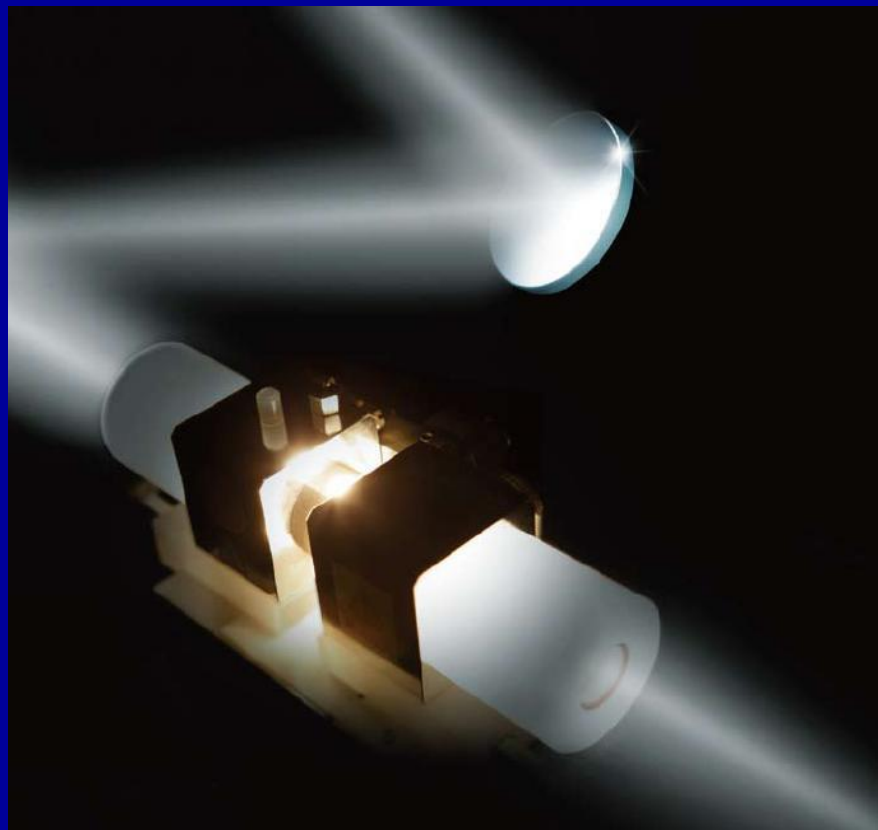
Становится возможным для пламени:

- Автоматическое построение калибровки разбавлением исходного раствора;

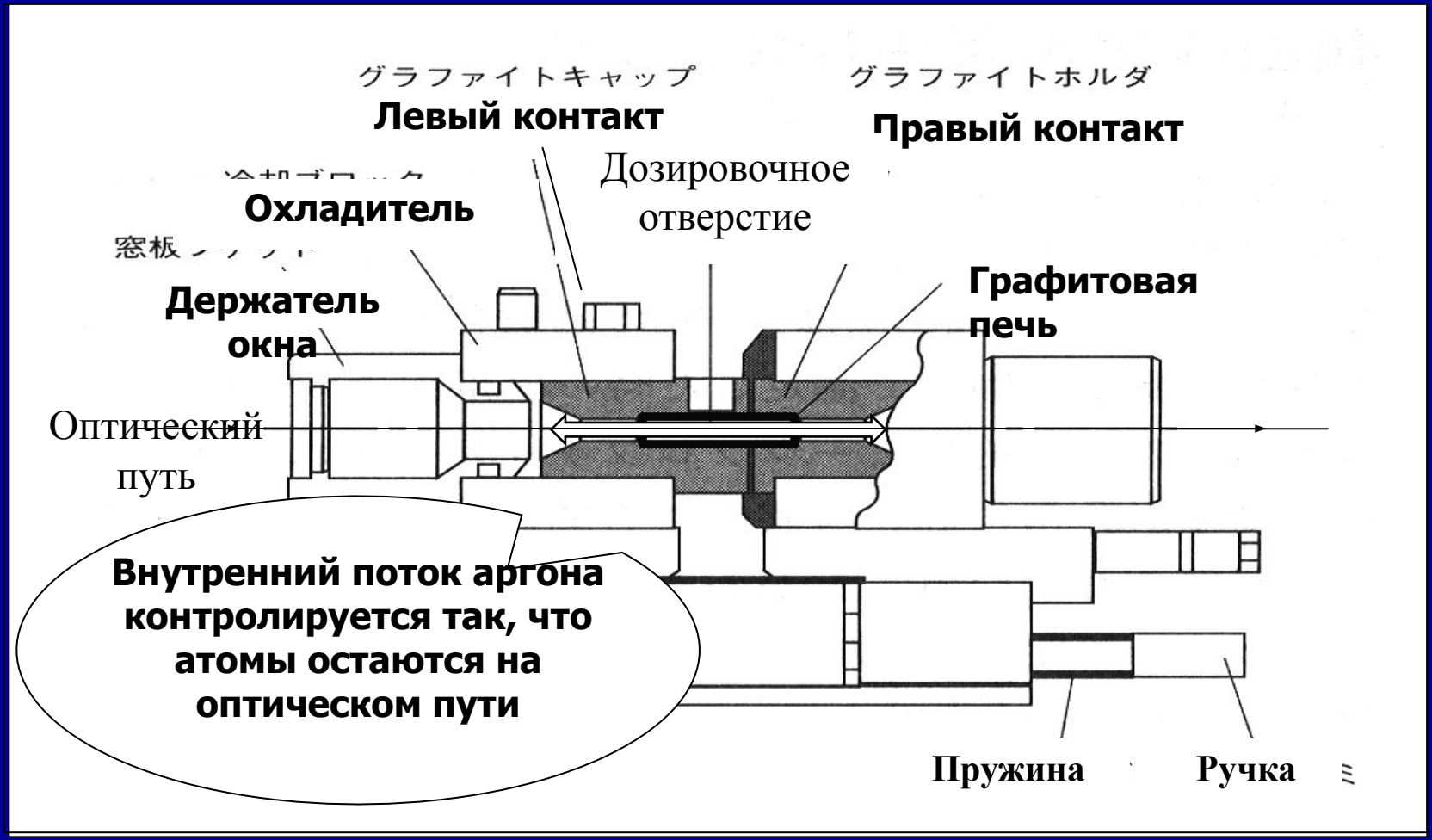
- автоматическое разбавление пробы при выходе за границы линейной калибровки.

