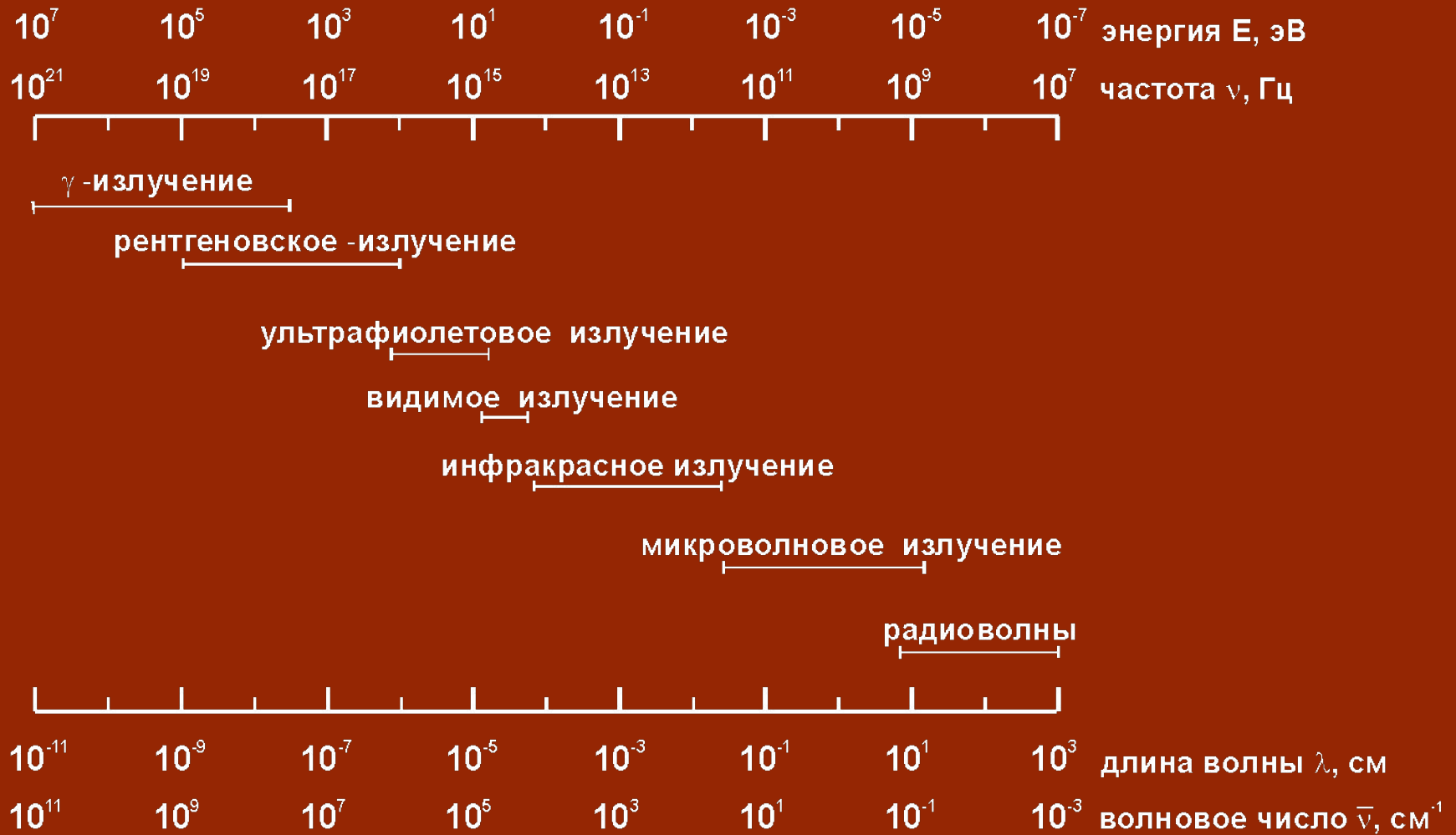


## *Тема № 5*

---

# 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 <sup>-1</sup>	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 универсального 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

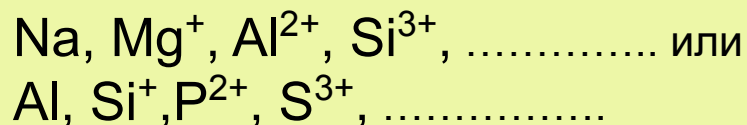
При высокотемпературном воздействии на вещество возможно возникновение трех типов спектров: непрерывных полосатых и линейчатых.

Излучение с *непрерывным спектром* испускается раскаленными твердыми телами.

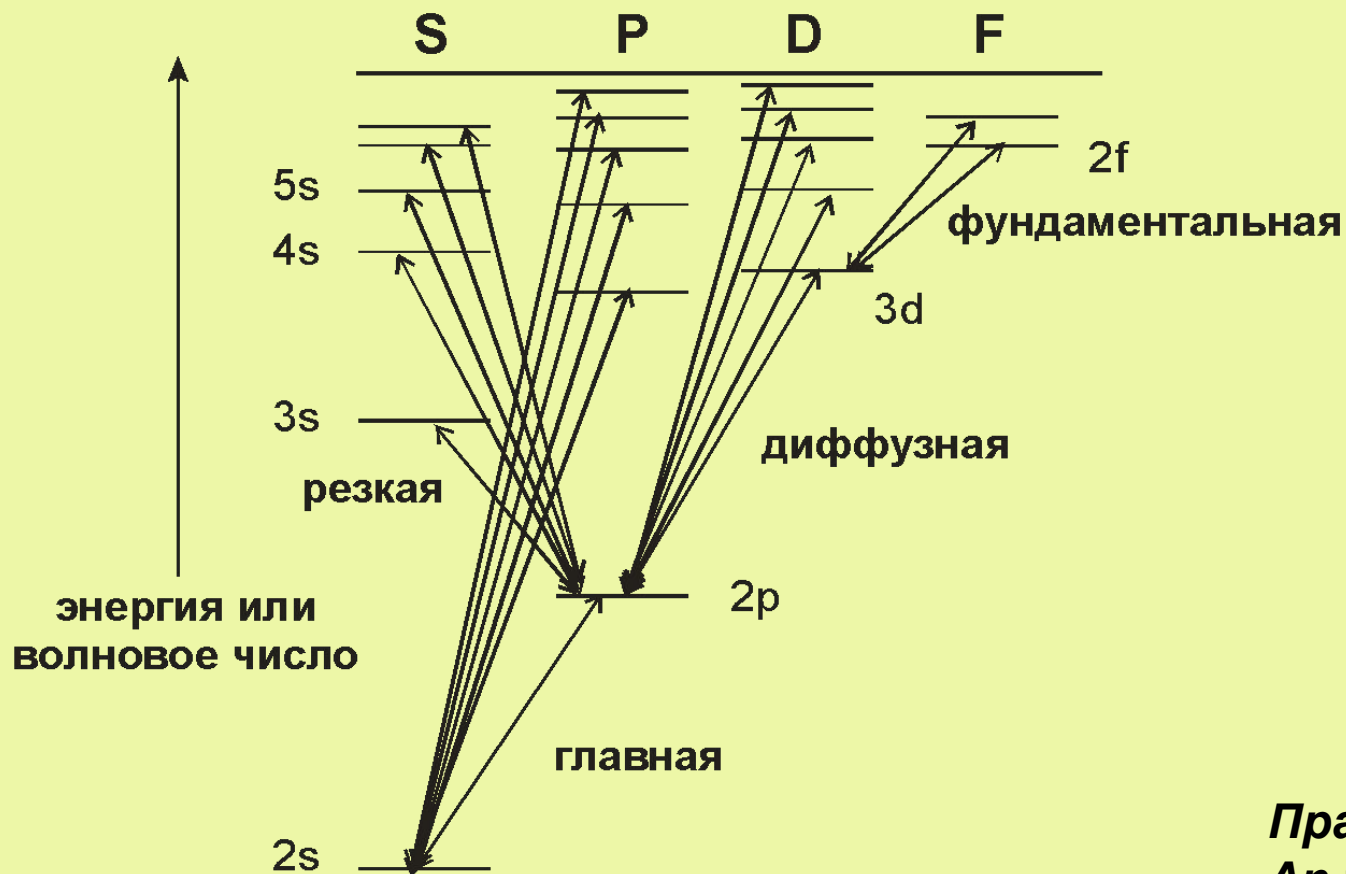
*Полосатые спектры* типичны для молекул, находящихся при высокой температуре. Эти спектры отражают сложные процессы, связанные с изменением электронной, колебательной и вращательной энергии молекул.

*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 Коссея-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 :



# Схемы электронных уровней и переходы между ними (атом лития)



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

**Правило отбора:**

$$\Delta n = 1, 2, 3, \dots$$

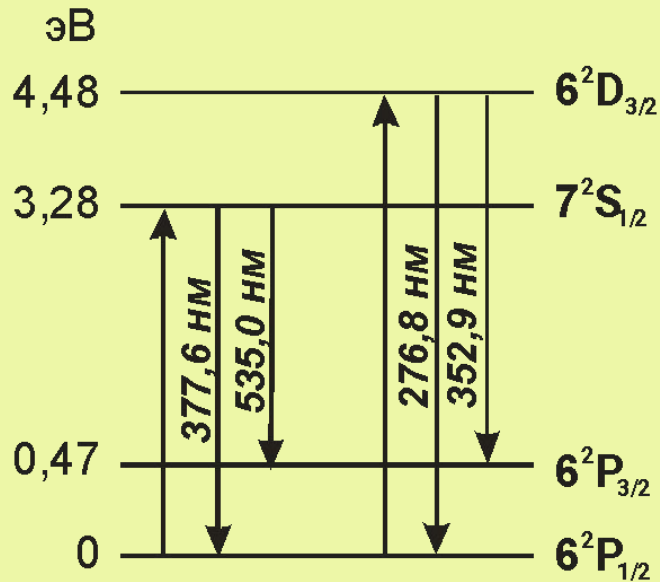
$$\Delta l = \pm 1$$

$$\Delta j = \pm 1 \text{ ил}$$

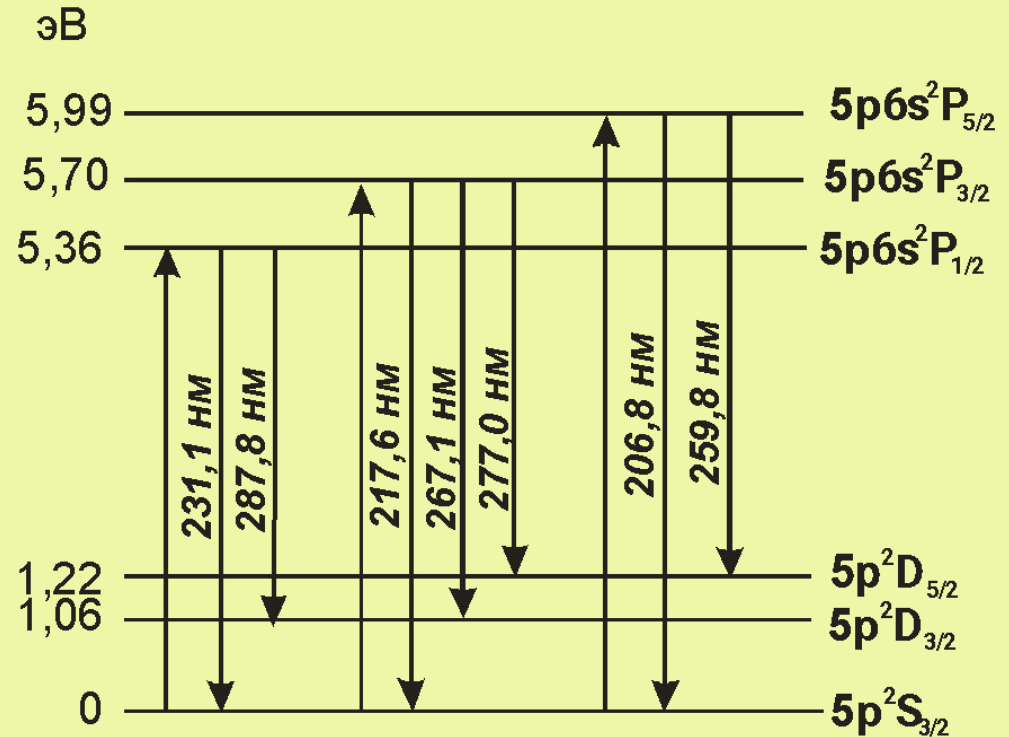
$$\Delta j = 0 \text{ если } j \neq 0$$

# 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

$$1 \text{ эВ} \approx 8000 \text{ см}^{-1} \approx 23000 \text{ кал/мол} \approx 12000 \text{ К}$$

# 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;

$\Delta E$  – разность энергий основного и возбужденного состояний;

$k$  - константа Больцмана ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж·К<sup>-1</sup>).

