

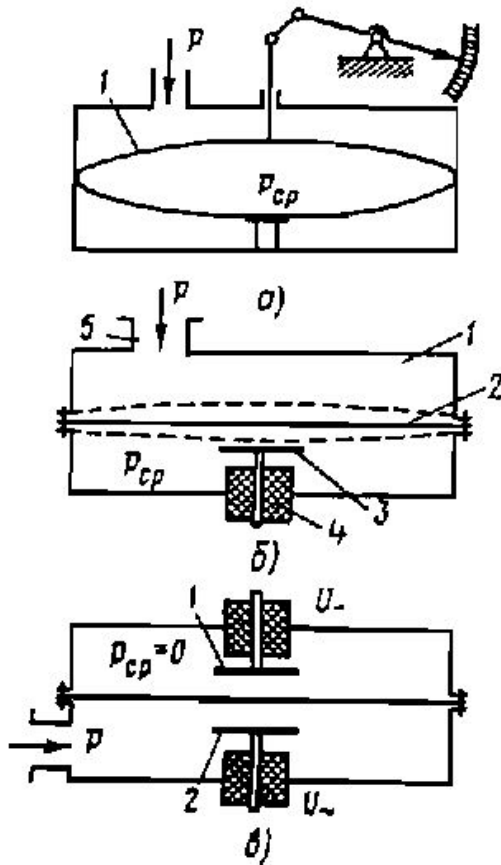
# **Вакуумметрические приборы**

# Приборы для измерения вакуума

# Диапазон рабочих давлений вакуумметров

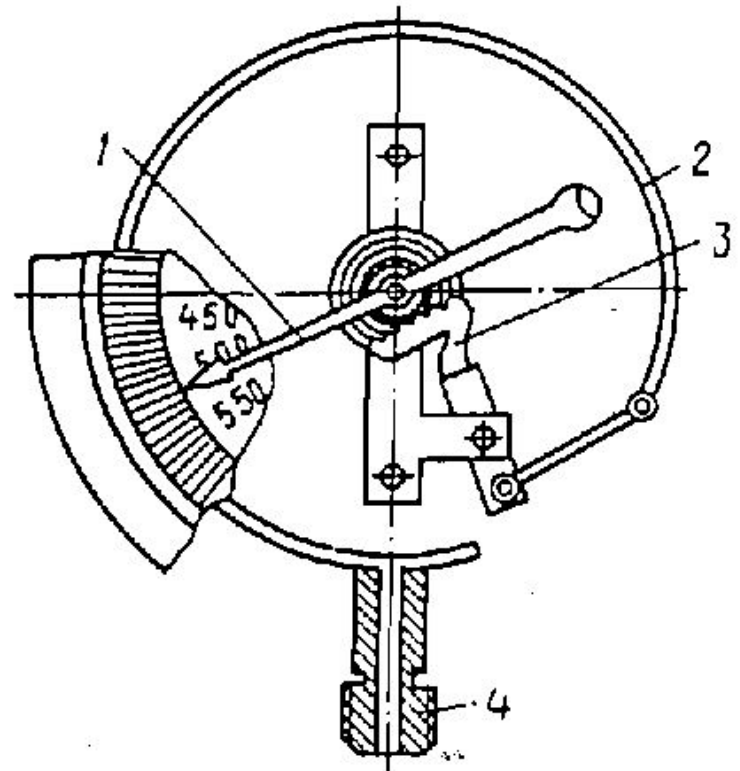


# Деформационные манометры прямого действия



Мембранные преобразователи  
 а) дифференциальный : 1 – мембрана;  
 б) дифференциальный емкостной:  
 1 – корпус; 2 – мембрана; 3 – электрод;  
 4 – изолятор; 5 – патрубок; в) 1, 2 -  
 электроды

