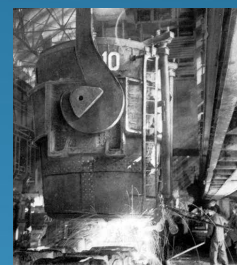
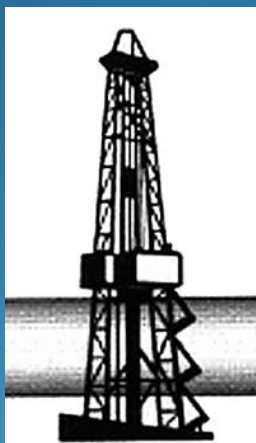
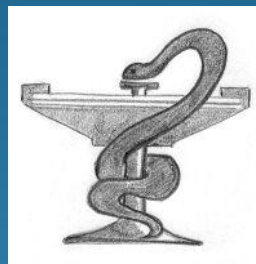


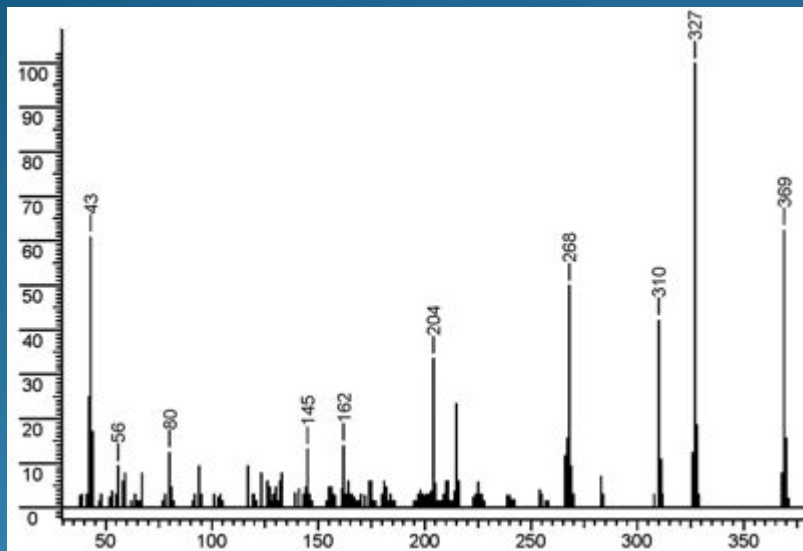
Евгений А.Денисов

Санкт-Петербургский Государственный Университет,
Физический Факультет,
НИИ Физики им. В.А.Фока

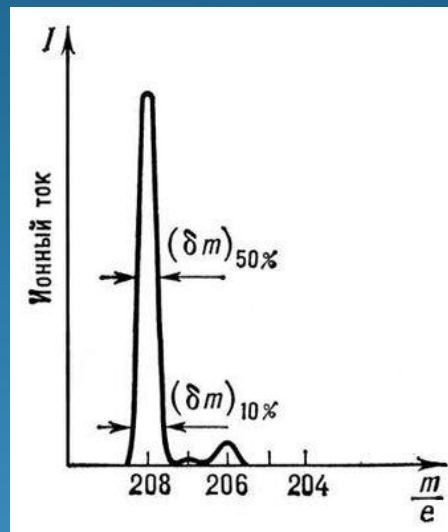
Применение масс-спектрометрии



Основные характеристики МС

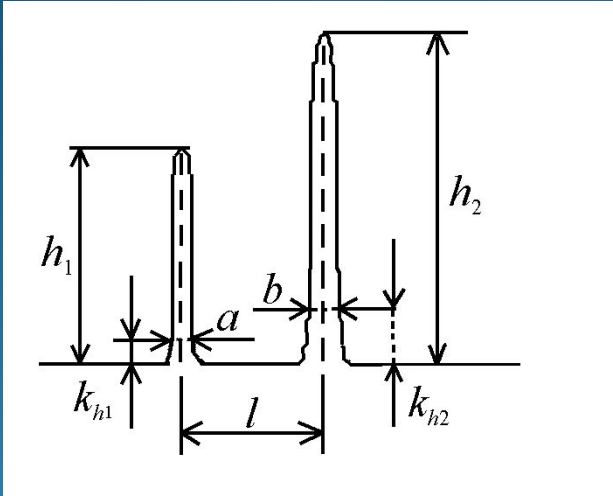


Масс-спектр героина



1. Разрешение $R=m/\delta m$
2. Чувствительность, мм.рт.ст
3. Динамический диапазон
4. Диапазон масс
5. Скорость сканирования
6. Стабильность