Для пламени с температурами от 1000 до 4000 К справедливы следующие 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 спектроскопии, 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

Bernhard Welz  
Michael Sperling

# Atomabsorptions- spektrometrie

 WILEY-VCH

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

1997, 1999 гг.

1976, 1985, 1999, 2005 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]

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.

### 1963

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

### 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.

### 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

### 1969

**American Society for Testing and Materials:** Publisher of "Atomic absorption spectroscopy: a

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

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.

### 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.

**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.

**Holm, Paul L.:** Author of "Considerations involving the use of atomic absorption spectroscopy for the

**Publication:** Publication of "Atomic absorption

the use of atomic absorption spectroscopy for the determination of nickel in hydrogenated fats and the use of 1-pyrrolidinedicarboxylic acid as a complexing agent for nickel." Published in 1967.

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.

**Kopito, L. and H. Shwachman:** "Determination of lead in urine by atomic absorption spectroscopy

**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);

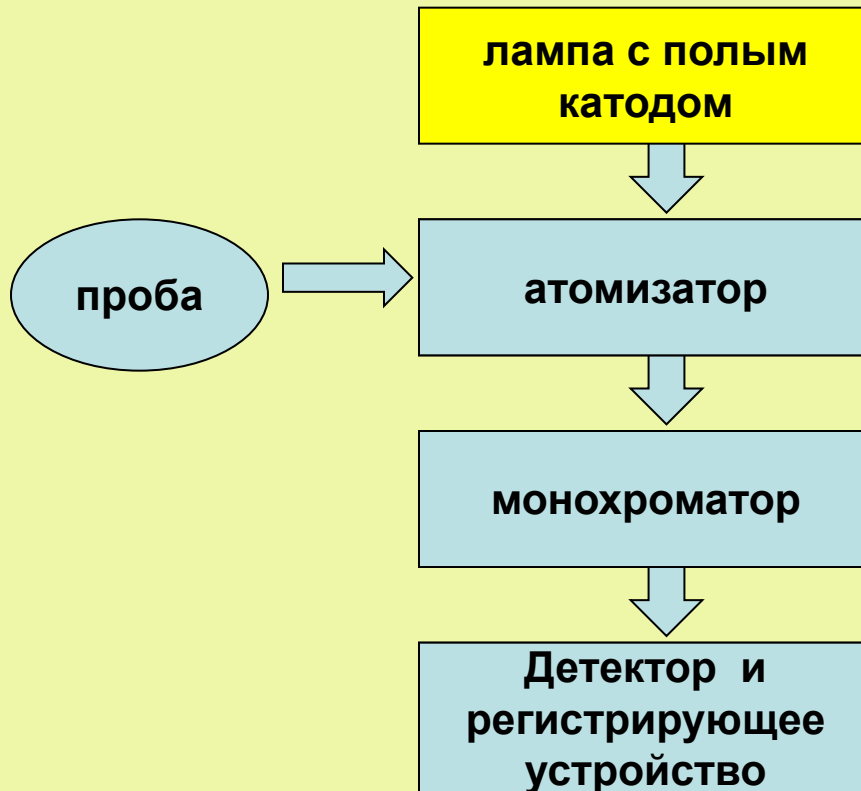
1963 - Метод «холодного пара» (Полуэктов Н.С., Виткун Р.А.);

1965 – пламя  $C_2H_2-N_2O$  (Amos, Willis). Дейтериевый корректор фонф (Koirtjohann, Pickett);

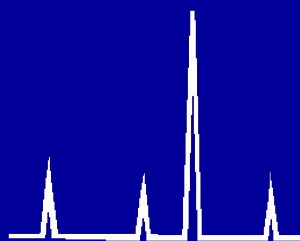
1966 - первая монография по электротермической атомизации (Львов Б.В.);

1967 - графитовая печь (Massmann).

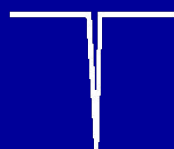
# Принципиальная схема атомно-абсорбционного спектрометра



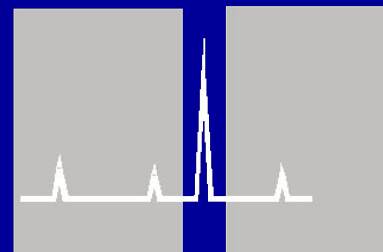
# Атомно-абсорбционный спектрометр



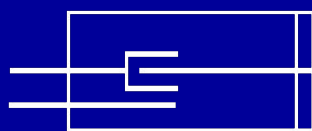
Эмиссионный спектр лампы



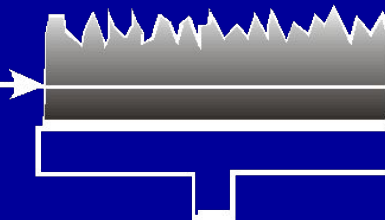
Атомная абсорбция



Выделение линии



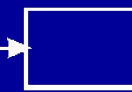
Лампа с полым катодом для получения линейчатого спектра



Пламя для атомизации и проба

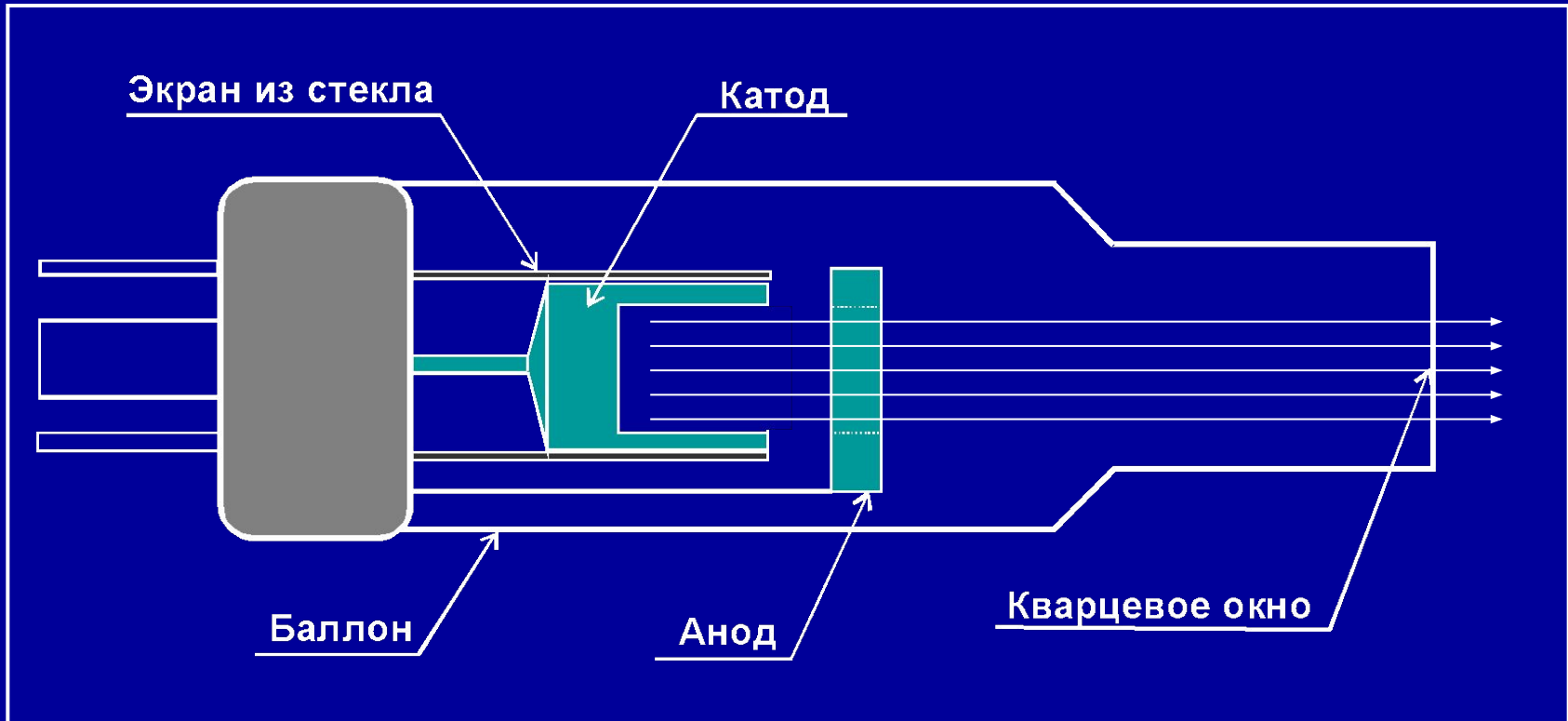


Монохроматор



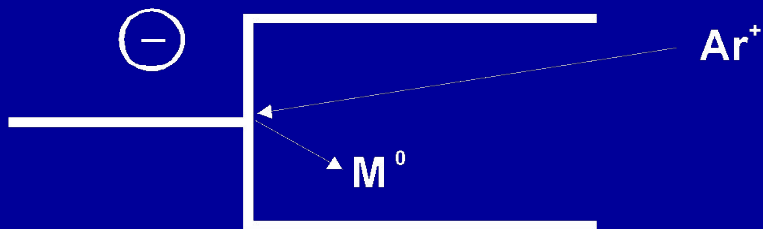
Детектор

# Лампа с полым катодом – источник излучения в атомном спектральном анализе

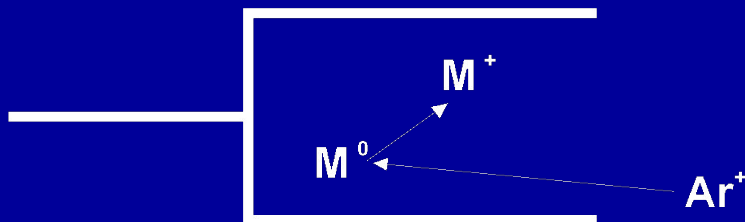


- Газ – наполнитель - Ar или Ne **под низким давлением 1-5 мм рт.ст.**
- Полый катод изготовлен из высокочистого металла, спектр которого необходимо получить.
- Напряжение между катодом и анодом  $\sim 100 \div 400$  В, ток не более 30 ма.

# Процессы в лампе с полым катодом



1 - распыление атомов



2 - возбуждение атомов  
ионами окружающего газа



3 - излучательная  
деактивация  
возбужденных атомов

Для устранения влияния шумовых эффектов, применяют импульсную модуляцию источника