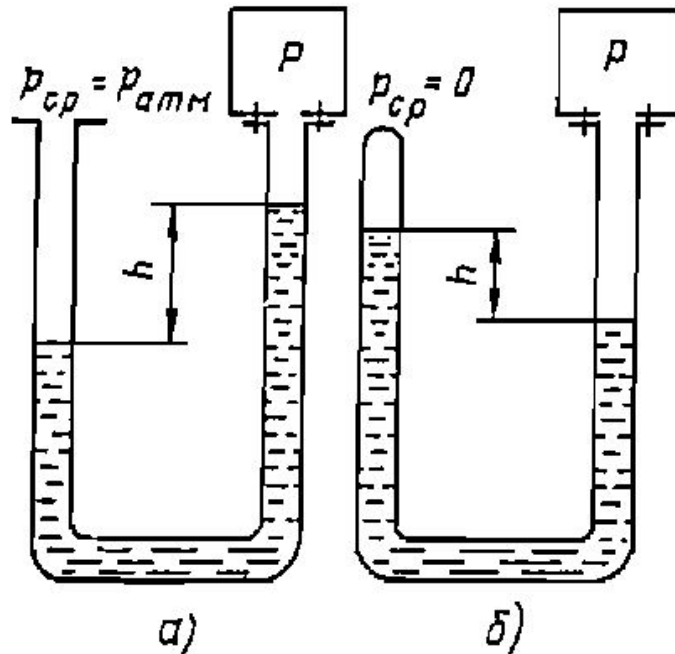
действ



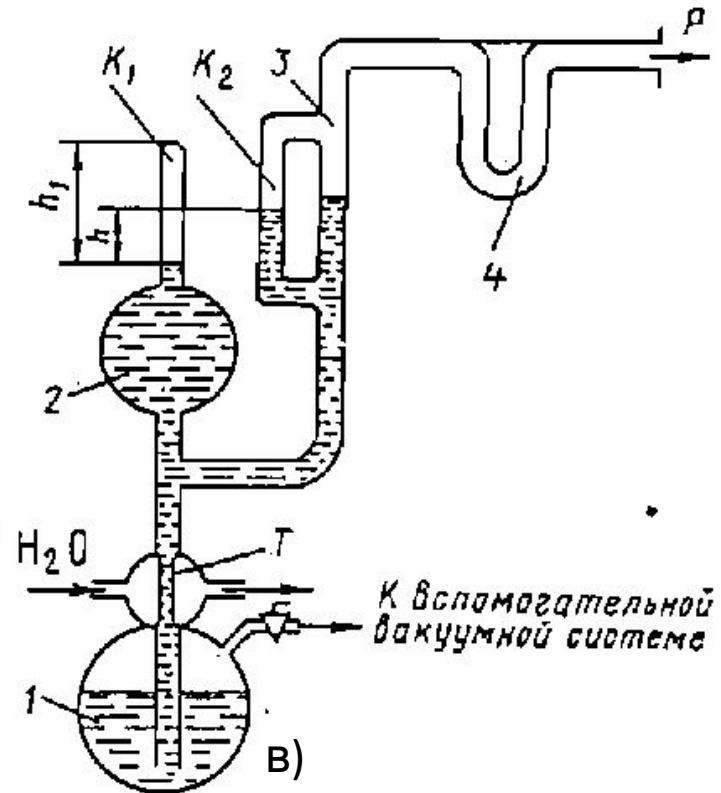
Деформационный трубчатый преобразователь (Трубка Бурдона)

1 – стрелка; 2 – спиральная трубка; 3 – трубчатый сектор; 4 – штуцер

# Жидкостные манометры прямого действия



- а) – с открытым коленом;
- б) – с закрытым коленом.



## Компрессионный манометр (манометр Мак-Леода)

- 1 – баллон с ртутью; 2 – измерительный баллон; 3 – соединительный трубопровод; 4 – азотная ловушка; К1 – закрытый капилляр; К2 – сравнительный

## Определение давления при использованаа компрессионного манометра

$P$  – измеряемое давление;  $V_0$  – начальный объем сжимаемого газа;  $h$  – разность уровней в сравнительном и закрытом капиллярах;  $V_k$  – конечный объем газа после сжатия;  $d_k$  – диаметр капилляров

$$PV_0 = (P + \rho g h) \times V_k =$$
$$= (P + \rho g h) \times \frac{\pi d_k^2}{4} \cdot h_1$$

$$P = \frac{\pi \rho g d_k^2 \cdot h \cdot h_1}{4(V_0 - \pi d_k^2 \cdot h_1 / 4)}$$

