

Вакуумная техника

Полосаткин Сергей Викторович, тел.47-73

пятница, 10.45 – 12.20

<http://www.inp.nsk.su/students/plasma/sk/tpe.ru.shtml>

Вакуумные насосы

Способы получения вакуума:

- перемещение газа за счет применения внешних сил
- связывание путем сорбции, хим.реакций или конденсации

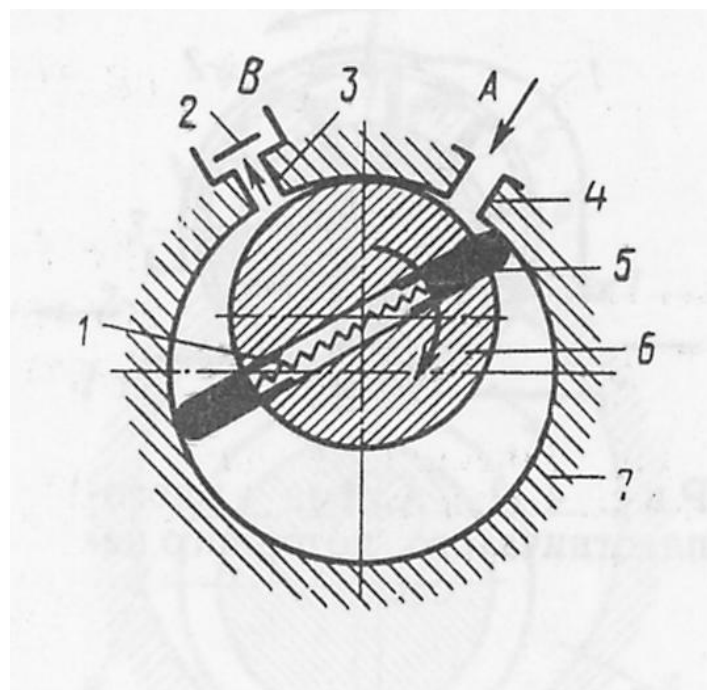
Параметры насосов:

- Наибольшее давление запуска
- Предельное остаточное давление
- Быстрота действия S_H и производительность $Q_H = p_2 S_H$

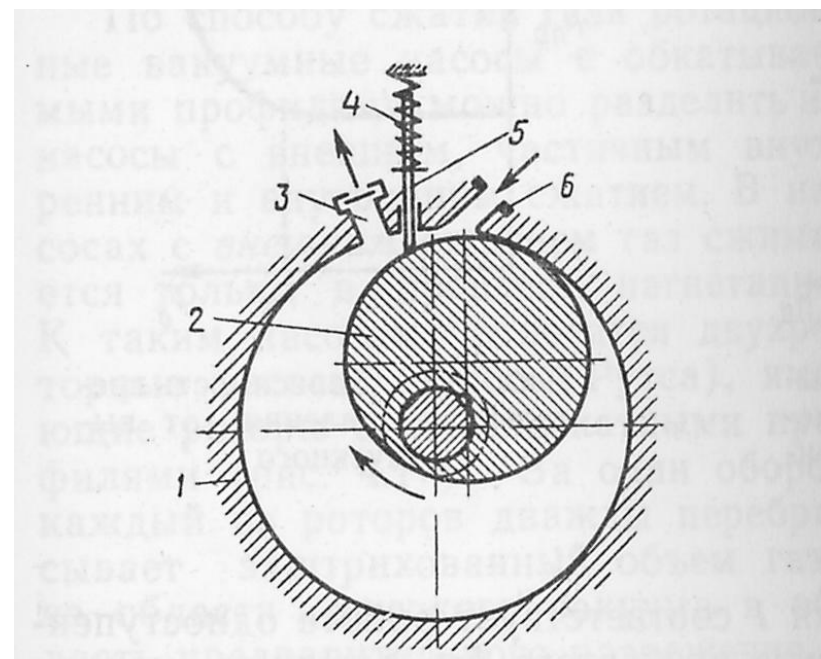
Невозможно с помощью одного типа насосов обеспечить вакуум во всем используемом диапазоне ($10^5 - 10^{-11}$ Па)

Форвакуумные насосы

Пластинчато-роторный



Пластинчато-статорный



Двухступенчатые насосы – до 0,1 Па

Как откачивать водяные пары

Пары воды не выкачиваются, т.к. при повышении давления при выталкивании вода конденсируется и, смешавшись с маслом, отправляется в вакуумный объем обратно