## **Безэлектродная разрядная лампа**

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

**Трубка заполнена несколькими миллиграммами интересующего элемента в среде аргона под давлением в несколько миллибар.**

**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

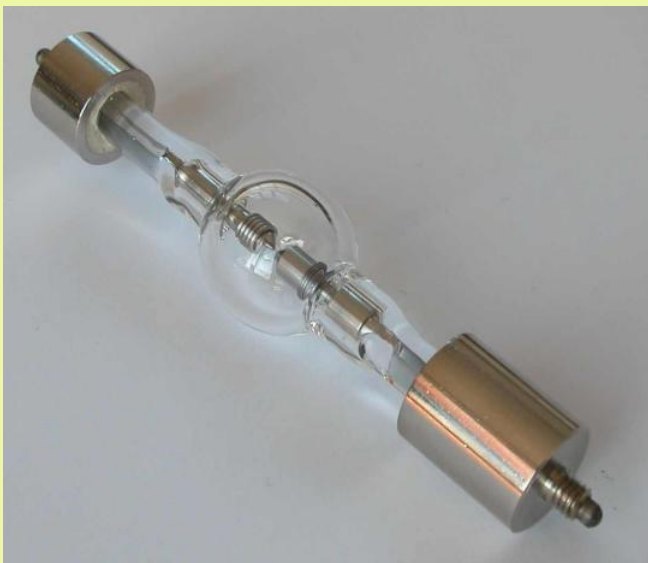
**1966 г.!**

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

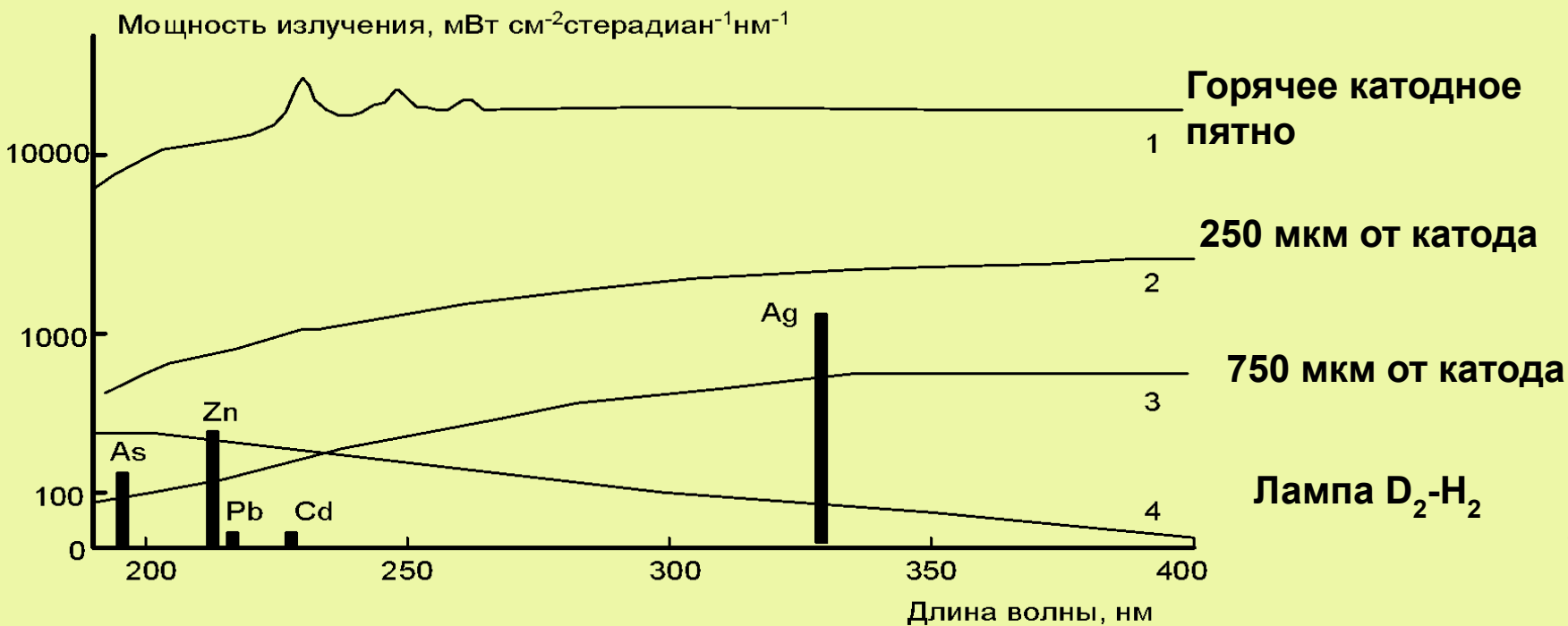
By  
WILLIAM WALTER MCGEE III

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

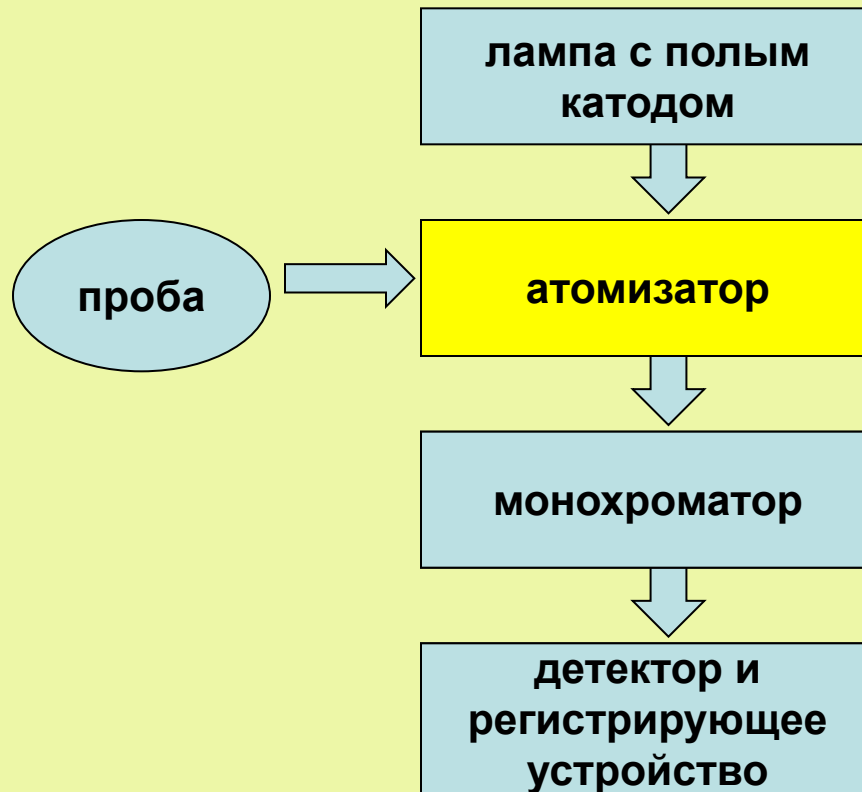
UNIVERSITY OF FLORIDA  
December, 1966



**Ксеноновая лампа  
высокого давления с  
короткой дугой**



# 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 :

- 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  $\nu_0$ , движется со скоростью  $v$ , то регистрируемая прибором частота излучения  $\nu$  будет определяться соотношением:

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

Спектральное распределение интенсивности в доплеровском контуре будет определяться распределением Гаусса.

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

где  $A$  – атомная масса,  
 $R$  – универсальная газовая постоянная

Из выражения Гауса можно получить доплеровское 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  $\Delta\nu_{\text{уд}}$  контура спектральной линии (Лоренцевскому уширению). Происходит это за счет уменьшения времени жизни возбужденного состояния.

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

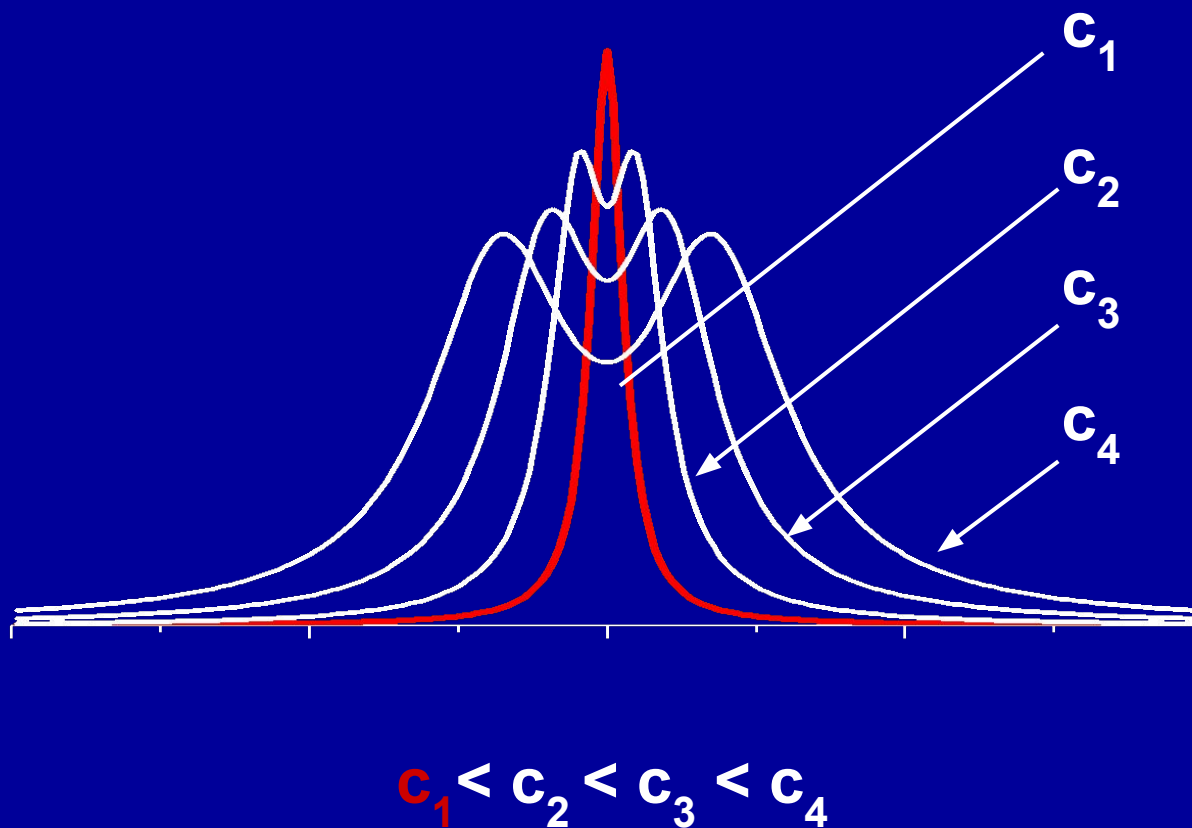
$p$  – давление плазмообразующего газа,  $\sigma$  – сечение уширяющего столкновения,  $A$  – атомная масса излучающего атома,  $M$  – молекулярная масса плазмообразующего газа.

Лоренцевский контур спектральной линии излучения:

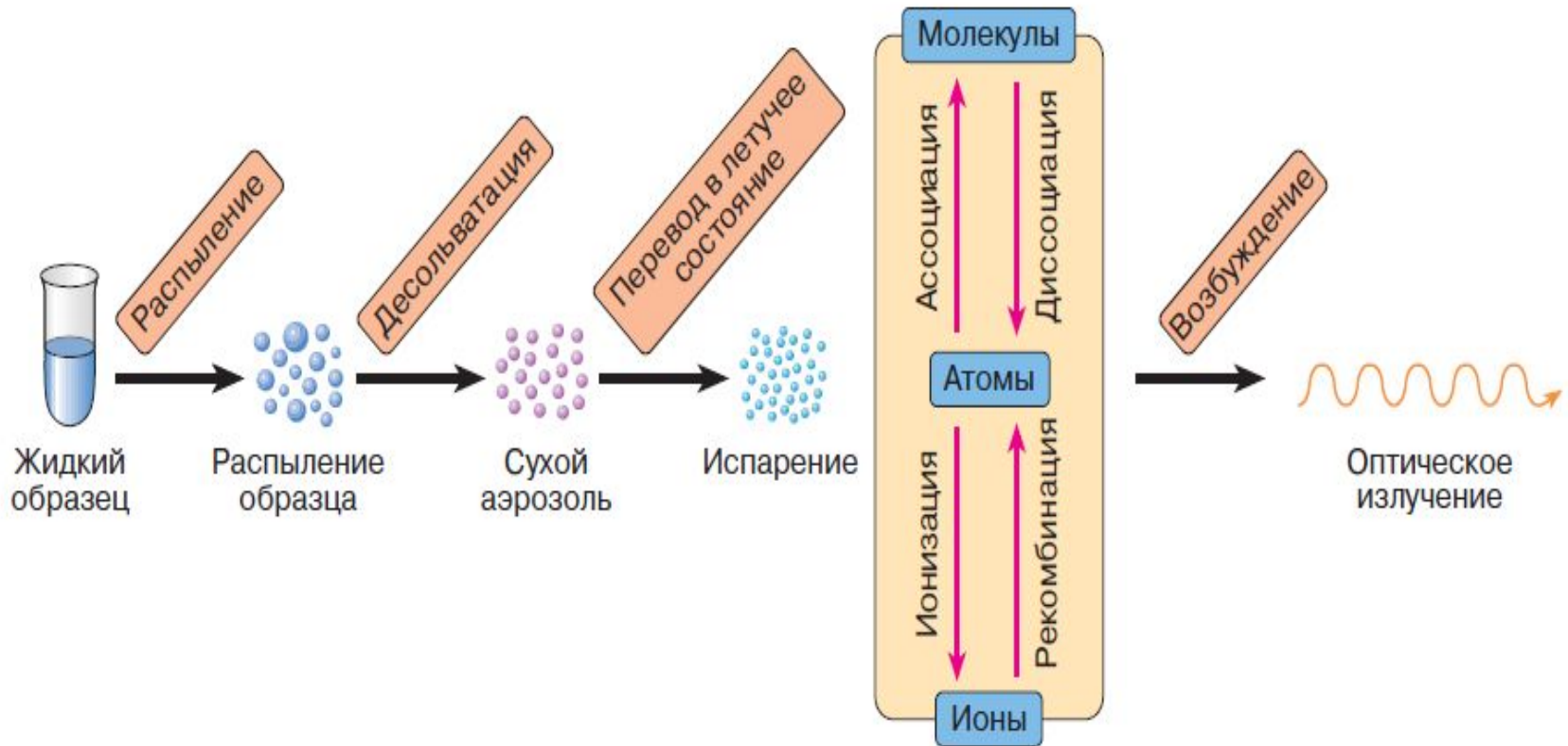
$$I_{\text{óä}} = \frac{I_0}{4 \left[ (\nu - \nu_0) / \Delta\nu_{\text{óä}} \right]^2 + 1}$$

Лоренцевское уширение на 2-3 порядка больше естественной ширины.