Т.к.  $V_k \ll V_0$

$$P = \frac{V_k}{V_0} \cdot h$$

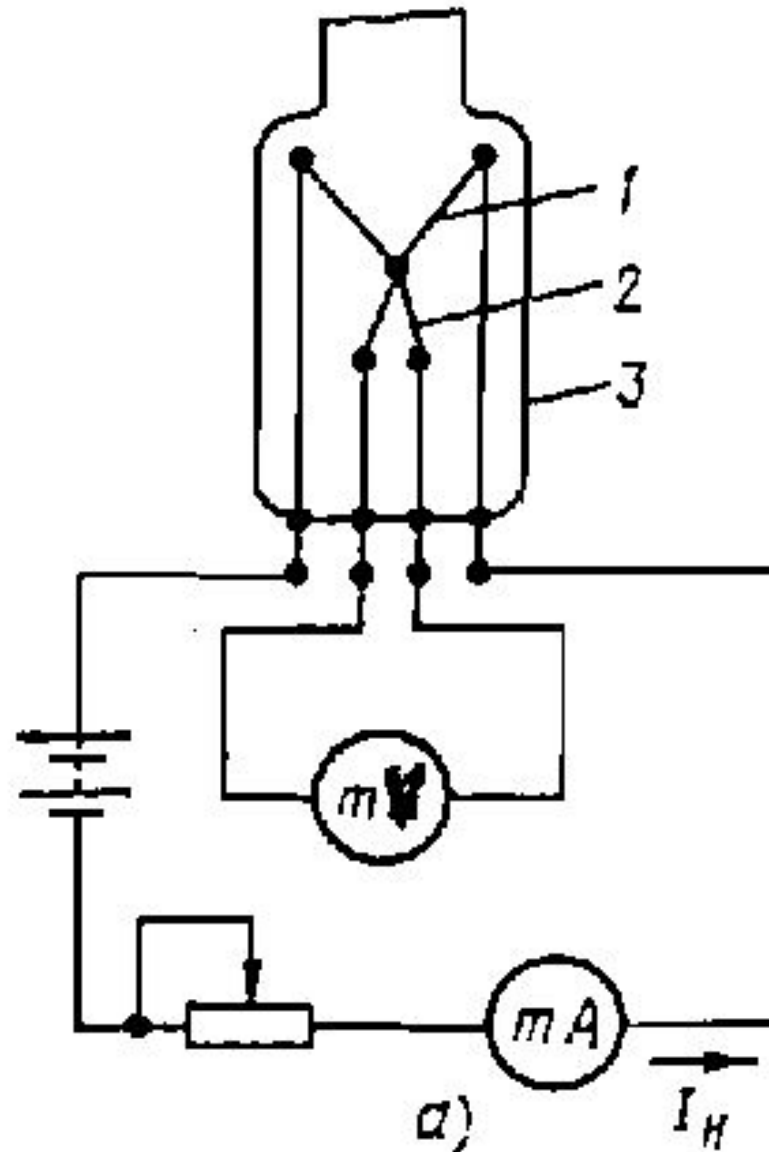
$$P = C_1 \cdot h, \text{ где}$$

$$C_1 = \frac{\pi d_k^2 \cdot h_1}{4V_0}$$

# **Вакуумметры косвенного действия**

# Термопарный вакуумметр

1 – нить накала; 2 – термопара; 3 – корпус вакуумметра





В стационарном состоянии при установившейся температуре нити имеет место баланс мощностей (уравнение теплового баланса, фактически):

$$Q_{эл} = Q_k + Q_l + Q_m,$$

где  $Q_k$  - мощность теплоотвода по конструктивным элементам (за счет теплопроводности материала нити);  $Q_l$  – мощность, отводимая лучеиспусканием (за счет излучения нити);  $Q_m$  – мощность, отводимая соударяющимися молекулами (т.е. за счет теплопроводности газа).

Общая отводимая мощность  $Q_{эл} = I^2 \times R$ , где  $I$  – сила тока через нить;  $R$  – сопротивление нити.

Только величина  $Q_m$  зависит от давления, поэтому должно соблюдаться условие  $Q_m \gg Q_k + Q_l$ .

Т.о., чтобы чувствительность лампы была выше, должны иметь маленькие значения  $Q_k$  и  $Q_l$ .

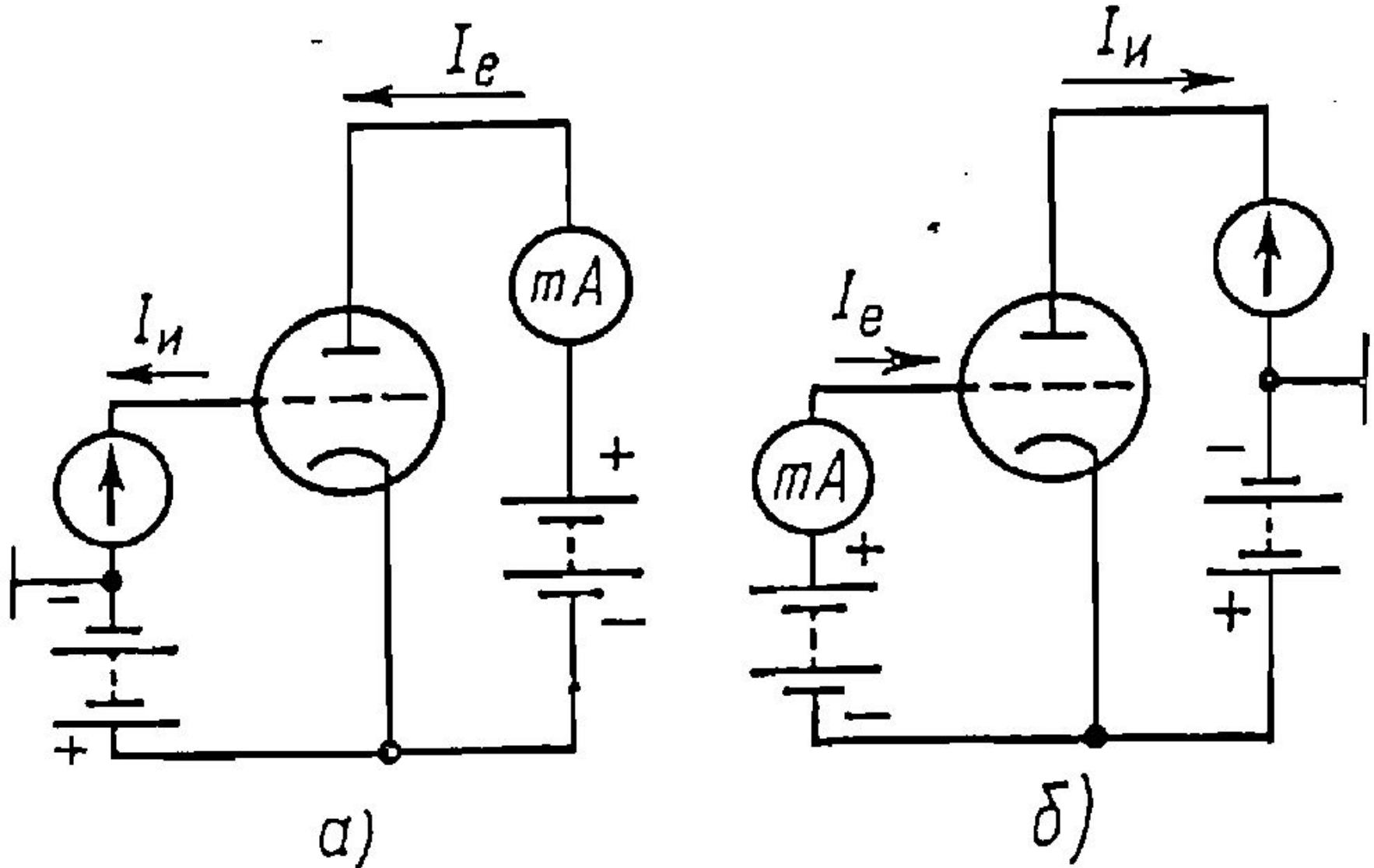
Для уменьшения  $Q_k$  нить делают очень тонкой; для уменьшения  $Q_l$  температура нити не должна превышать  $300 - 400^\circ\text{C}$ .