Разрешающая способность



$$R_* = \frac{l \cdot (M_1 + M_2)}{(a + b) (M_1 - M_2)}$$

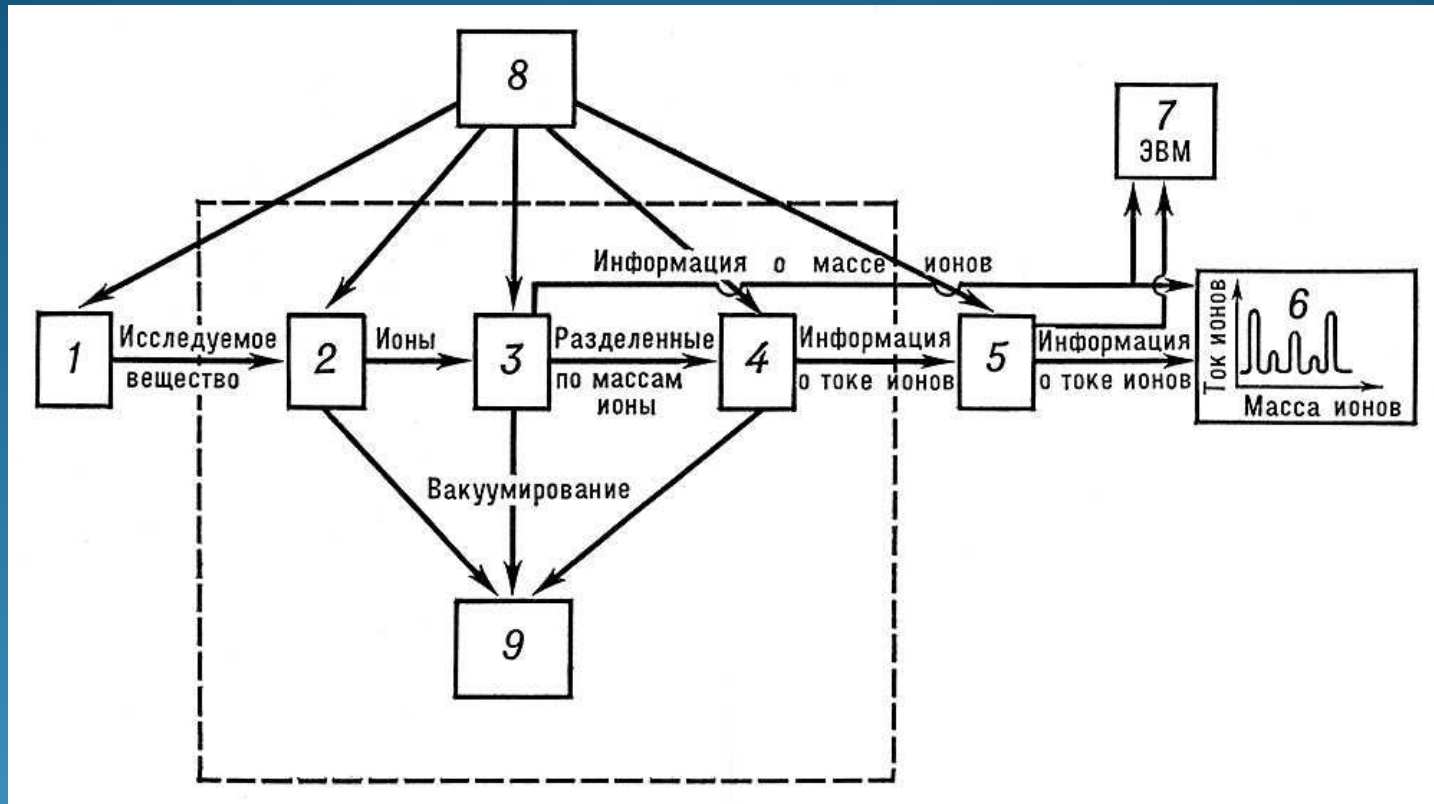
$R_{10\%} < 100$ — низкая,

$100 < R_{10\%} < 1000$ — средняя,

$10^4 < R_{10\%} < 10^4$ — высокая.

$R_{10\%} > 10^4$ — 10^5 — очень высокая

Схема масс-спектрометра



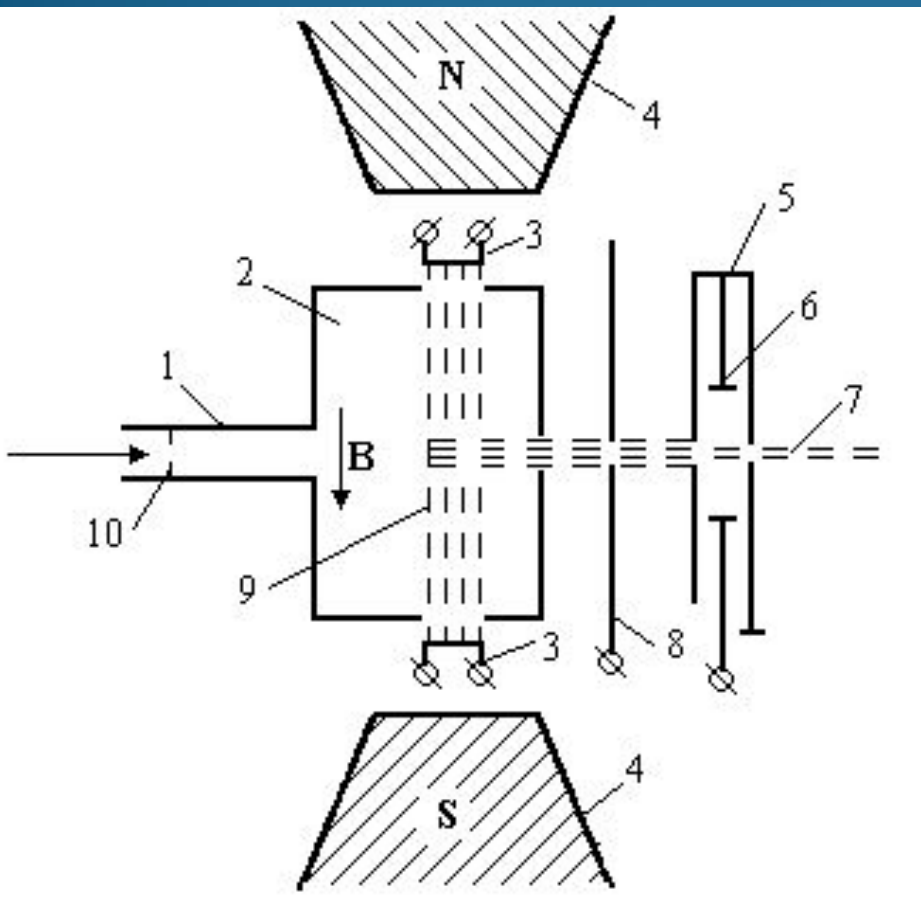
1. Устройство для подготовки исследуемого вещества
2. Ионный источник
3. Масс-анализатор
4. Детектор ионов
5. Электронный усилитель

6. Регистрирующее устройство
7. ЭВМ
8. Источник питания
9. Система откачки

Ионные источники

- электронным ударом
- бомбардировкой поверхности пробы пучком электронов, ионов или нейтральных атомов,
- испарением с накаливаемых металлических поверхностей,
- фотоионизацией,
- в газовом разряде,
- в вакуумном высоковольтном разряде,
- плазменными методами
- И т.д.