# Изменение интенсивности и контура спектральной линии с увеличением оптической толщины плазмы источника



# Превращения жидкого образца при вводе пробы в методах атомной спектроскопии





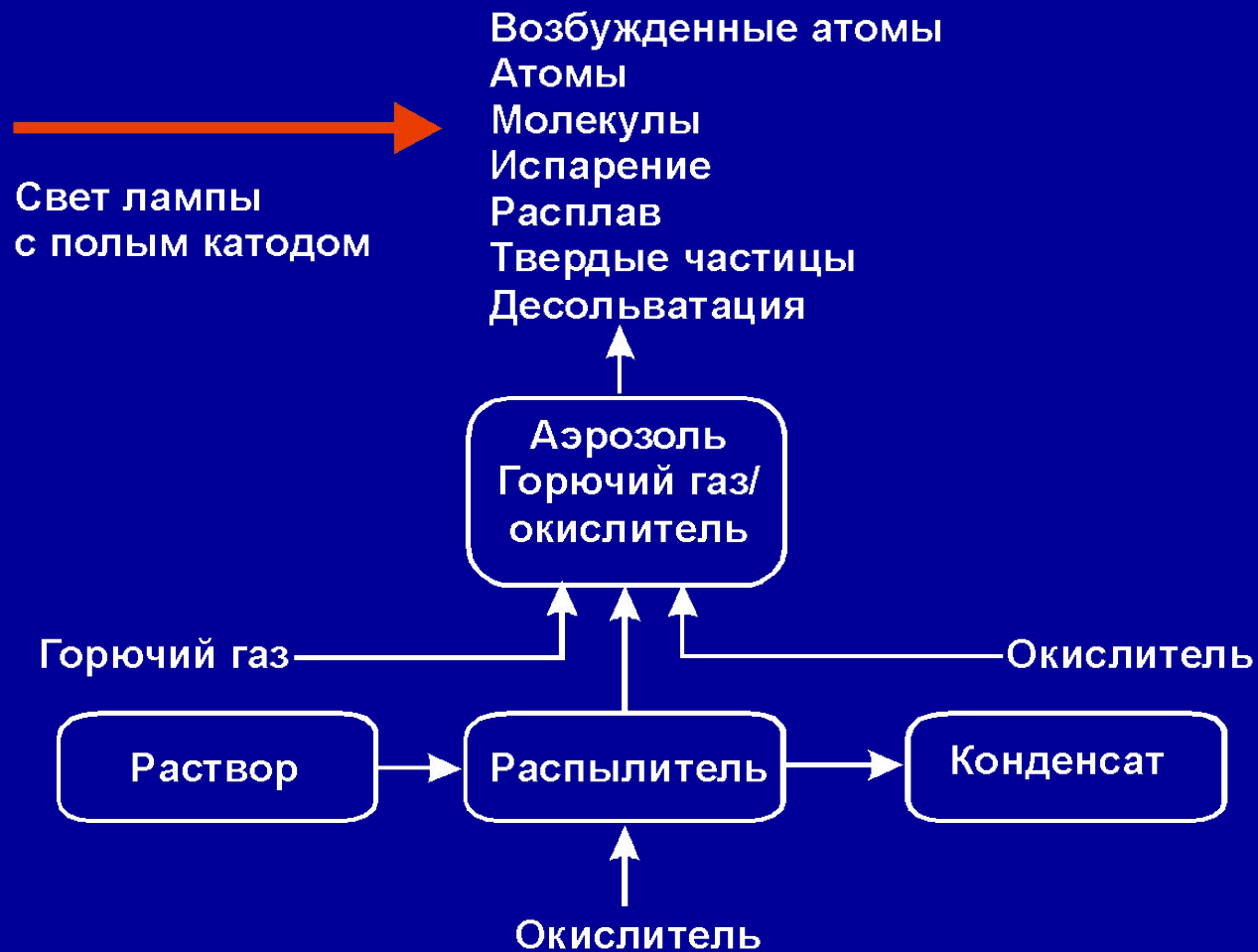
# Атомизация в пламени

Составы газовых смесей для пламенной ААС:

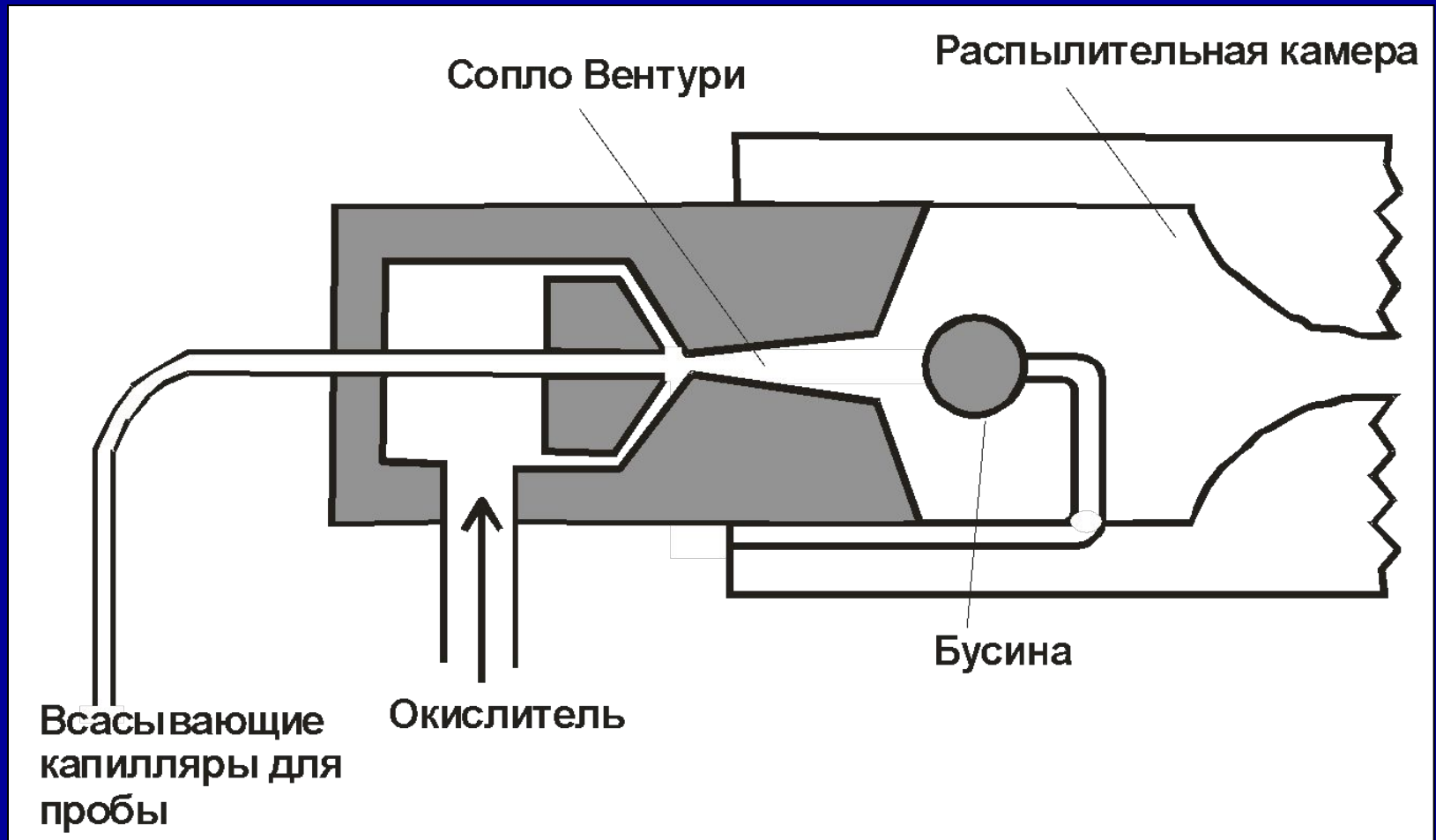
Газовая смесь (горючий газ – окислитель)	Температура, К	Определяемые элементы
ацетилен - воздух	до 2500	большинство
ацетилен - закись азота	до 3100	B, Al, Si, Be, элементы 3-5 побочных подгрупп
водород - воздух	до 2300	As, Se
метан - воздух	до 2000	щелочные металлы

Пламенная абсорбционная спектроскопия ограничивается анализом растворенных проб

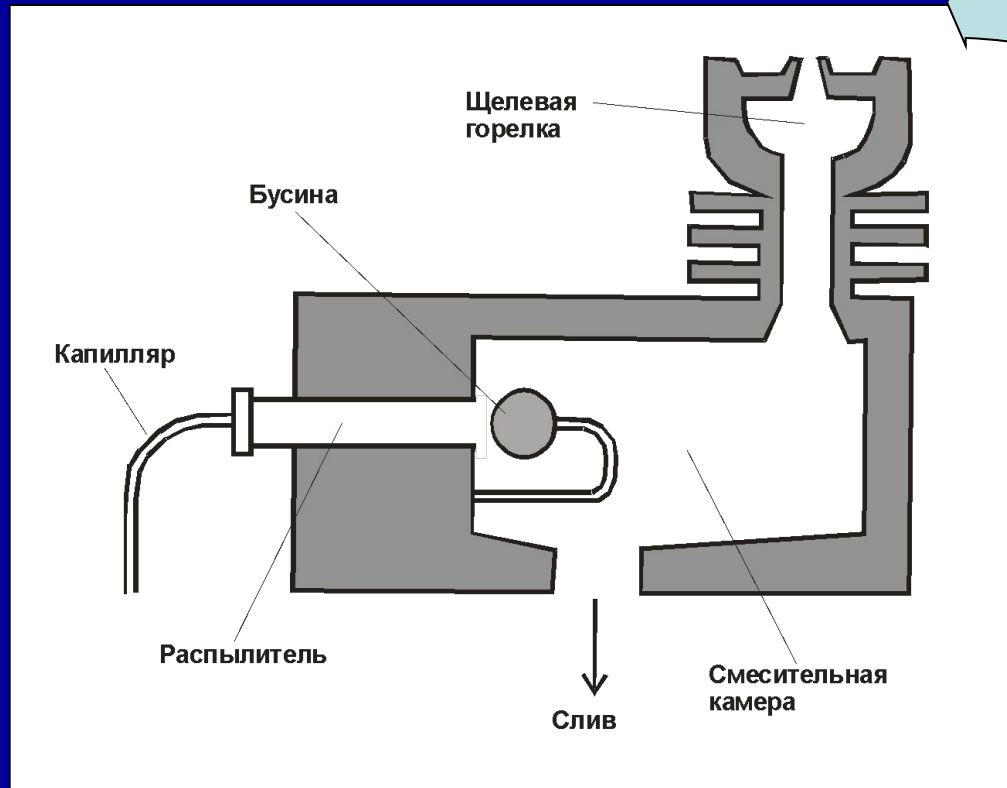
# Атомизация в пламени



# 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....

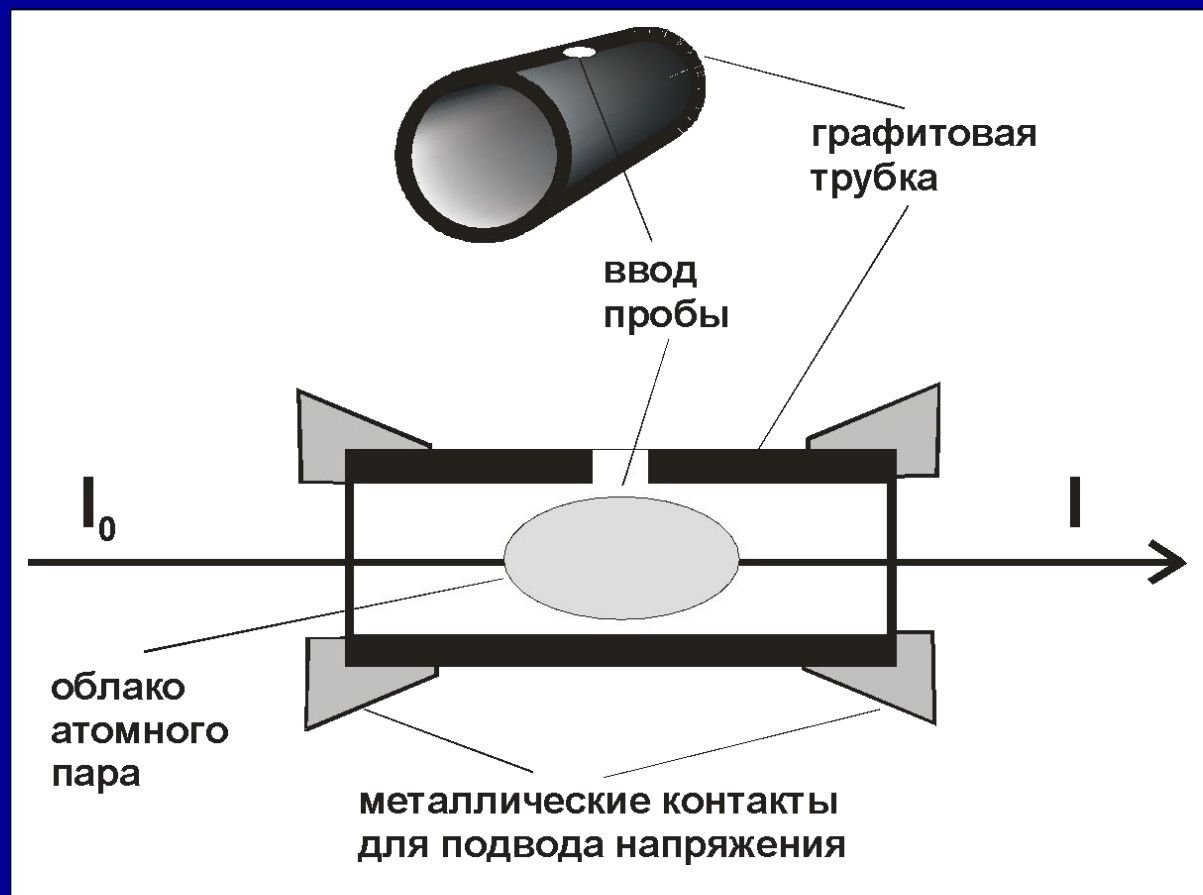
**Возбуждение** - определяется законом распределения Больцмана.