# Ионизационный манометр

а – с внутренним коллектором; б – с внешним коллектором

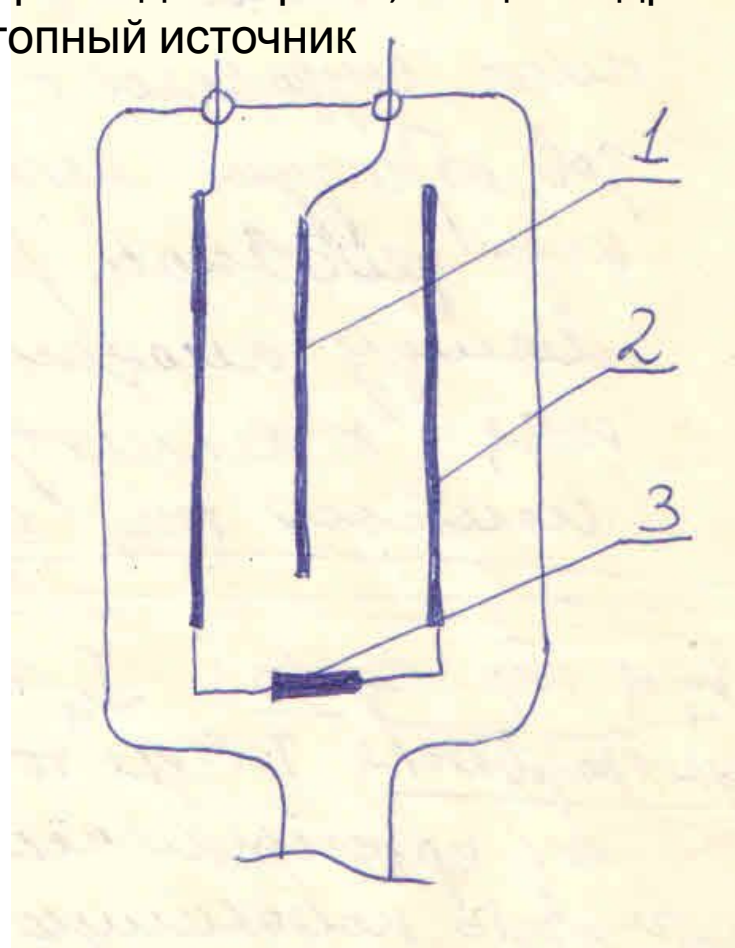
(величина ионного тока  $I_{и}$  прямо пропорциональна измеряемому давлению:

$$I_{и} = K_a P, \text{ где } K_a \text{ – постоянная электронного манометра)}$$



# Радиоизотопный вакуумметр

1 - коллектор в виде стержня; 2 – цилиндрический анод; 3 – радиоизотопный источник



Все манометры косвенного типа (к которым относятся как тепловые, так и ионизационные), имеют неодинаковую чувствительность к различным газам, т.к. эффективность ионизации или теплопроводность атмосферы зависят от рода газа. Поэтому при использовании таких приборов надо знать, по какому газу происходила их градуировка.

Например, если преобразователь был проградуирован по воздуху, а применяется для измерения давления других газов, то необходимо учитывать относительную чувствительность  $R$ .

Из условия равенства ионных токов можно записать:

$$I_{\text{и}} = K_1 P_1 = K_1 P_1 = K_2 P_2 = \dots = K_{\Gamma} P_{\Gamma} = K_{\text{в}} P_{\text{в}},$$

откуда

$$P_{\Gamma} = P_{\text{в}} / R_{\Gamma},$$

где  $R_{\Gamma} = K_{\Gamma} / K_{\text{в}}$  - относительная чувствительность к данному газу.