Газобалластное устройство

Важно, чтобы
$$\frac{P_{vapor}}{P_{perm}} < \frac{P_{vapor,sat}}{P_{exhaust}}$$

Надо испортить промежуточный вакуум в насосе

Напускной клапан в насос увеличивает P_{perm} и уменьшает парциальную составляющую паров воды

Масло для вращательных насосов

- Низкое давление насыщенных паров $\sim 10^{-3}$ Па
- Определенная вязкость для уплотнения

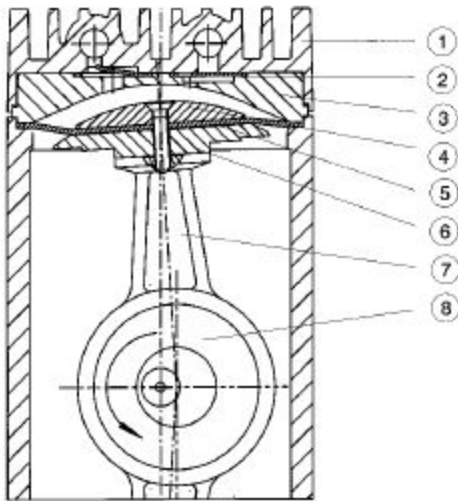
Указания к работе с форвакуумным насосом:

- контроль направления вращения
- контроль тока двигателя
- перед включением проворачивать вал рукой (если все застоялось)
- при необходимости охлаждать
- следить за уровнем масла
- не допускать попадания различных предметов
- напускать воздух в насос после остановки