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

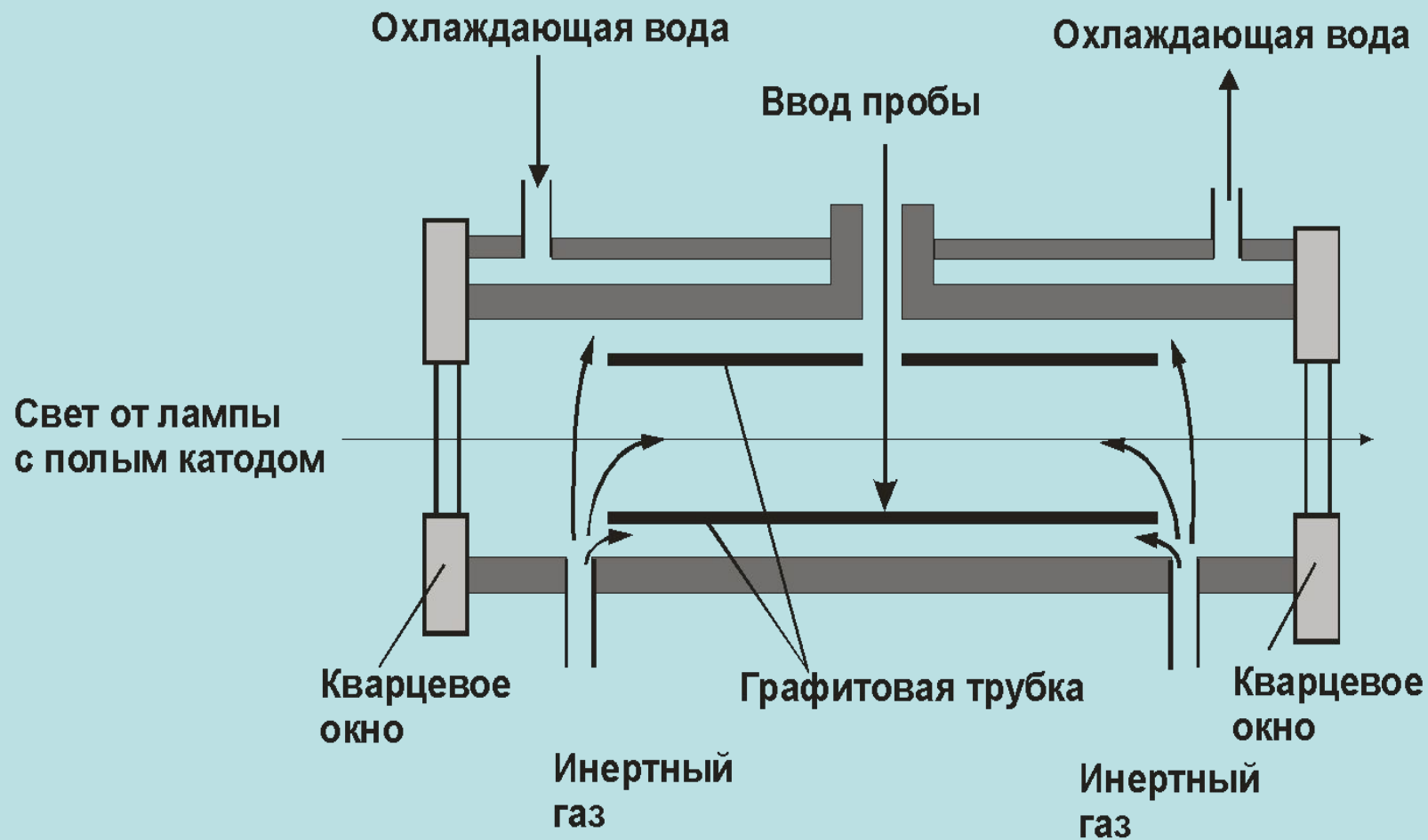
Для поддержания парциального давления электронов на постоянном и высоком уровне к пробе часто добавляют избыток соли легко ионизирующегося элемента, например, натрия или калия. Такие добавки называют **спектрскопическими буферами**.

# 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

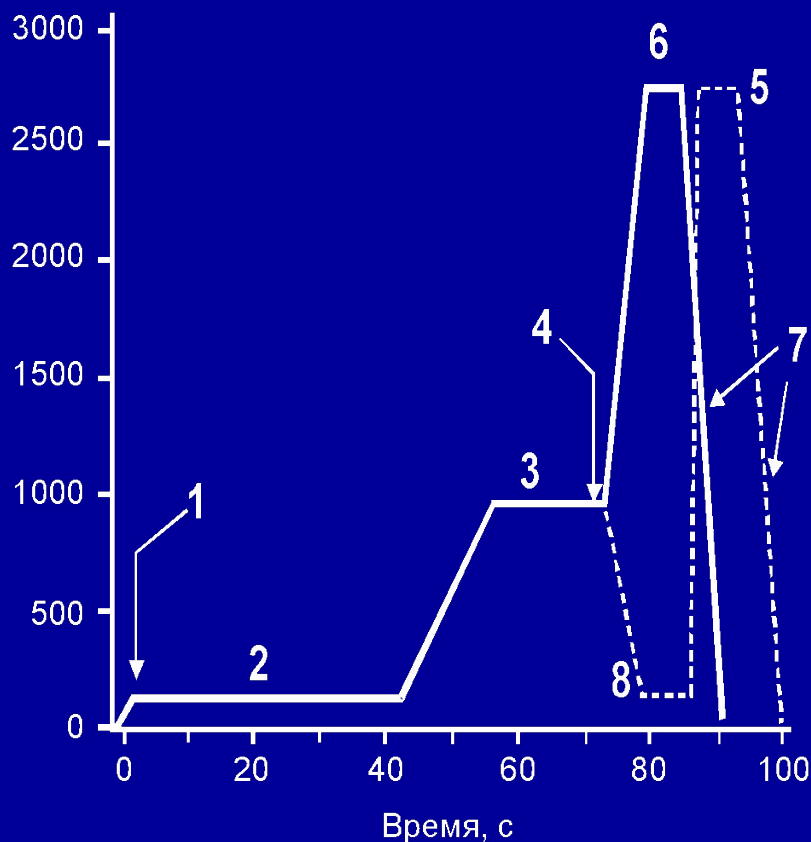


# Температурная характеристика при атомизации в графитовой печи

## Электротермическая программа

состоит из нескольких последовательных стадий нагрева:

Температура, °C



**-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

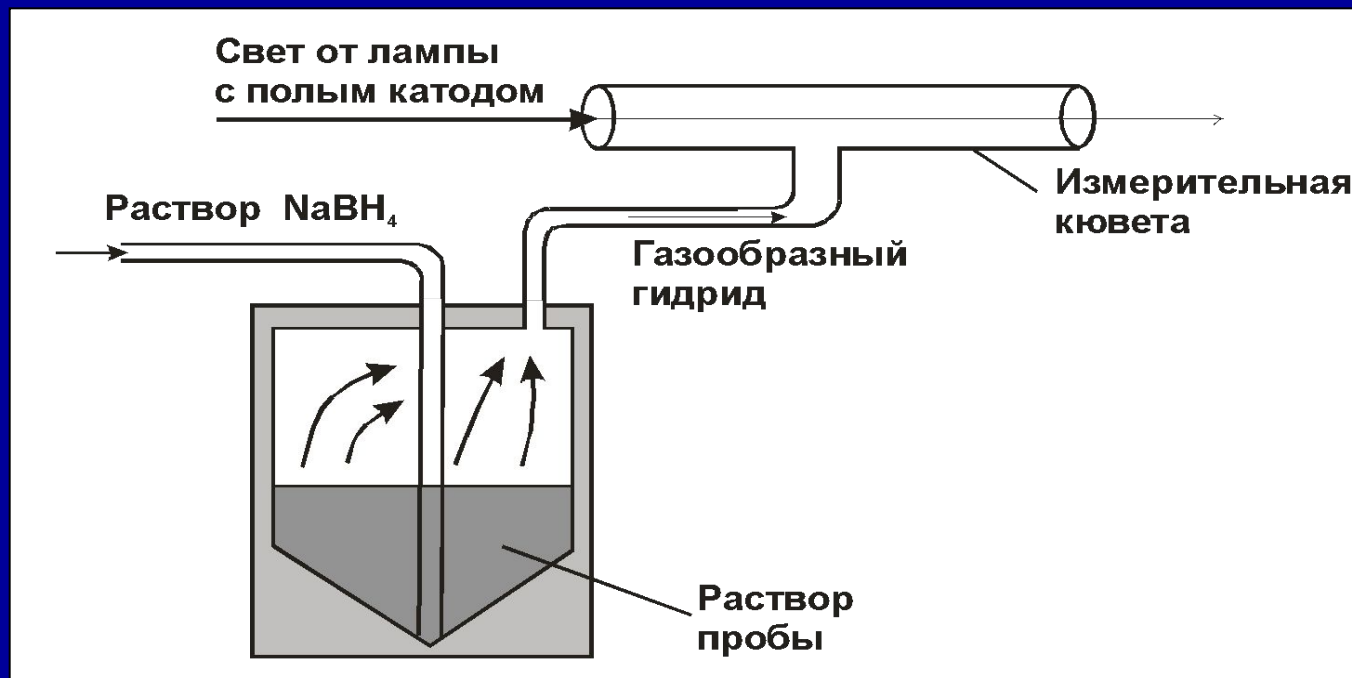
**-Атомизация** (6), в течение которой происходит диссоциация молекулярных частиц определяемого элемента при высокой температуре и реализуется формирование свободных атомов определяемого элемента. Скорость нагрева должна быть высокой (2000°C/c)

1 - поток Ag включен, 2 – высушивание, 3 – озоление, 4 – поток Ag выключен, 5 – поток Ag 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 – бортetraгидрид натрия.