Схема ионного источника типа Нира



- 1 — трубка напуска анализируемого газа;
- 2 — ионизационная камера;
- 3 — катоды;
- 4 — фокусирующий магнит;
- 5 — ускоряющий электрод;
- 6 — отклоняющие пластины;
- 7 — ионный пучок;
- 8 — вытягивающий электрод;
- 9 — электронный пучок;
- 10 — диафрагма напуска

Типы масс-анализаторов

- Статические

Используются электрические и магнитные поля, постоянные или практически не изменяющиеся за время пролёта иона через прибор.

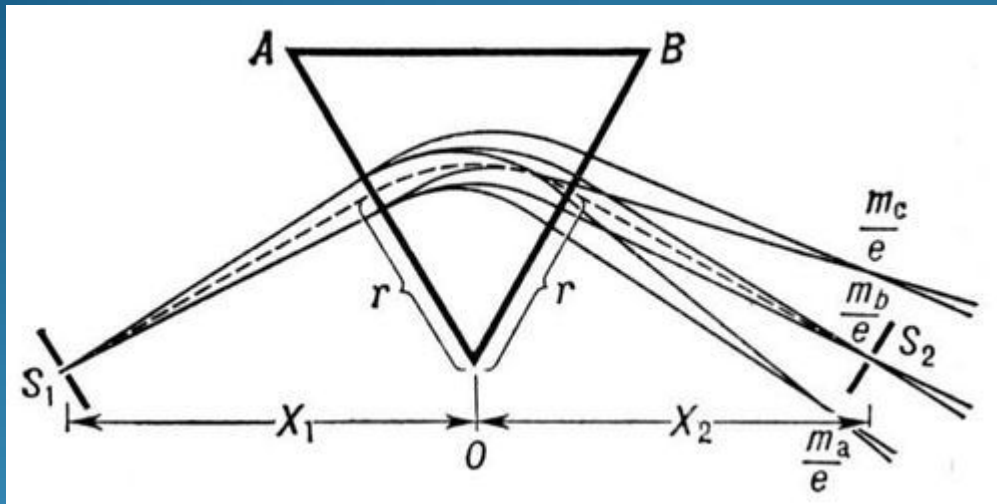
Разделение ионов - пространственное

- Динамические

Используются импульсные или радиочастотные электрические поля с периодом, меньшим или равным времени пролёта ионов через анализатор

Разделение ионов - временное

Магнитный масс-анализатор



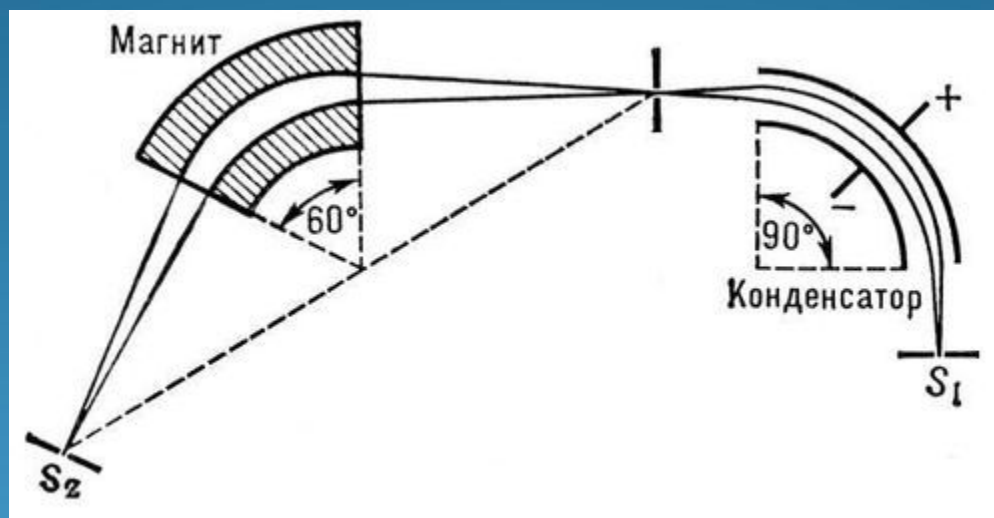
$$R = \frac{r}{\sigma_1 + S_1}$$

σ_1 — ширина пучка в месте, где он попадает в щель приёмника S_2 .