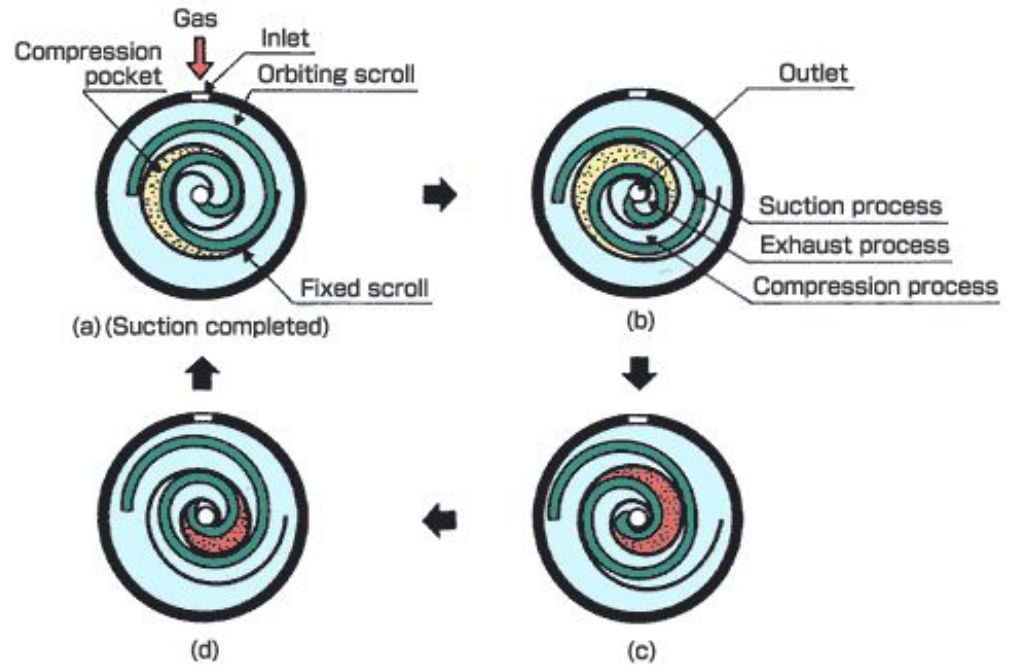
Безмасляные насосы

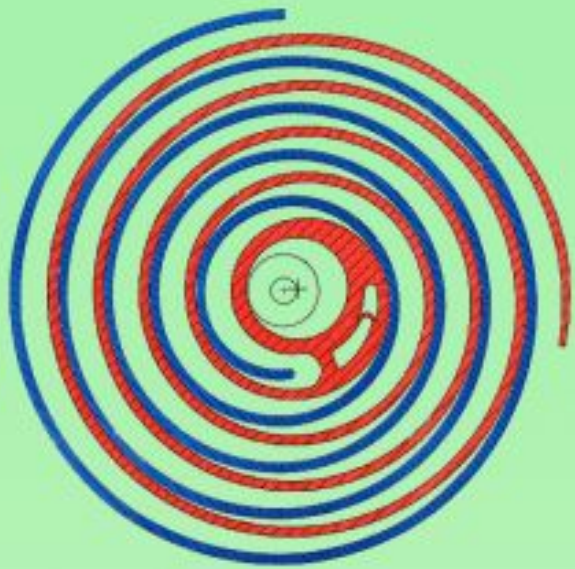
Диафрагменные – до 100 Па

Спиральные – до 1 Па

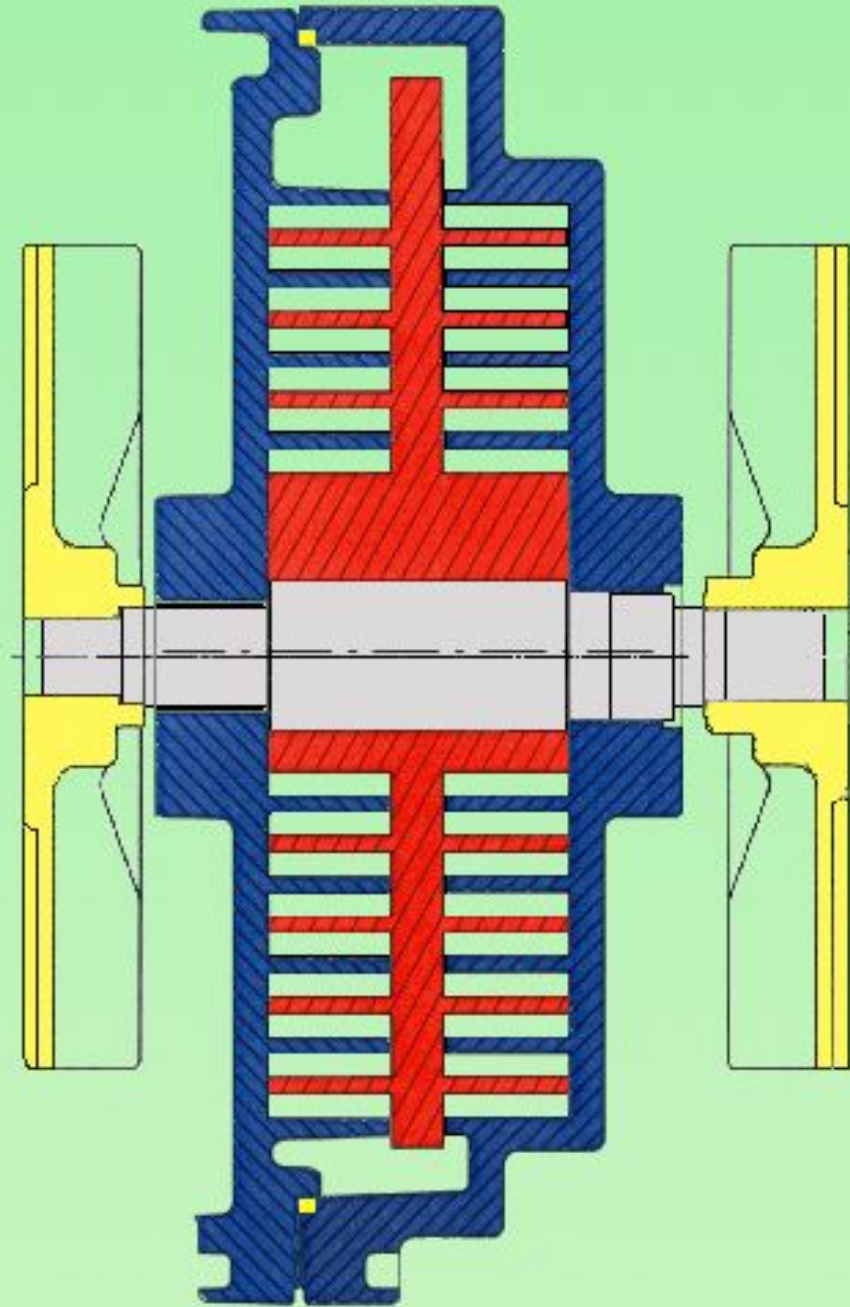


- (1) Casing lid
- (2) Valves
- (3) Lid
- (4) Diaphragm disk
- (5) Diaphragm
- (6) Diaphragm support disk
- (7) Connecting rod
- (8) Eccentric disk