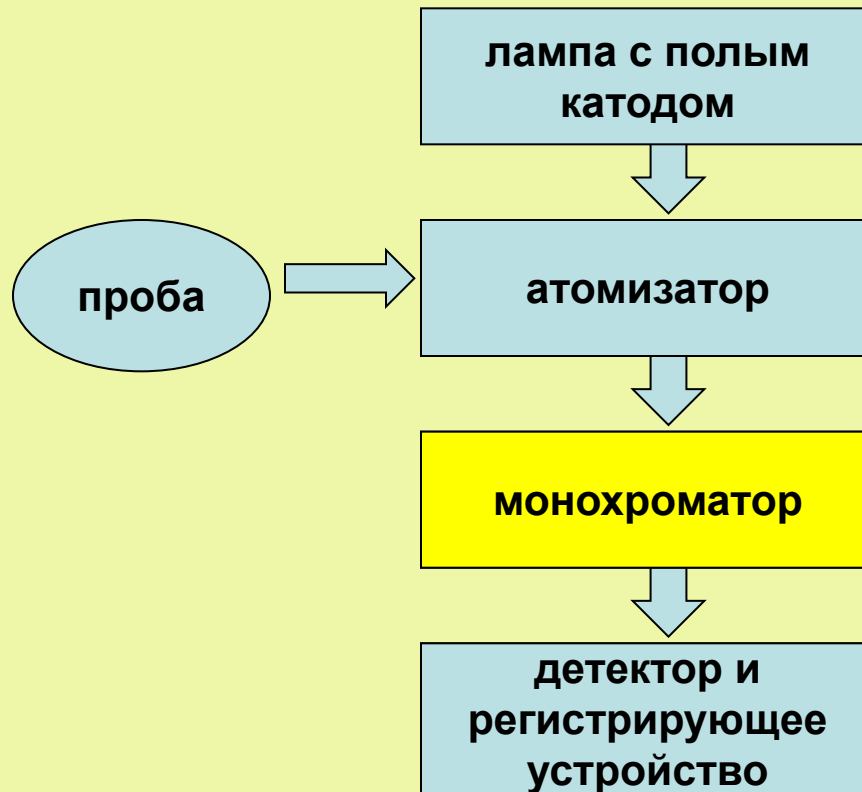


## Критерии выбора подходящего способа атомно-абсорбционной спектроскопии

Разные способы атомно-абсорбционной спектроскопии:

<b>С пламенем</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- высокая точность</li><li>- высокая скорость</li><li>- предел обнаружения в области миллионных долей</li></ul>
<b>С графитовой трубчатой печью</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- предел обнаружения от миллиардных до триллионных долей</li><li>- работа с микропробами</li><li>- возможность дозирования твердых образцов</li></ul>
<b>С гидридами и холодными парами</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- наилучшие пределы обнаружения для Hg, As, Bi, Sb, Se, Sn, Te</li><li>- относительно отсутствие интерференций</li></ul>

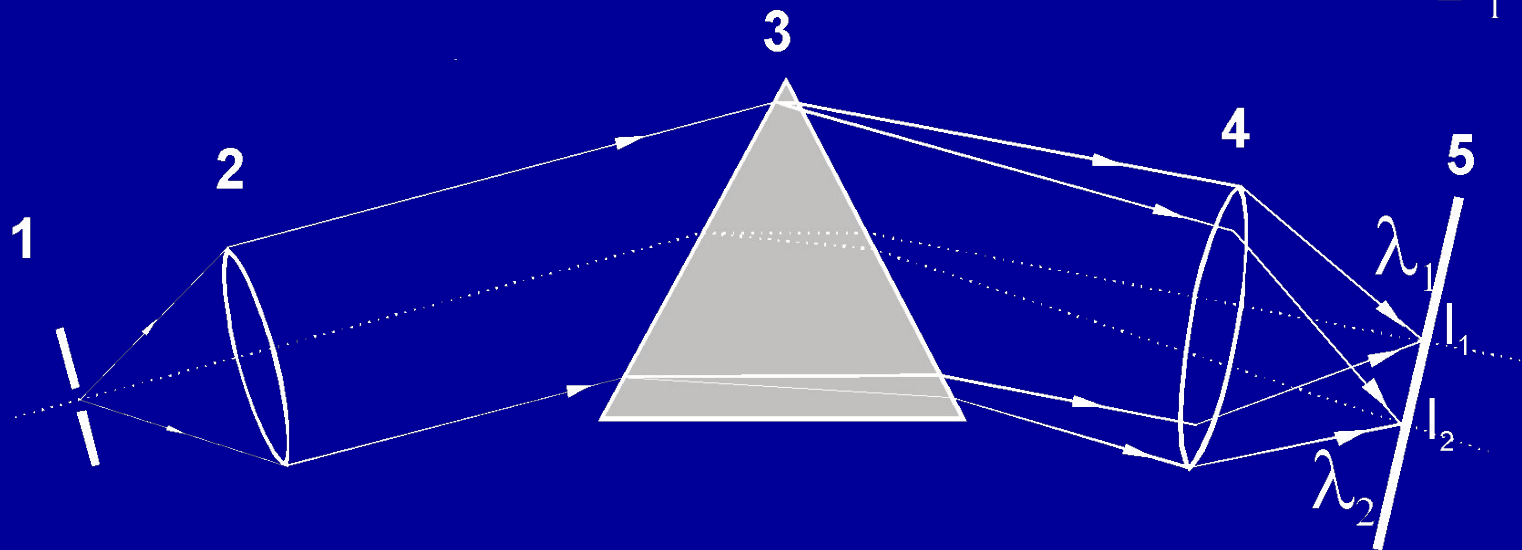
# Принципиальная схема атомно-абсорбционного спектрометра



# Монохроматизация излучения в методах атомного оптического спектрального анализа

Линейная дисперсия  $D_1$  является одной из важнейших характеристик спектрального прибора.

$$D_1 = \frac{dl}{d\lambda}$$



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

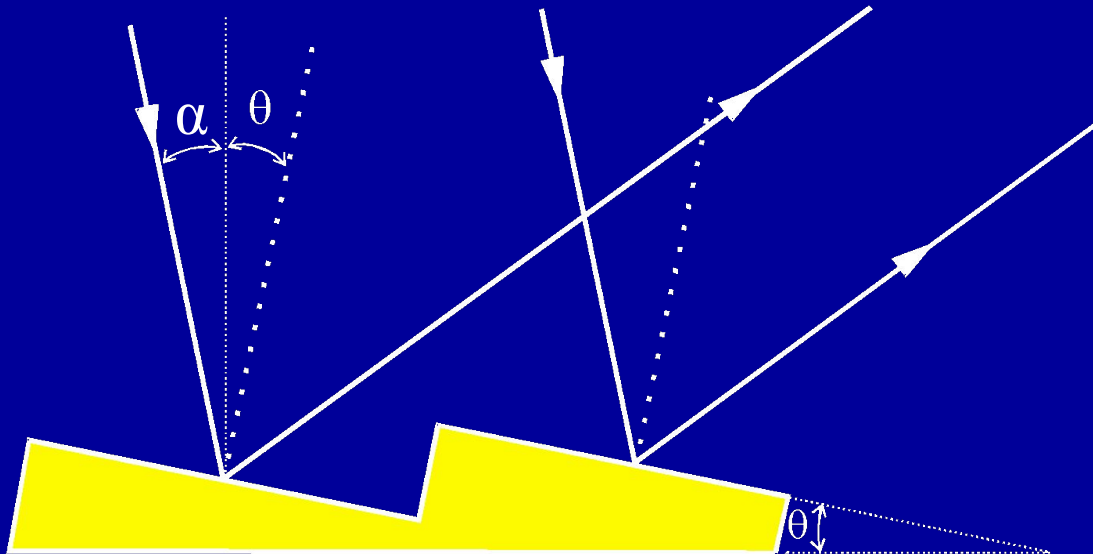
$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \quad - \text{ разрешающая способность прибора}$$

## Применение дифракционных решеток

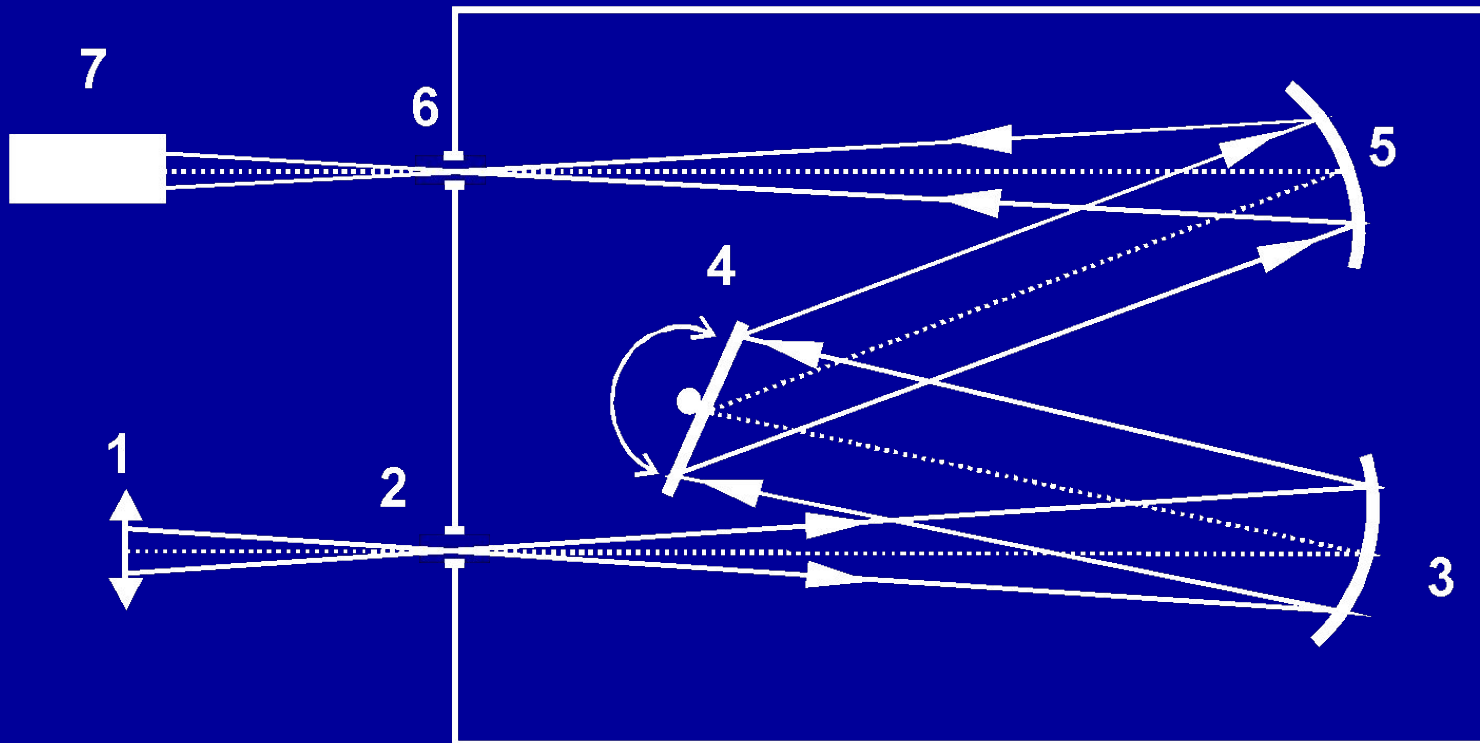
Основные параметры дифракционных решеток:

- 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  $\theta$  между нормалью к поверхности решетки и нормалью к поверхности штриха для штрихов пилообразной формы.

Типичные значения:  $n \sim 1000 \div 4800$  штрих  $\text{мм}^{-1}$ ;  $W \sim 100$  мм;  $\alpha = 20^\circ$