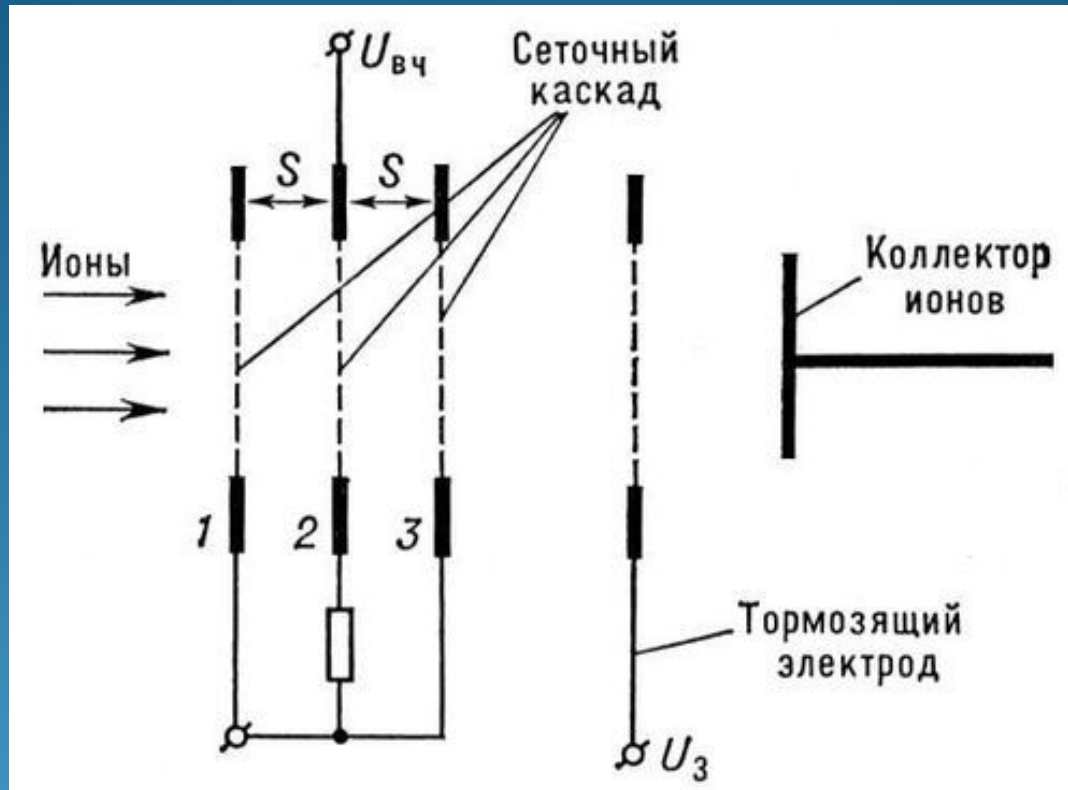
$$\frac{m_b}{e} = 472 \cdot 10^{-5} \frac{H^2 r^2}{V}$$

m_b — масса иона [а.е.м.],
 e — заряд иона (в ед. элементарного заряда),
 r — радиус центральной траектории ионов [см],
 H — напряжённость магнитного поля [Э],
 V — ускоряющий потенциал [В].