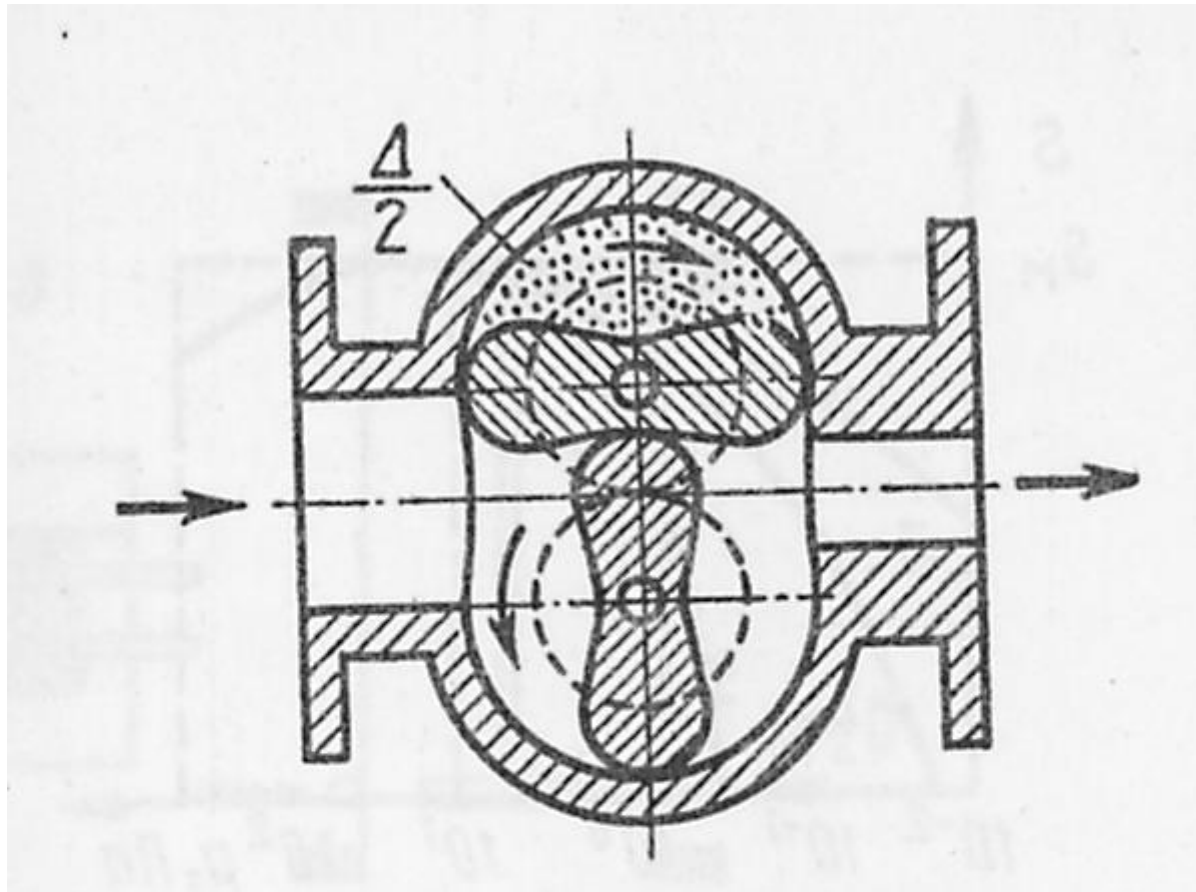




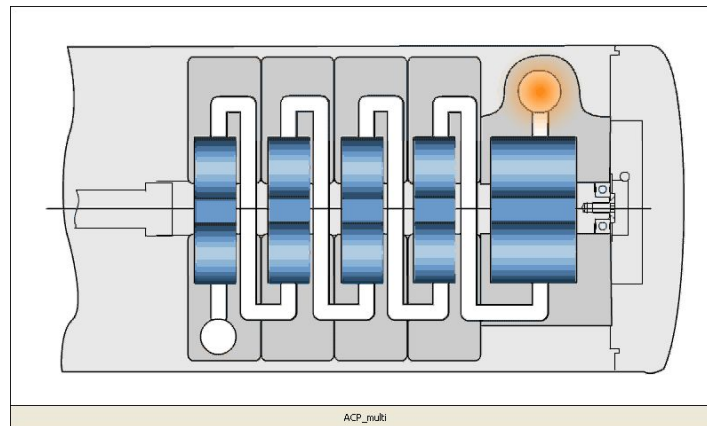
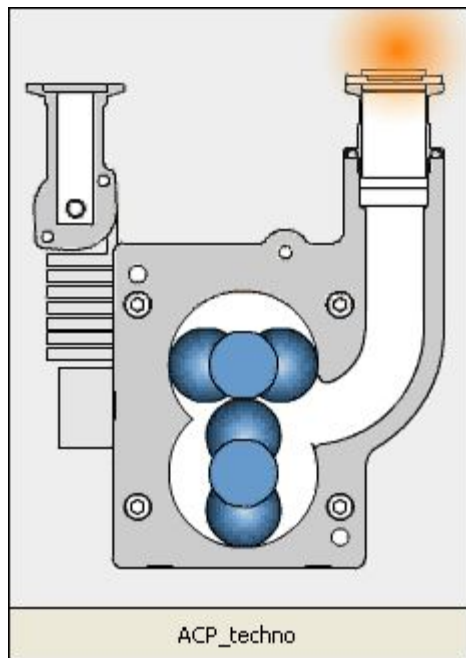
ISP Structure