# Относительная чувствительность преобразователей

| Тип прибора                      | Азот | Водород | Углекислый газ | Кислород |
|----------------------------------|------|---------|----------------|----------|
| Электронный преобразователь      | 1    | 0.43    | 1.6            | 0.85     |
| Магниторазрядный преобразователь | 1    | 0.43    | 1.3            | 0.85     |
| Радиоизотопный преобразователь   | 1    | 0.23    | 1.5            | -        |

# Характеристики вакуумметров

| Наименование вакуумметра   | Типы вакуумметров | Диапазон рабочих давлений, Па             | Погрешность измерения, % | Габариты (длина×ширина×высота), мм | Масса, кг | Потребляемая мощность, Вт | Тип преобразователей    |
|----------------------------|-------------------|---|--------------------------|------------------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| Деформационный<br>Тепловой | ВДГ-1             | $10 \cdot 10^1 \dots$<br>$1 \cdot 10^4$   | $\pm 15$                 | —                                  | —         | —                         | ПМГД-1                  |
|                            | ВТСО-1            | $3 \cdot 10^{-1} \dots$<br>$1 \cdot 10^4$ | $\pm 10$                 | 80×150×<br>×295                    | —         | —                         | —                       |
|                            | ВСБ-1             | $1 \cdot 10^0 \dots$<br>$4 \cdot 10^3$    | $\pm 30$                 | 390×248×<br>×257                   | 14        | 140                       | МТ-6<br>МТ-6-3          |
|                            | ВТ-2А-П           | $1 \cdot 10^{-1} \dots$<br>$3 \cdot 10^3$ | $\pm 30$                 | 226×248×<br>×257                   | 9         | 110                       | ПМТ-2<br>ПМТ-4М<br>МТ-8 |
|                            | ВТ-3              | $1 \cdot 10^{-2} \dots$<br>$7 \cdot 10^3$ | $\pm 30$                 | 320×185×<br>×150                   | 4,5       | 35                        | ПМТ-2<br>ПМТ-4М<br>МТ-8 |
|                            | ВТБ-1             | $1 \cdot 10^0 \dots$<br>$4 \cdot 10^3$    | -40                      | 200×158×<br>×319                   | 6         | —                         | МТ-6                    |
|                            | РВТ-2М            | $1 \cdot 10^0 \dots$<br>$4 \cdot 10^3$    | -40 ... +60              | 100×158×<br>×206                   | 2,5       | —                         | МТ-6                    |

# Характеристики вакуумметров (продолжение таблицы)

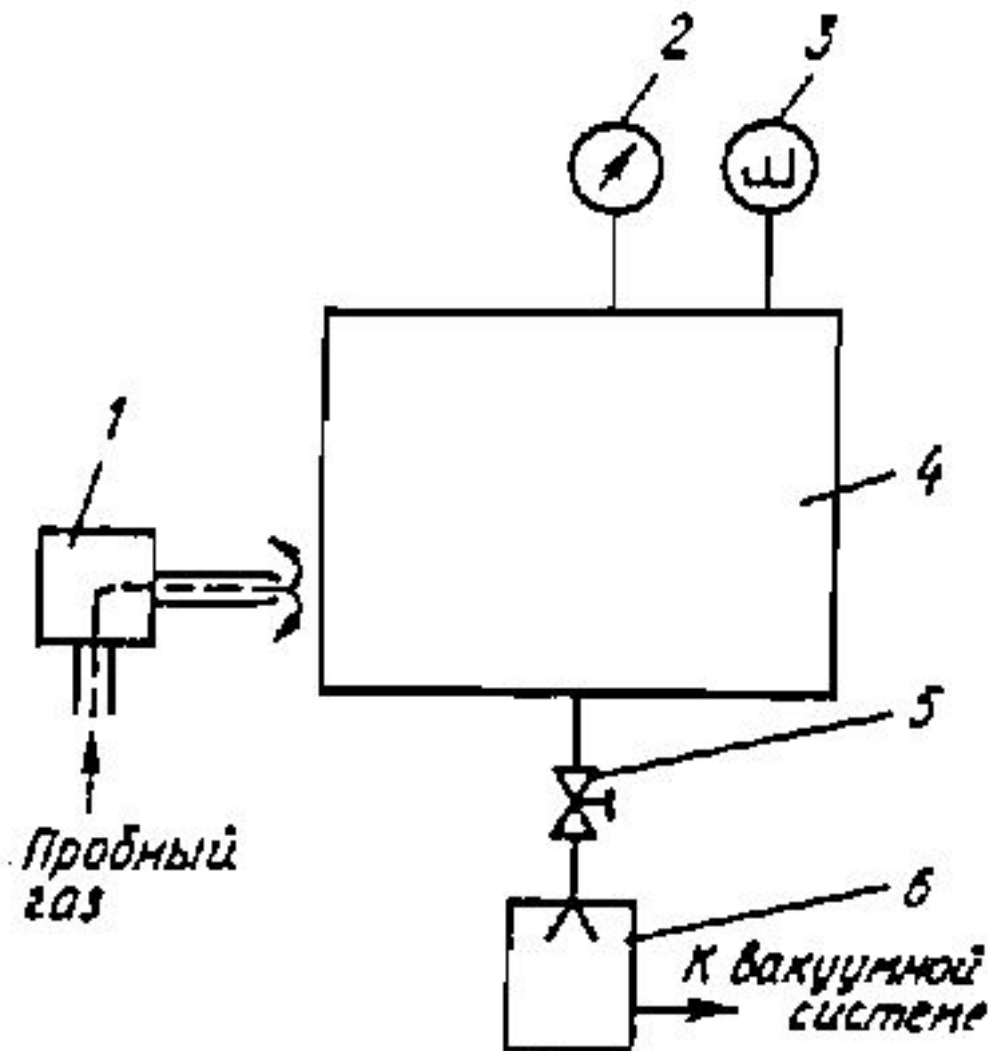
| Наименование вакуумметра | Типы вакуумметров | Диапазон рабочих давлений, Па            | Погрешность измерения, % | Габариты (длина×ширина×высота), мм | Масса, кг | Потребляемая мощность, Вт | Тип преобразователей         |