Масс-анализатор с двойной фокусировкой



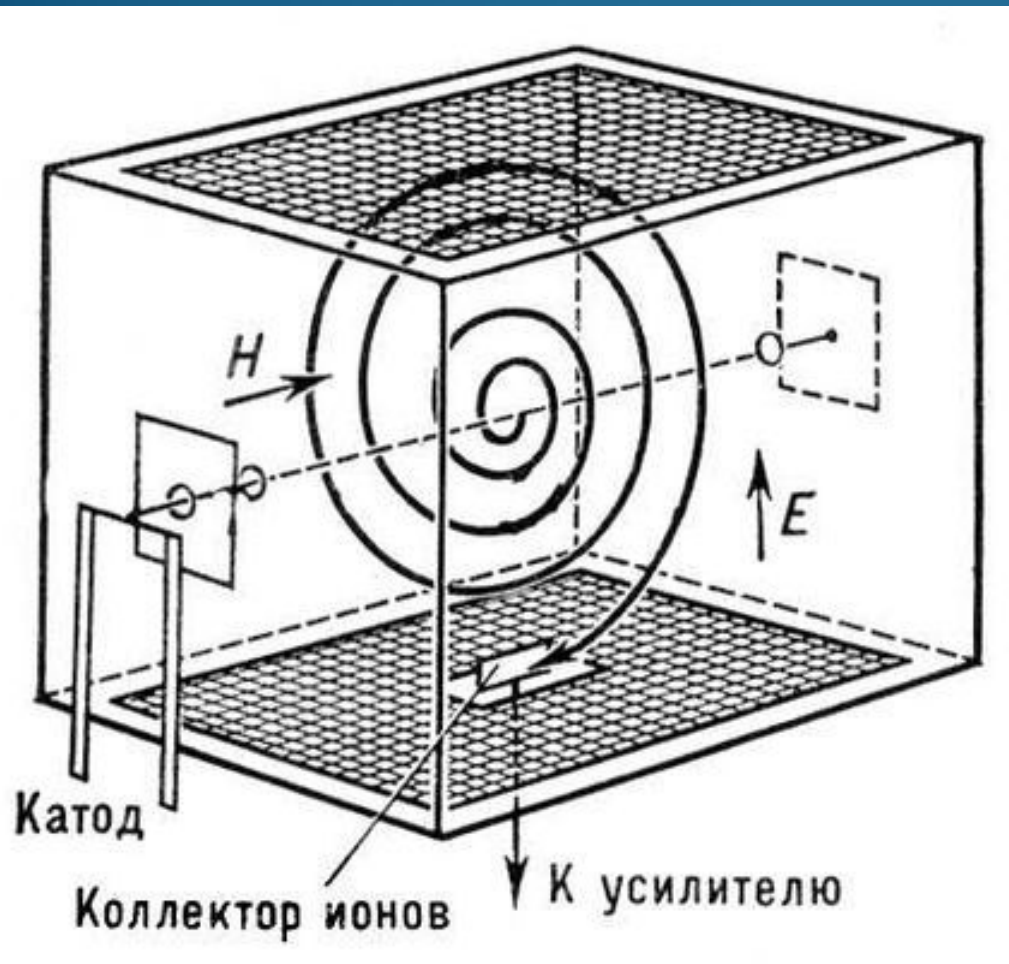
Радиочастотный масс-анализатор



$$m = a \frac{V}{S^2 \omega^2}$$

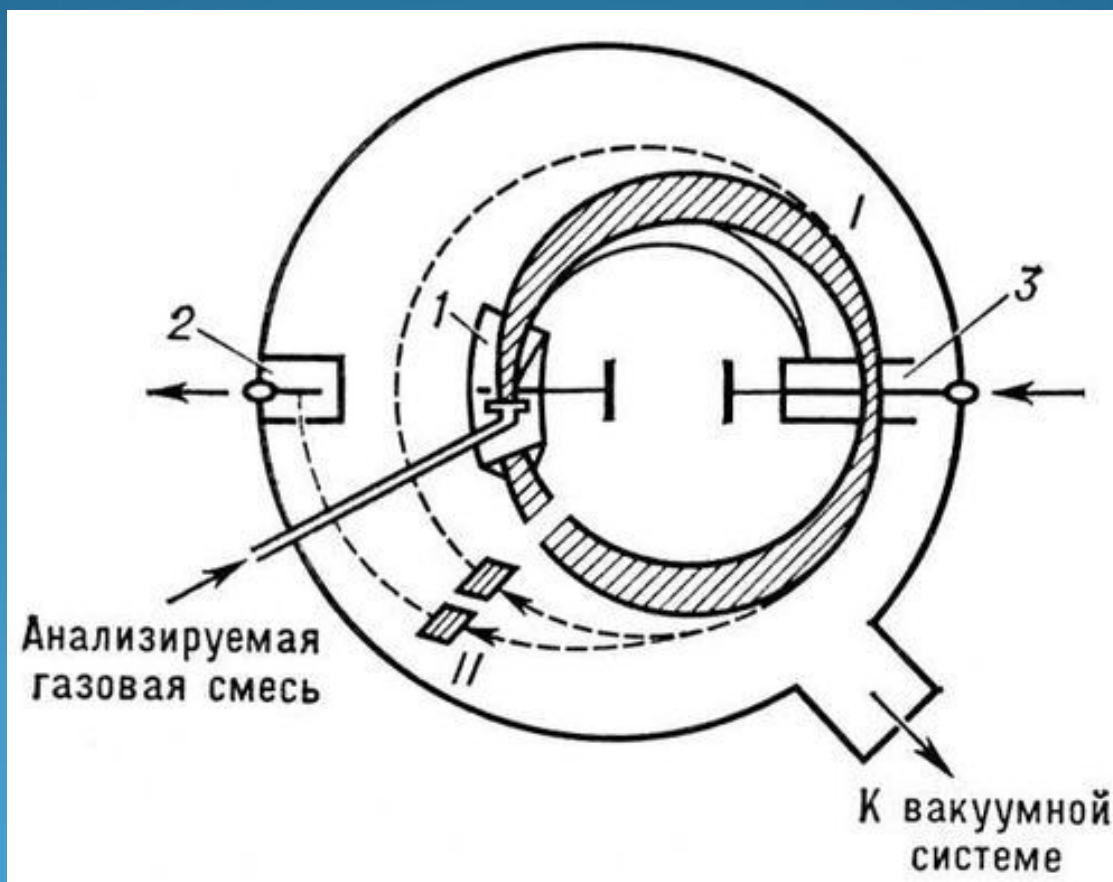
a — численный коэффициент, S — расстояние между сетками.