Новый электротермический атомизатор GFA-7000

- Продольно нагреваемая профилированная графитовая печь.
- Кюветы: графитовые, с пиропокрытием, с платформой Львова.
- Максимальная температура атомизации 3000^0С при скорости нагрева 2500 град/сек.
- Цифровой оптический контроль температуры, цифровой контроль газовых потоков
- Эффективная длина аналитической зоны превышает 30 мм
- Максимально возможное время пребывания определяемых атомов → максимальная чувствительность.
- Уникальное время жизни печи. Более 2000 циклов нагрева при определении Cr.
- Оценка и учет степени изношенности графитовой печи перед каждым циклом атомизации → постоянная температура сушки независимо от степени износа печи.
- Встроенная CCD камера (опция)
- ПО: Pb – 0.05 мкг/л; Mn – 0.01 мкг/л, Se- 0.1 мкг/л

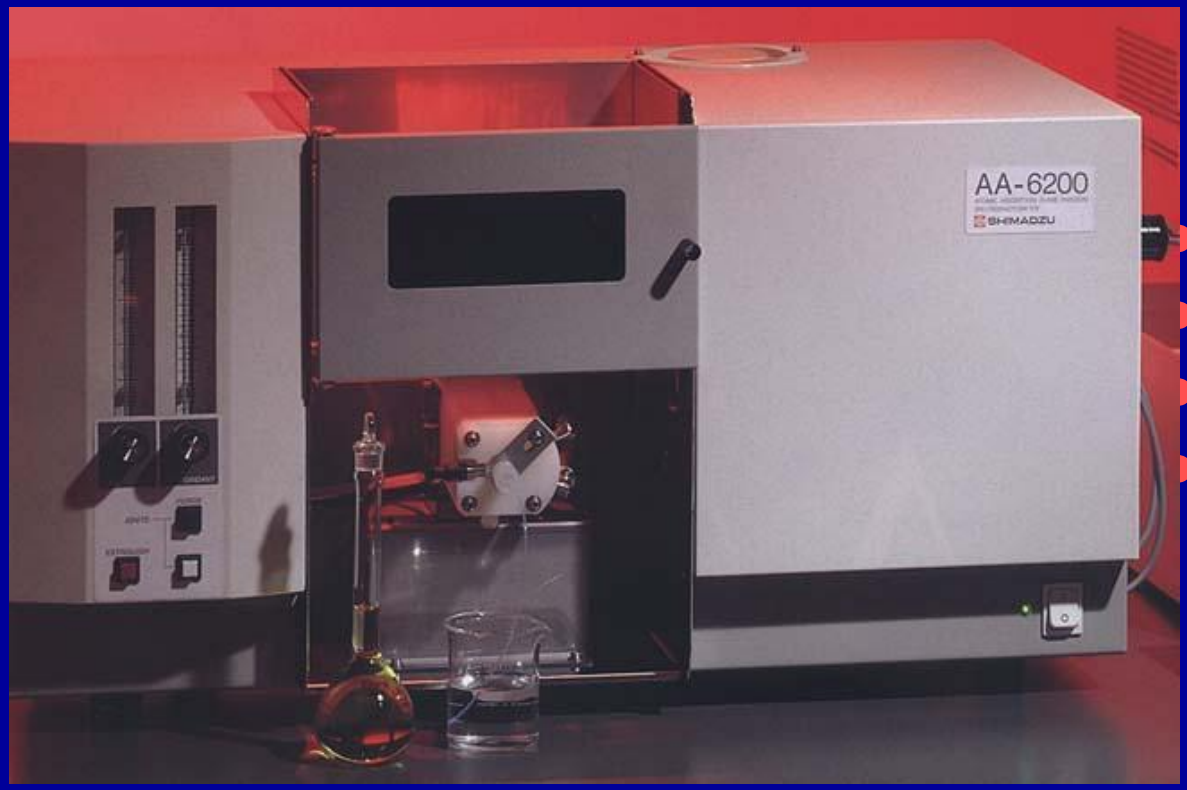


Принципиальная конструкция GFA-7000



Атомно-абсорбционный спектрофотометр АА-6200

Двухлучевая защищенная оптика. Авто-настройка на рабочую длину волны. Пламя, пламя/графитовая печь. D_2 – корректор. Фиксированная горелка. Ручная регулировка газовых потоков. Ручная смена щелей. Держатель на 2 лампы. Автодозатор. Управление и обработка данных – внешний ПК.



- Простой
- Супер-надежный
- Компактный
- ПО ПРИЕМЛЕМОЙ ЦЕНЕ