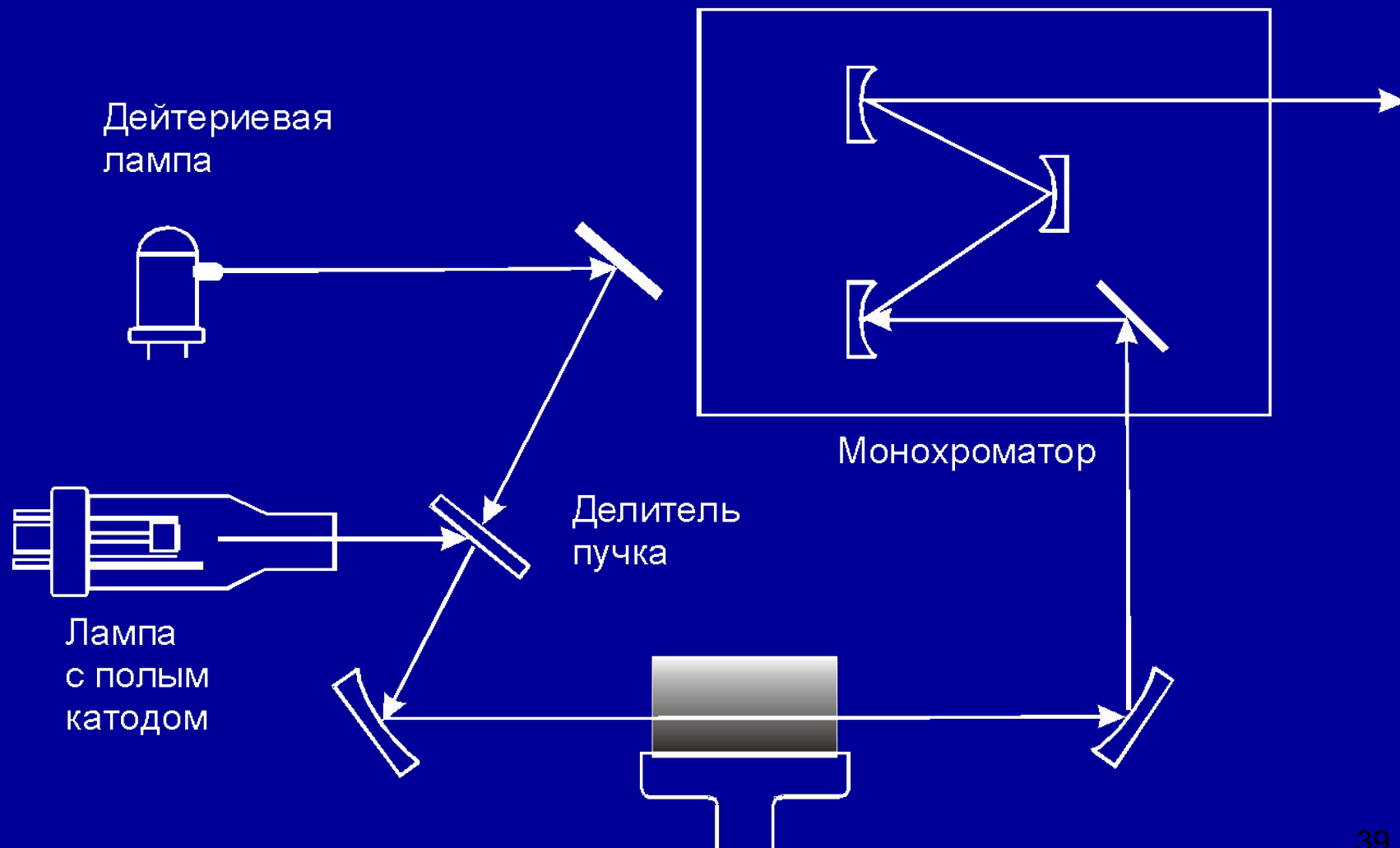


# Применение оптической схемы в качестве монохроматора. Схема Черни-Тернера

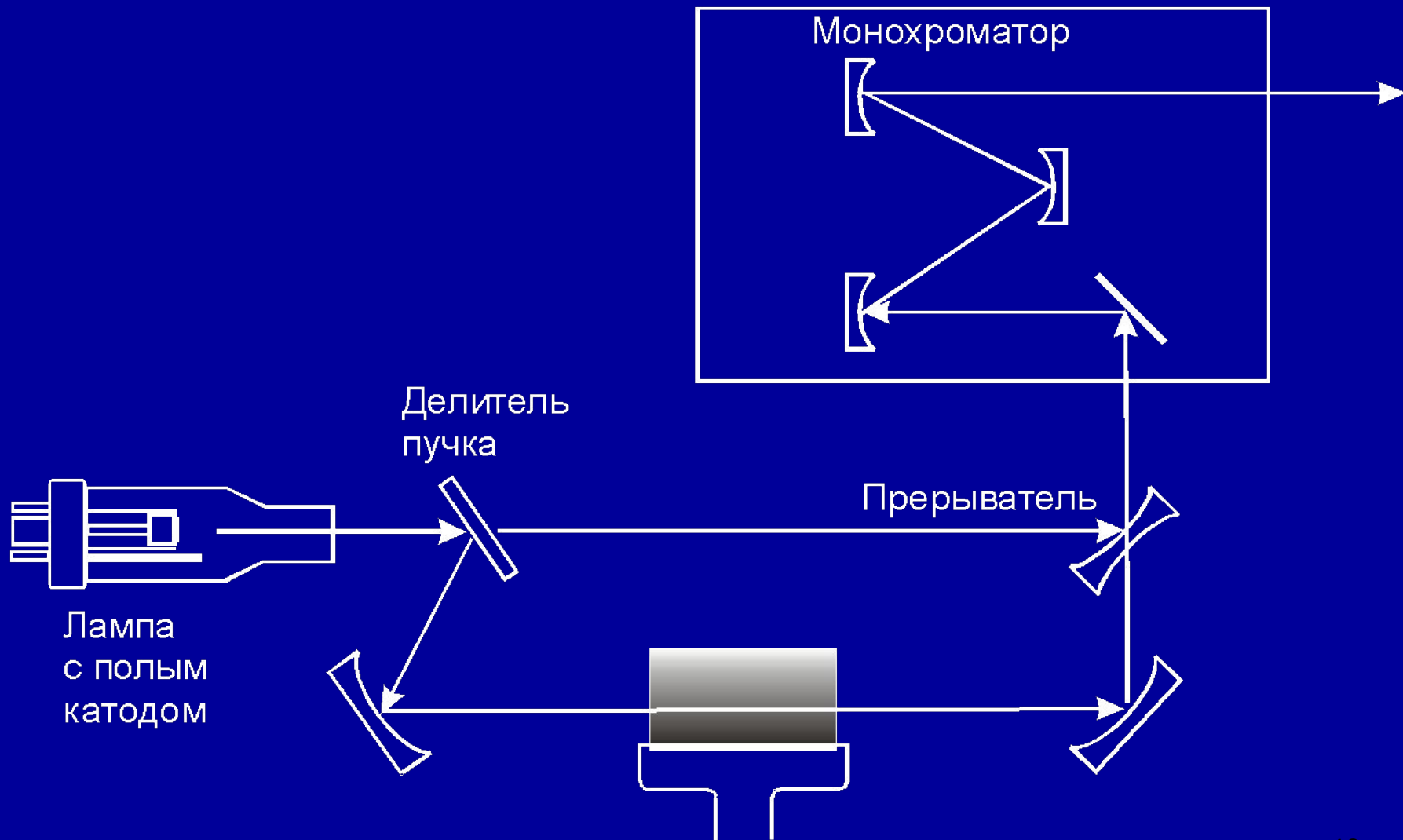


- 1 – фокусирующая линза;
- 2 – входная щель;
- 3 – коллиматорное вогнутое зеркало;
- 4 – вращающаяся плоская решетка;
- 5 – вогнутое зеркало объектива;
- 6 – выходная щель;
- 7 - детектор

# Однолучевой атомно-абсорбционный спектрометр с дейтериевой компенсацией

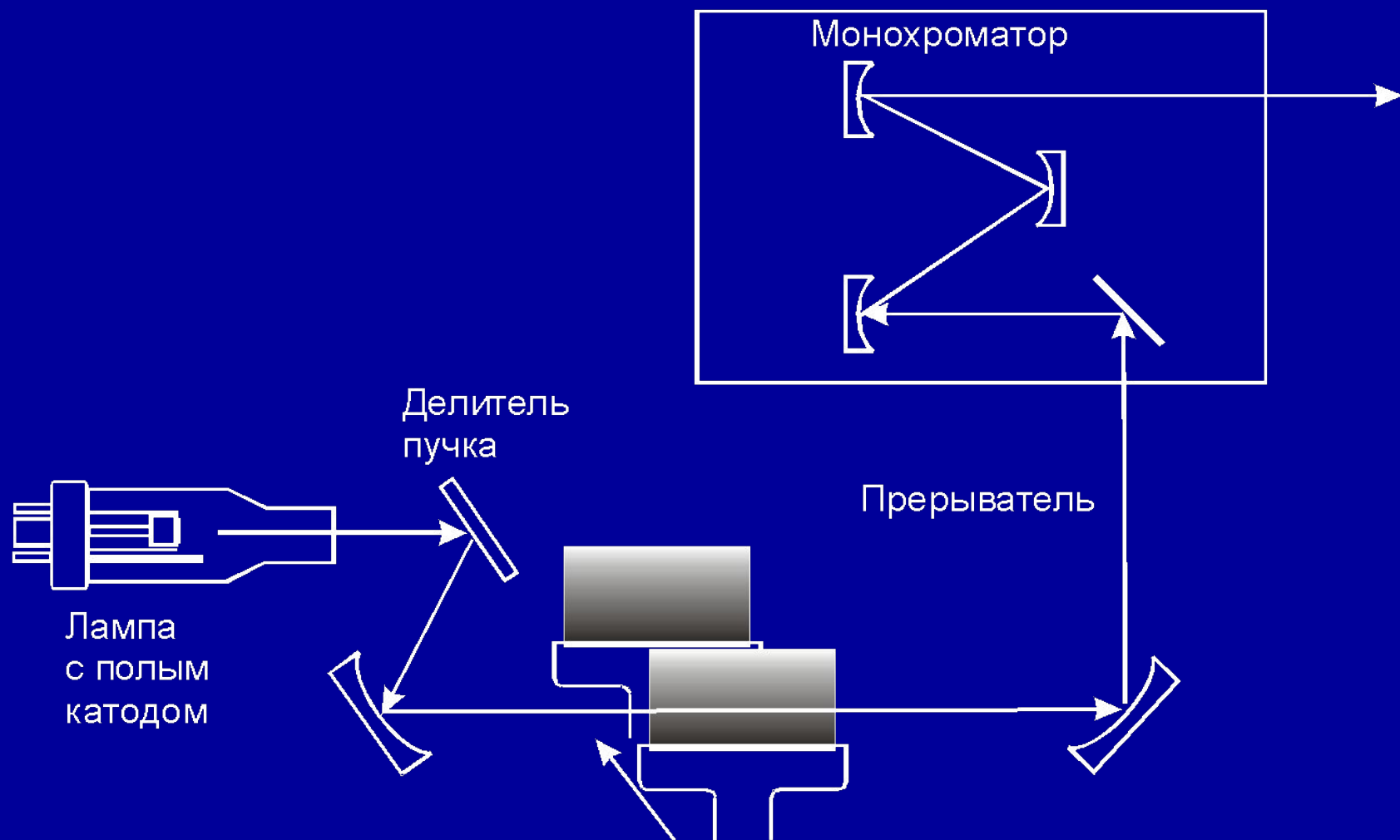


# Двухлучевой атомно-абсорбционный спектрометр





# 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

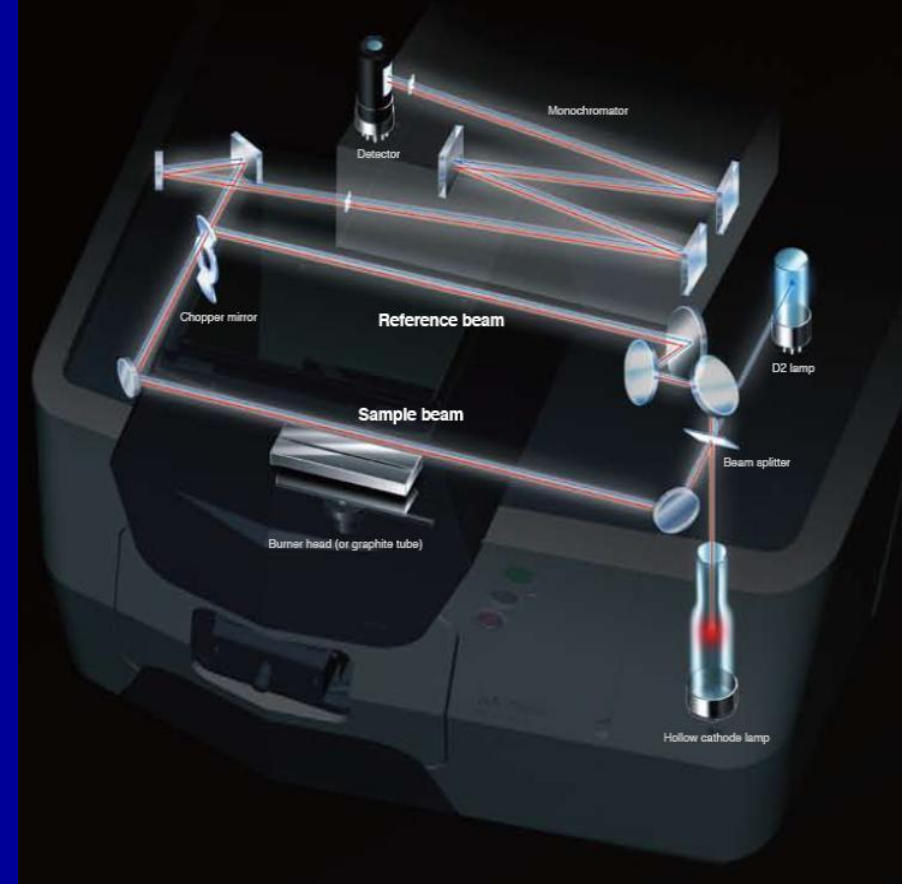
AA-7000G Furnace Model (with options attached)

# Конфигурации АА-7000

- **Системы с пламенной атомизацией АА-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 АА-7000G.**
  - печь, автоюстировка, без автодозатора (опция ССD камера)
  - печь, автоюстировка, с автодозатором (опция ССD камера)
- **Системы с двойной атомизацией : пламенной и электротермической АА-7000FG.**
  - пламя и печь, автоматическая смена и юстировка атомизаторов, автодозатор (опция ССD камера).