|--------------------------|-------------------|--|--------------------------|------------------------------------|-----------|---------------------------|------------------------------|
| Магнитный                | ВМБ-3             | $1 \cdot 10^{-3} \dots 3 \cdot 10^2$     | $\pm 170$                | $380 \times 290 \times 240$        | 19        | 150                       | ПММ-13                       |
|                          | ВМБ-6             | $1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-1}$  | $-50 \dots +80$          | $400 \times 200 \times 390$        | 16        | 100                       | ПММ-32                       |
|                          | ВМБ-8             | $1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-1}$  | $-55 \dots +130$         | $240 \times 158 \times 335$        | 35        | 75                        | ПММ-32                       |
|                          | ВМБ-11            | $1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-1}$  | $-50 \dots +100$         | —                                  | —         | —                         | ПММ-46                       |
|                          | ВИМ-2             | $1 \cdot 10^{-11} \dots 1 \cdot 10^{-2}$ | $\pm 70$                 | $386 \times 278 \times 292$        | 22        | 120                       | ПММ-14                       |
| Ионизационно-термопарный | ВИТ-2             | $1 \cdot 10^{-8} \dots 1 \cdot 10^1$     | $\pm 30$                 | $320 \times 280 \times 215$        | 10        | 75                        | ПМИ-51<br>ПММ-3-2<br>ПМИ-2   |
|                          | ВИТ-3             | $1 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^2$     | $\pm 35$                 | $230 \times 360 \times 485$        | 15        | 75                        | ПМТ-2<br>ПМТ-4М<br>МТ-8      |
| Ионизационный            | ВИ-12             | $1 \cdot 10^{-8} \dots 1 \cdot 10^{-3}$  | $\pm 50$                 | $448 \times 340 \times 287$        | 30        | 280                       | ПМИ-12<br>ПМИ-12-8           |
|                          | ВИ-14             | $1 \cdot 10^{-8} \dots 1 \cdot 10^1$     | $\pm 50$                 | $480 \times 220 \times 360$        | 20        | 140                       | ПМИ-27<br>ПМИ-12<br>ПМИ-12-8 |
|                          | ВИЦБ-11           | $2 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^3$     | —                        | $100 \times 158 \times 230$        | 3,0       | —                         | ИМ-12<br>ПМИ-10-2            |
|                          | ВИО-1             | $7 \cdot 10^{-8} \dots 1 \cdot 10^{-1}$  | $\pm 20$                 | $228 \times 95 \times 328$         | 26        | —                         | ПМИ-39-2                     |