Анализатор омегатрона

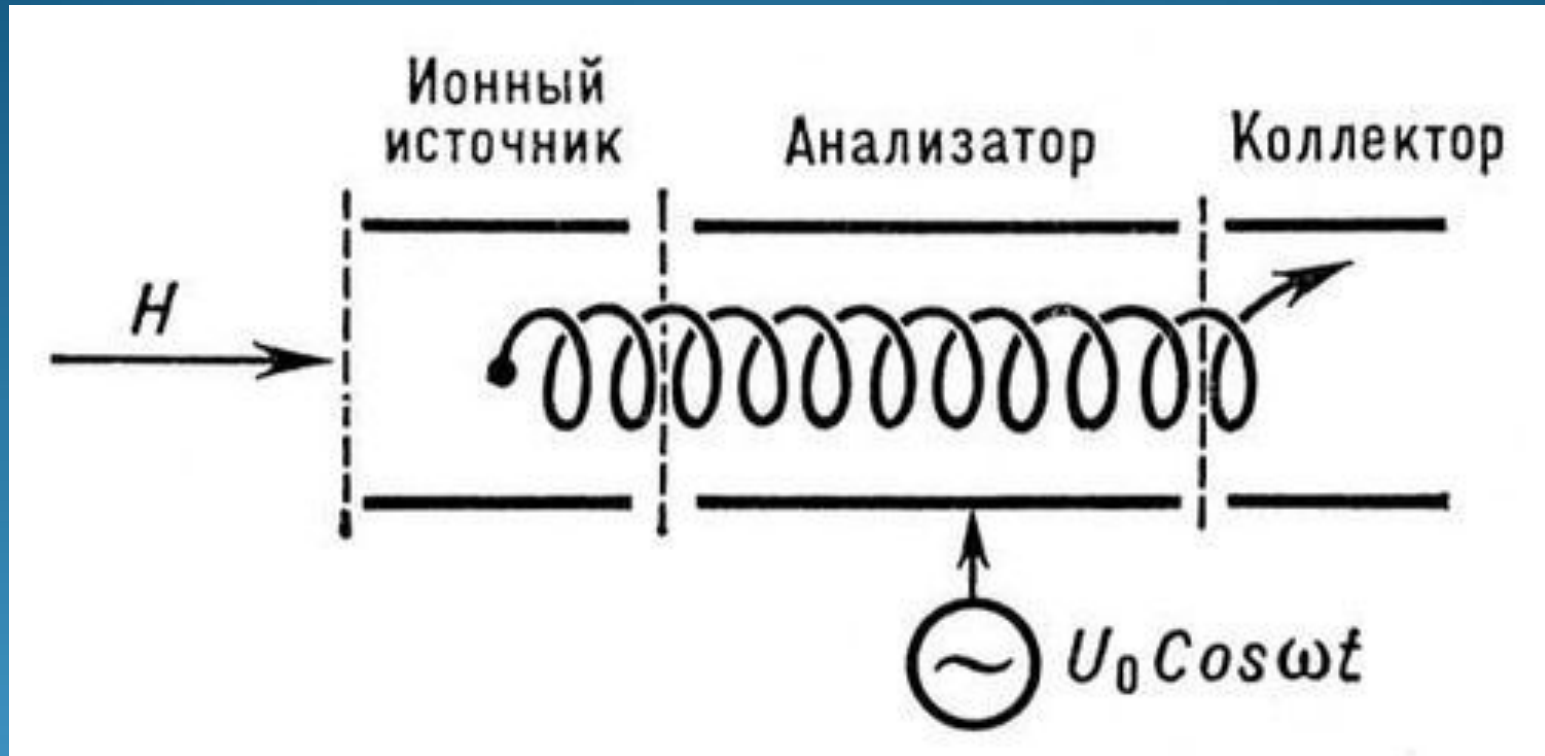


$$m = a \frac{H}{\omega}$$

Магнитно-резонансный масс-анализатор

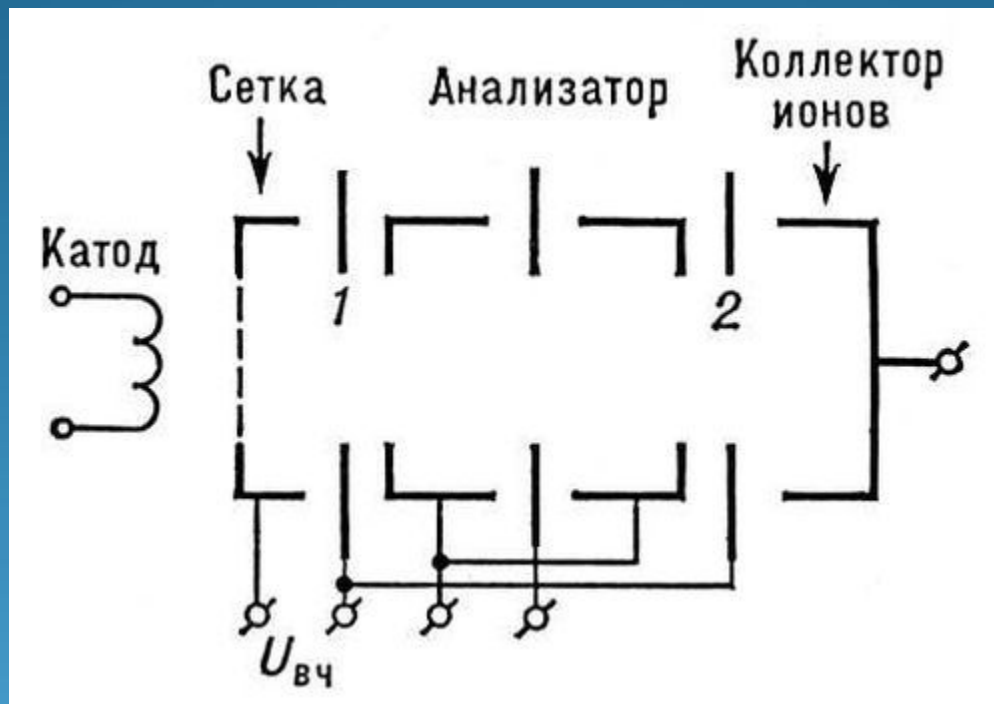


Циклотронно-резонансный масс-спектрометр



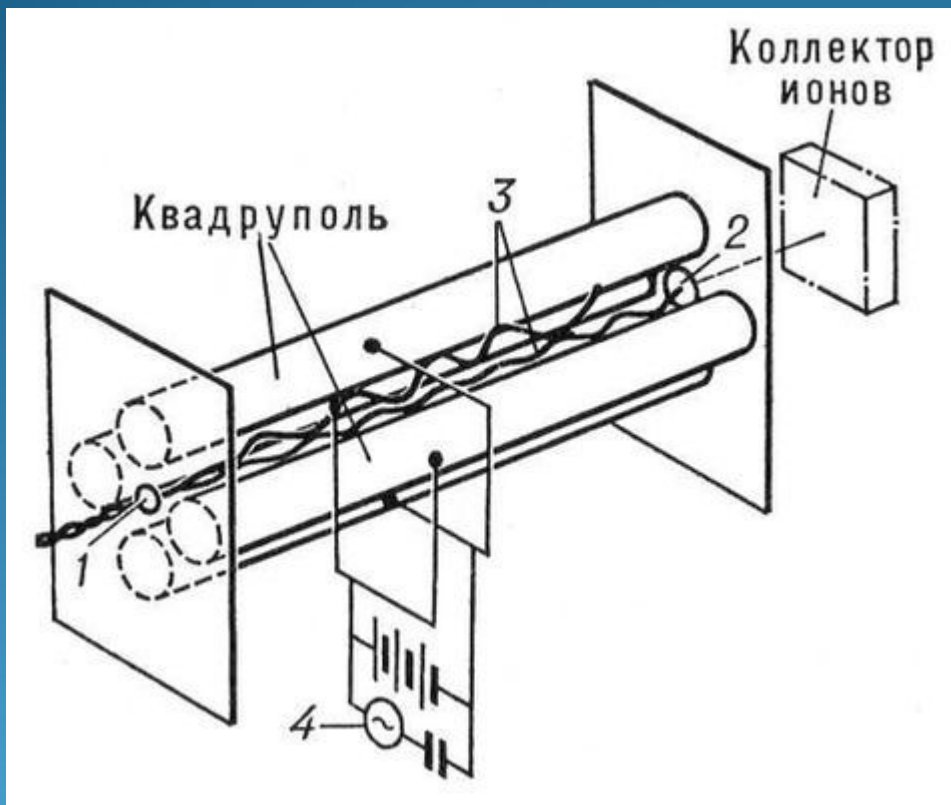
$$\omega_c = eH / mc$$

Фарвитрон



$$\omega = a \sqrt{U_0} / m$$

Квадрупольный масс-анализатор



$$m = \frac{aU_0}{\omega^2}$$

Времяпролетный масс-анализатор



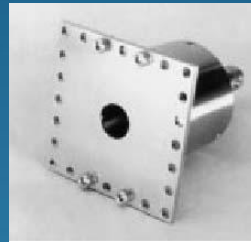
$$t = L \sqrt{m / 2eV}$$

Пространственно-временная фокусировка

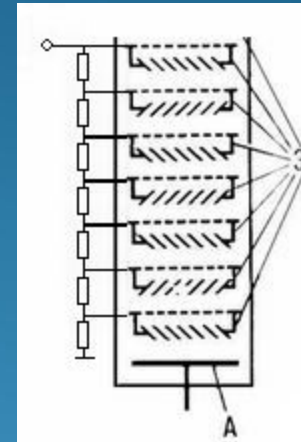
Рефлектор

Детекторы ионов

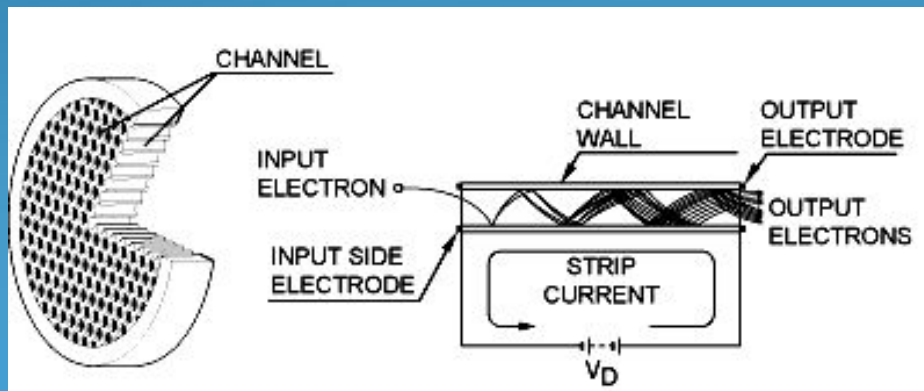
1. Цилиндр Фарадея



2. Вторичный электронный умножитель
 $K_y=10^3$