## AA-7000. Оптика

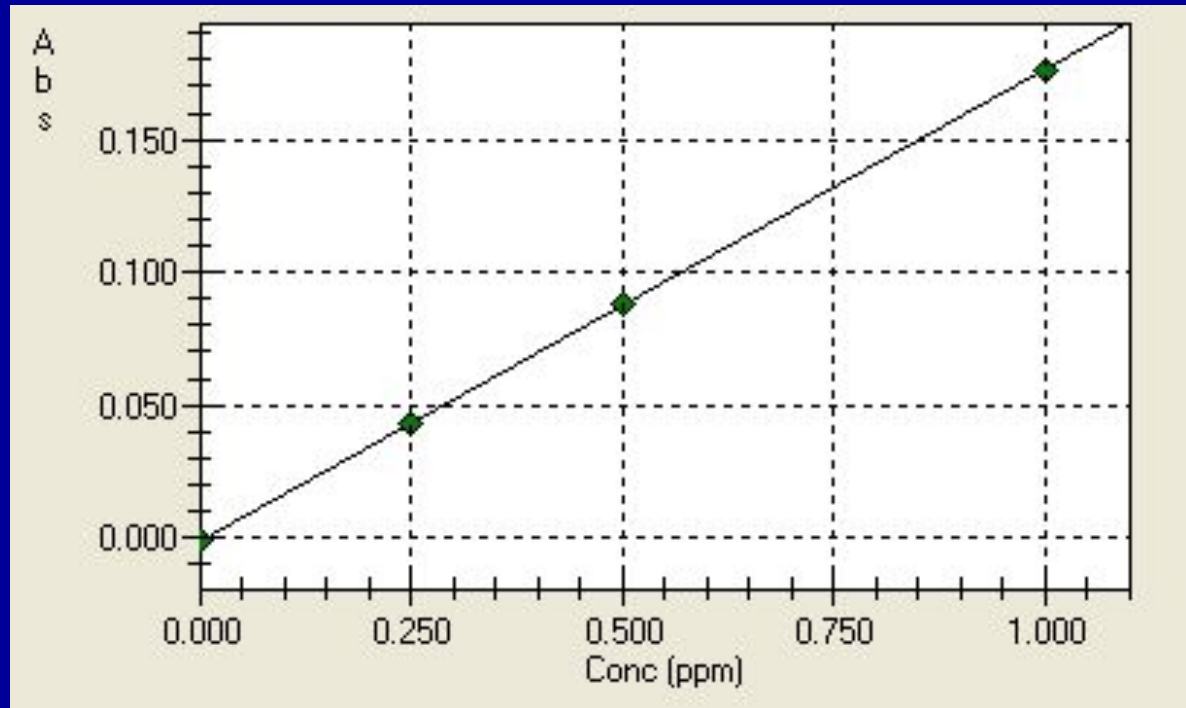
- ❖ 3-мерная 2-лучевая оптическая схема, возможность автоматического переключения в 1-лучевой режим. Регулируемый аттенюатор. Монохроматор Черны-Тернера
- ❖ Спектральный диапазон 185-900 нм.
- ❖ Детектор: ФЭУ.
- ❖ Автоматическая настройка на длину волны определяемого элемента.
- ❖ Спектральная щель 0.2; 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.



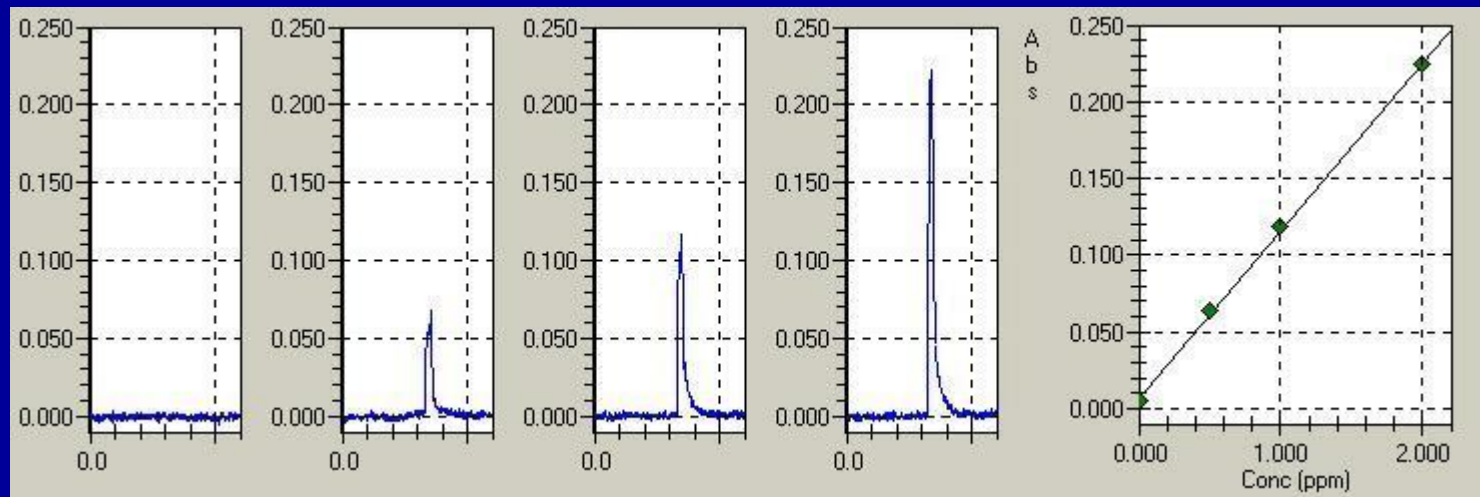
Пламя. Калибровочная кривая для Си.

1 ppm : 0.175 Abs

$C_x = 0.025$  ppm;  $DL \approx 0.008$  ppm



# Пример анализа методом микродозирования в пламя



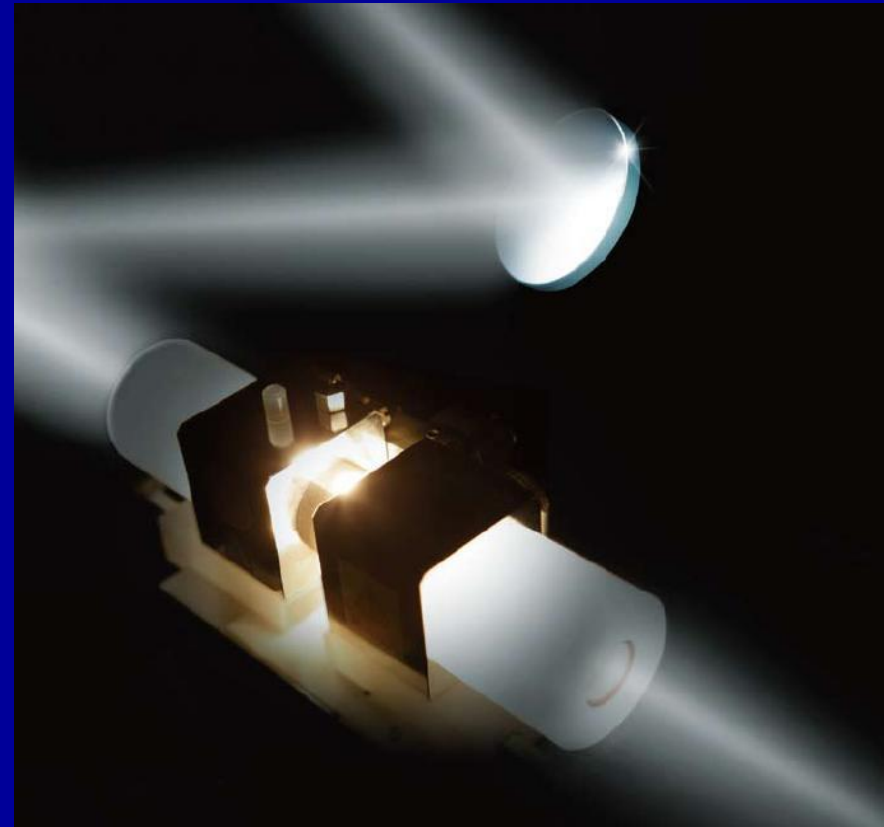
Калибровочная кривая, полученная автоматическим разбавлением стандартного раствора 2 ppm Cu с помощью автодозатора ASC-7000 (объем пробы – 90 мкл).

Становится возможным для пламени:

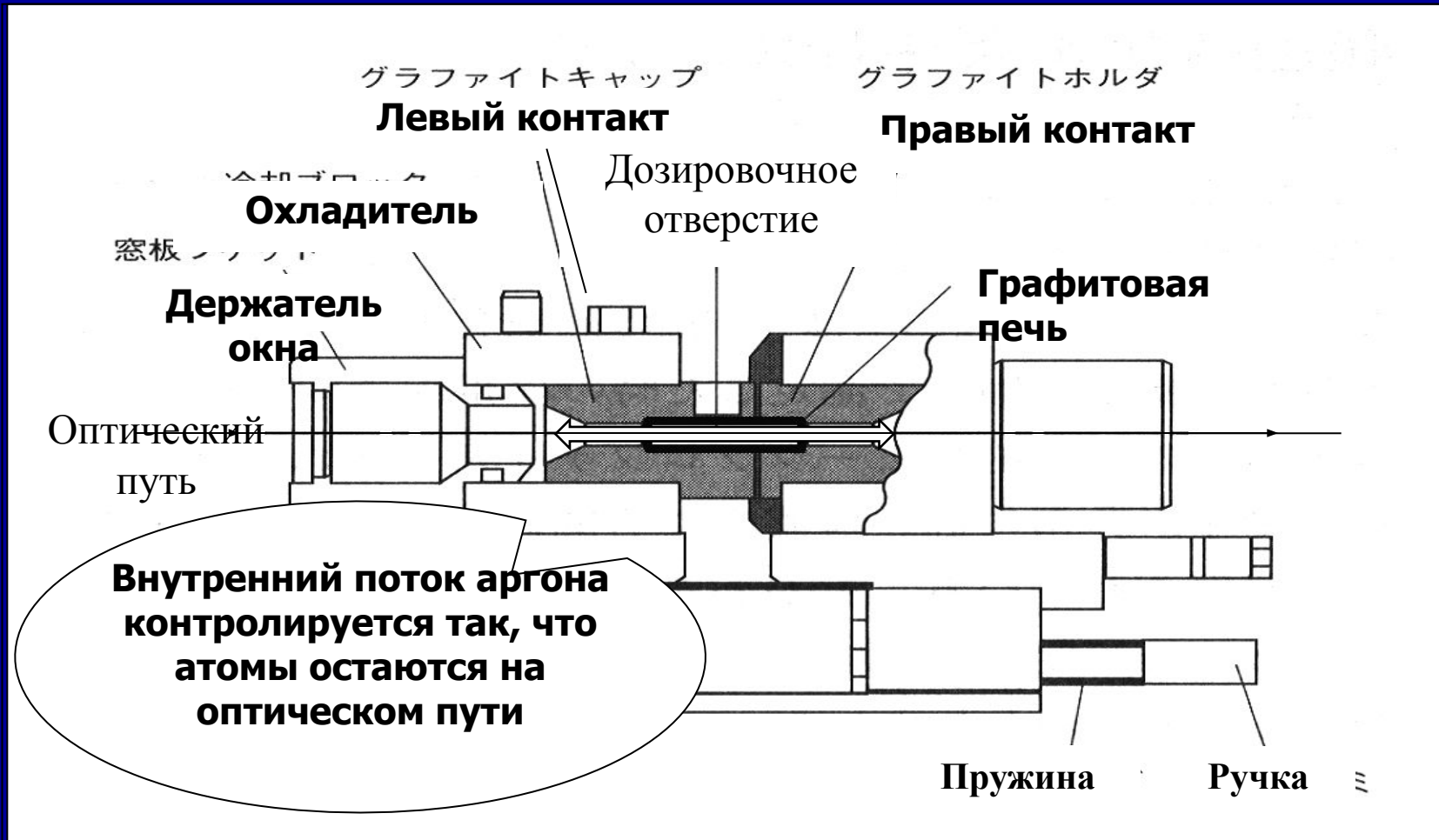
- Автоматическое построение калибровки разбавлением исходного раствора;
- автоматическое разбавление пробы при выходе за границы линейной калибровки.

# Новый электротермический атолизатор GFA-7000

- ❖ Продольно нагреваемая профилированная графитовая печь.
- ❖ Кюветы: графитовые, с пиропокрытием, с платформой Львова.
- ❖ Максимальная температура атомизации  $3000^{\circ}\text{C}$  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  $\rightarrow$  максимальная чувствительность.
- ❖ Уникальное время жизни печи.  
Более  $2000$  циклов нагрева при определении Сг.
- ❖ Оценка и учет степени изношенности графитовой печи перед каждым циклом атомизации  $\rightarrow$  постоянная температура сушки независимо от степени износа печи.
- ❖ Встроенная ССD 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 AA-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