**Способы и приборы для определения  
мест  
разгерметизации в вакуумных  
системах**



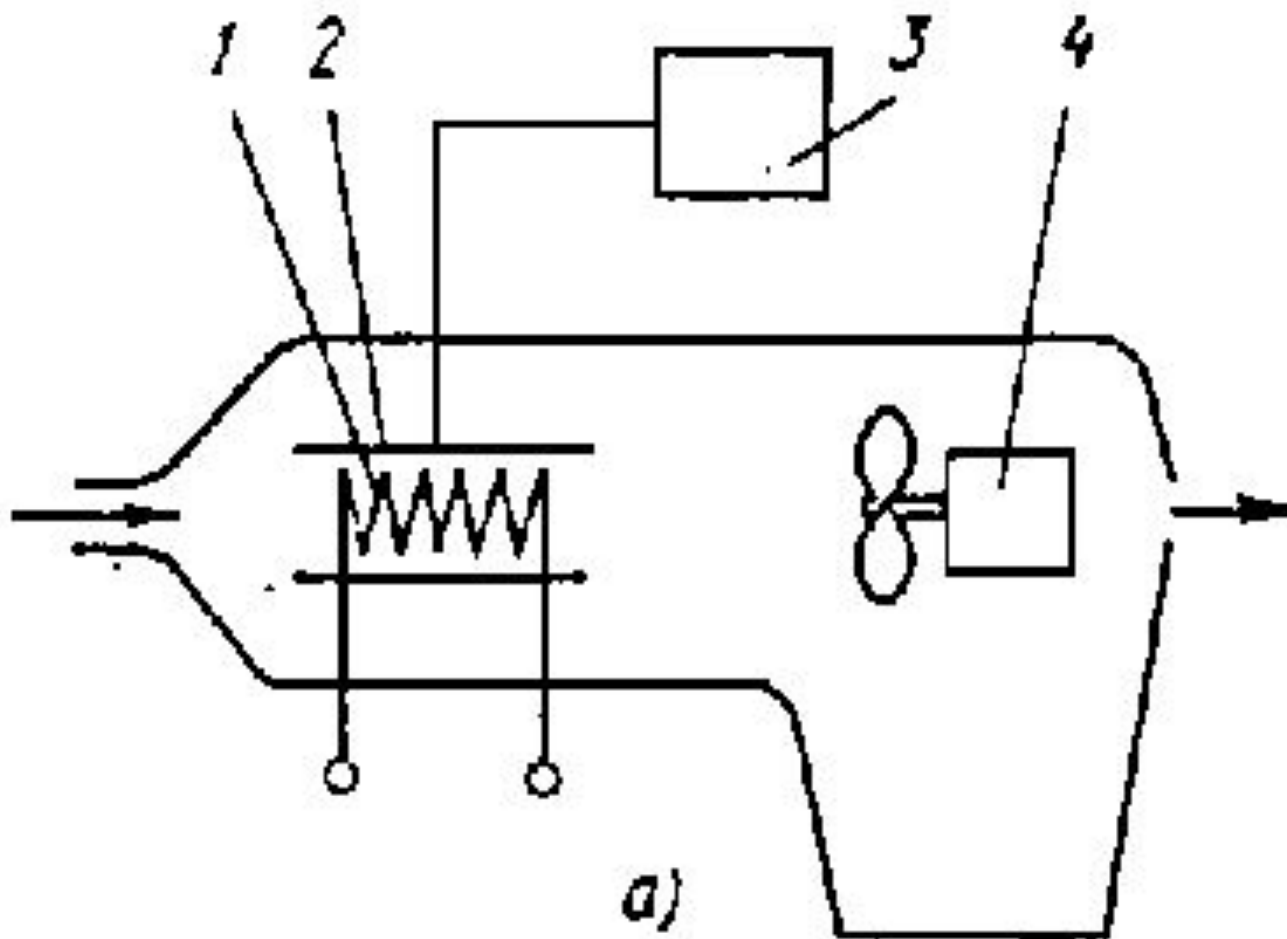
# Отыскание течей методом пробного газа

1 – щуп; 2 – манометр; 3 – газоанализатор; испытуемый объект; 5 – вакуумный затвор; 6 – вакуумный насос



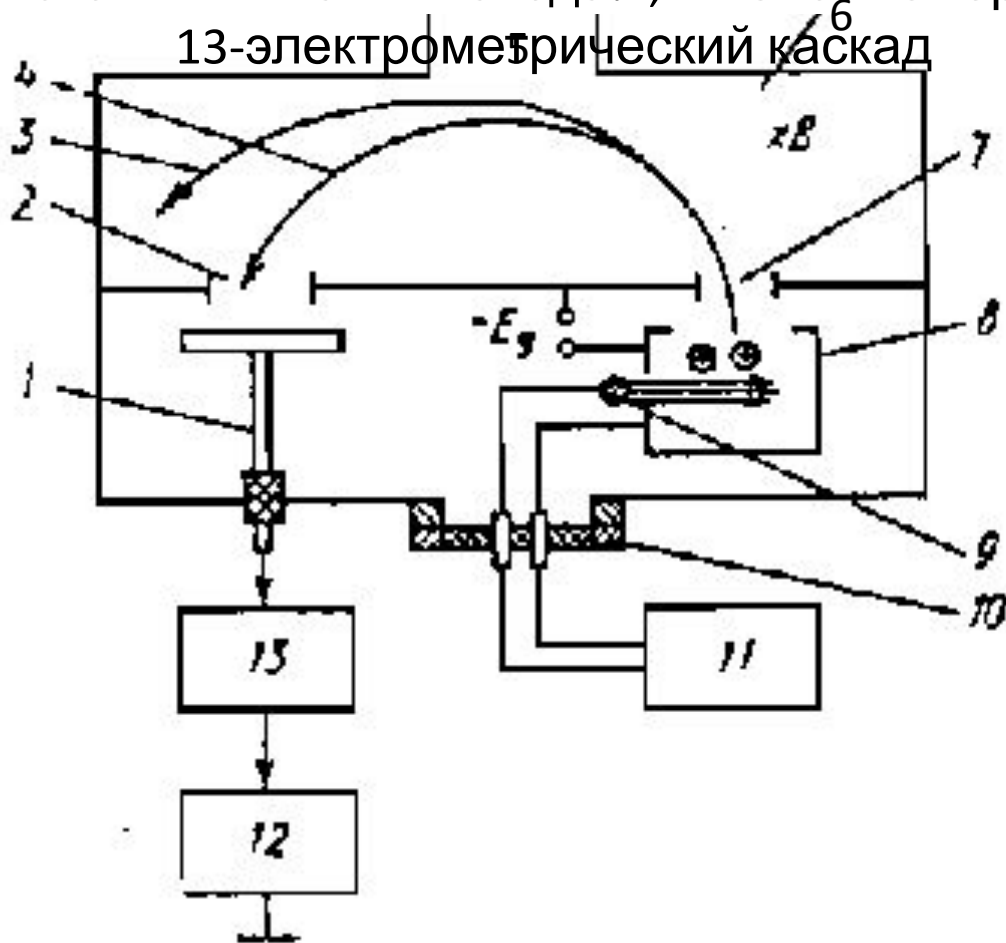
# Схема галогенного течеискателя

1 – платиновая нить; 2 – цилиндрический электрод – коллектор; 3 – усилитель для измерения ионного тока; 4 – вентилятор