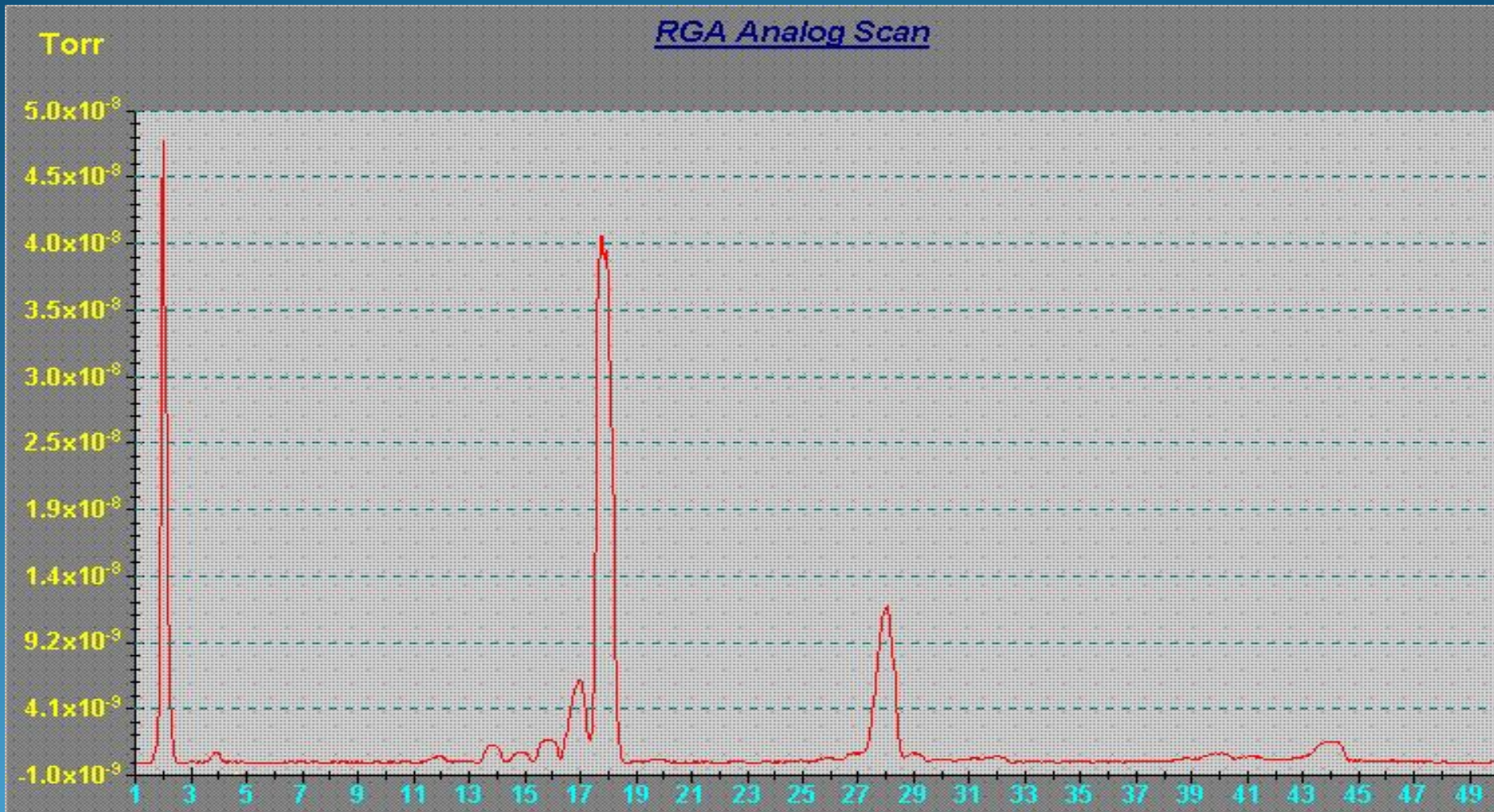


3. Многоканальные пластины МКП
Muti-channel plate (MCP), $K_y=10^3$



Сравнение масс-спектрометров

Типичный спектр остаточных газов



Что же мы измеряем?

Основные источники ошибок

- 1. Область ионизации
- 2. Извлечение ионов, передача их до детектора, включая масс-анализатор
- 3. Детектор ионов и регистрирующая электроника

Относительная вероятность ионизации различных веществ

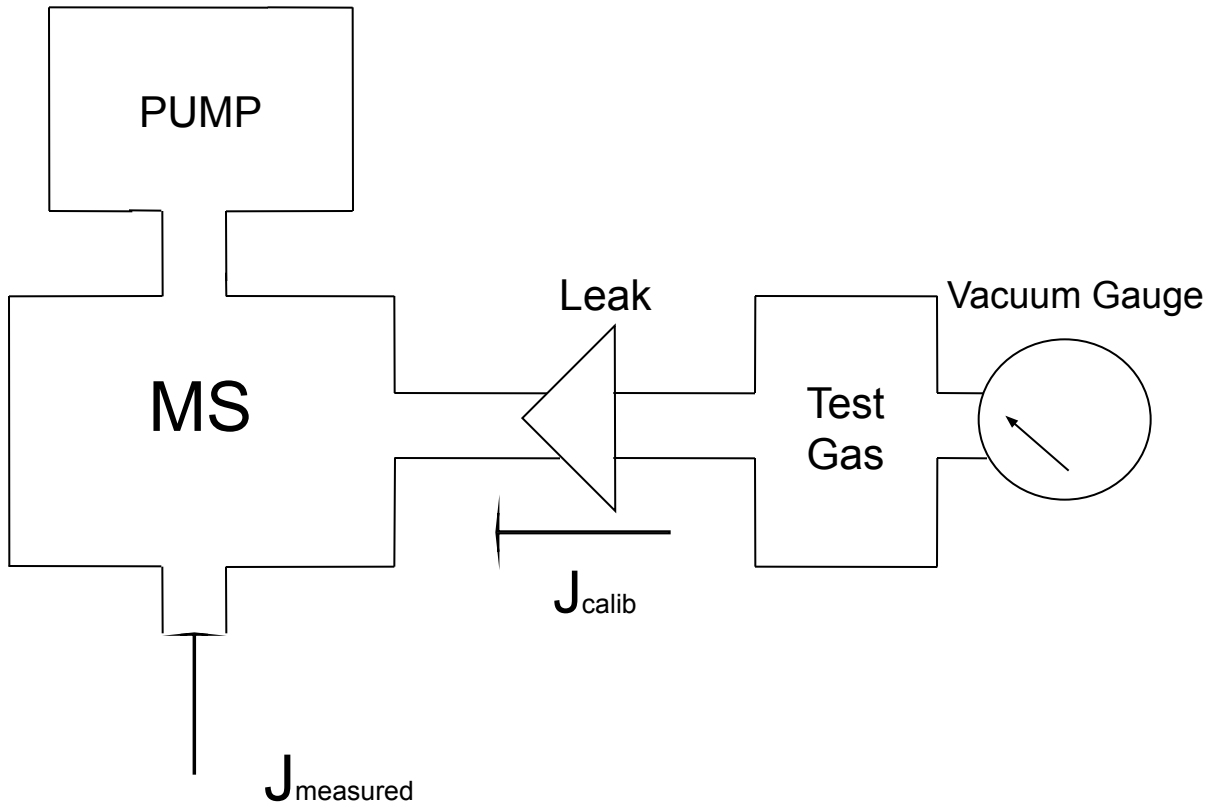
Калибровка МС по давлению

$$k = \frac{P_{tot}}{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{I_m}{r_m}}$$

$$P_m = \frac{kI_m}{r_m}$$

r_m - относительная чувствительность соединения m
 I_m - ионный ток для соединения m ,
 P_{tot} - полное давление

Калибровка МС по потоку



$$J_{calib} = L_m p \gamma$$

$$\gamma = 3.54 \cdot 10^{19} \frac{1}{T_{opp} * l}$$

$$k = \frac{L_m p \gamma}{\Delta I_{cal}}$$

$$J_{meas} = \Delta I_m k$$

Калибровка микротечи

$$V_{cal}\gamma \frac{dp}{dt} = -Lp\gamma$$

$$\frac{V_{cal}}{L} \frac{dp}{p} = -dt$$

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = -\frac{L}{V_{cal}} \int_0^t dt$$

$$N = pV_{cal}\gamma$$

$$\gamma = 3.54 * 10^{19} \frac{1}{\text{Торр} * \text{л}}$$

$$\frac{dN}{dt} = -J = -Lp\gamma$$

$$\ln(p) = \ln(p_0) - \frac{L}{V_{cal}} t$$

$$p = kI_{ms}$$

$$\ln(I) = \ln(I_0) - \frac{L}{V_{cal}} t$$

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{L}{V_{cal}}$$

$$\Rightarrow L = V_{cal} \text{tg}(\alpha)$$