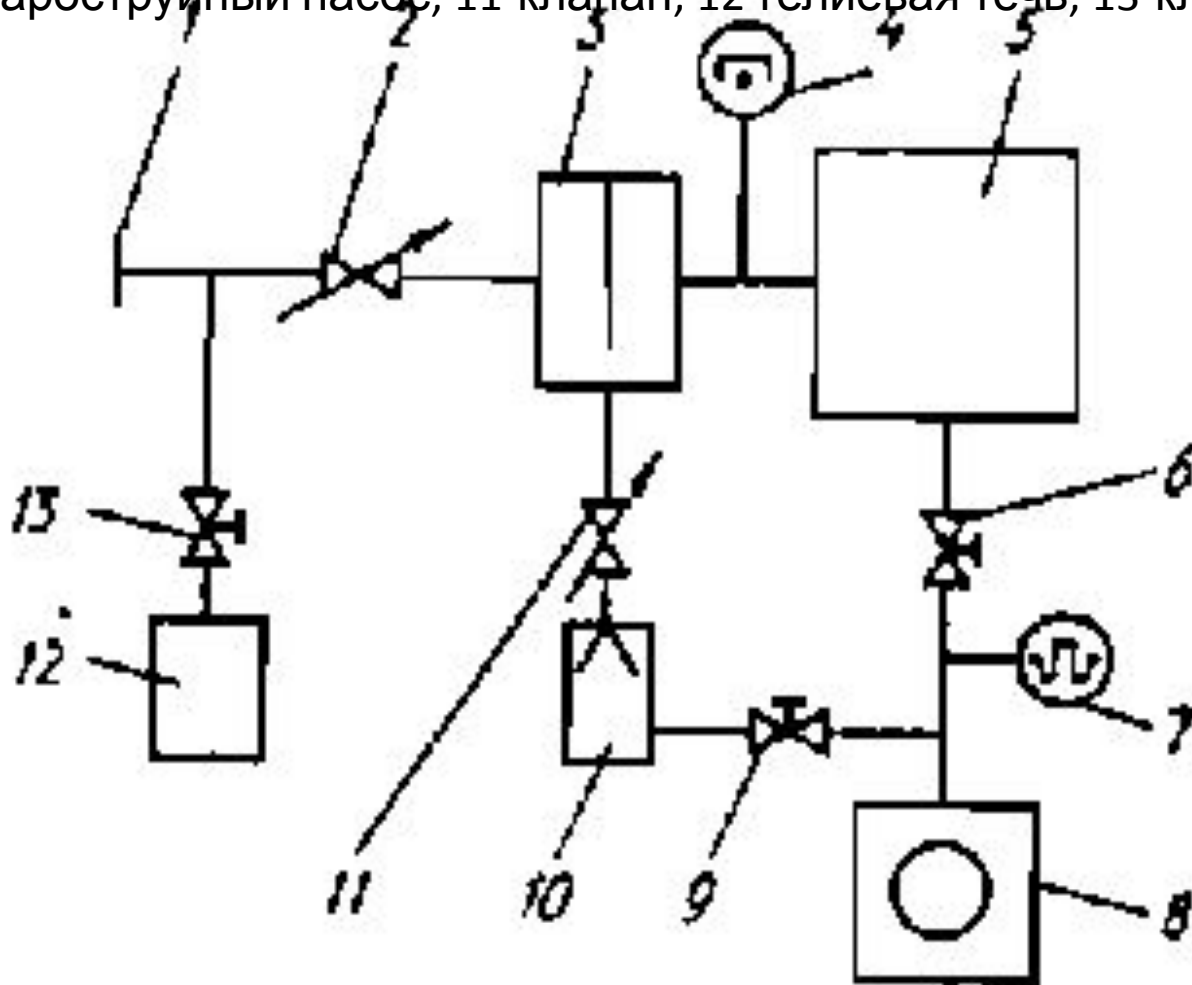
# Схема масспектрометрического гелиевого

**течеискателя** 1-коллектор ионов; 2-выходная щель; 3-траектория ионов остаточных газов; 4-траектория движения ионов гелия; 5-фланец; 6-магнитный анализатор; 7-входная щель; 8-камера ионизации; 9-катод; 10-фланец; 11-источник питания катода; 12-блок измерения ионного тока; 13-электрометрический каскад



# Вакуумная система масспектрометрического течеискателя

1-фланец; 2-клапан-натекатель; 3-ловушка; 4-преобразователь (измеритель давления); 5-масспектрометрическая камера; 6-байпасная откачка камеры 5; 7-манометр; 8-форвакуумный насос; 9-клапан; 10-вывсоковакуумный пароструйный насос; 11-клапан; 12-гелиевая течь; 13-клапан



## Характеристики течеискателей

| Типы течеискателей | Принцип действия        | Наименьший регистрируемый поток, м <sup>3</sup> Па/с | Примечание  |
|--------------------|-------------------------|--|---|
| ПТИ-7А             | Масс-спектрометрический | $7 \cdot 10^{-12}$                                   | Испытание на герметичность объектов, допускающих откачку                                    |
| ПТИ-10             | »                       | $7 \cdot 10^{-12}$                                   | То же   |
| СТИ-11             | »                       | $7 \cdot 10^{-14}$                                   | »   |
| ГТИ-6              | Галогенный              | $1 \cdot 10^{-7}$<br>$7 \cdot 10^{-9}$               | С атмосферным датчиком<br>С вакуумным датчиком при<br>быстроте откачки 1 дм <sup>3</sup> /с |