Двухроторные (Рутса) – до 10^{-3} Па



Двухроторные (Рутса) – до 10^{-3} Па

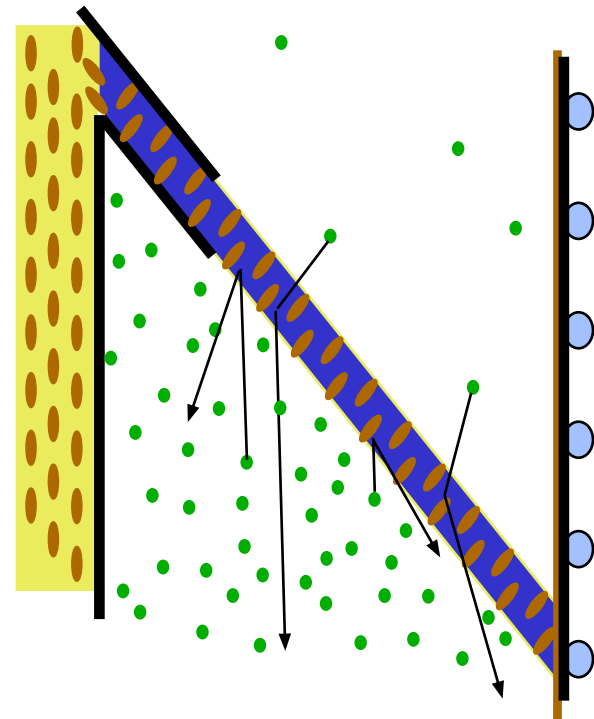
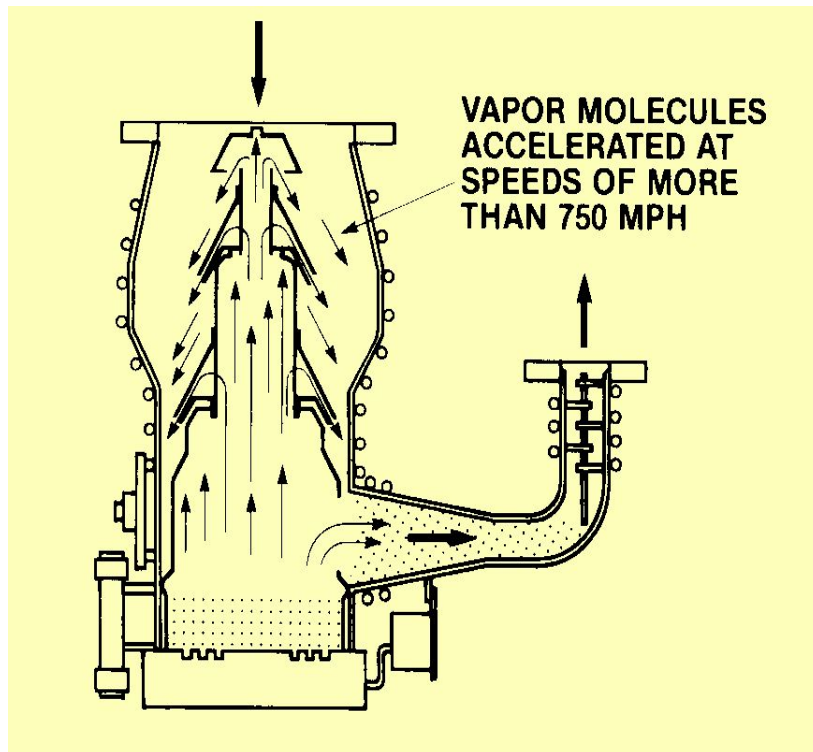


Высоковакуумные насосы

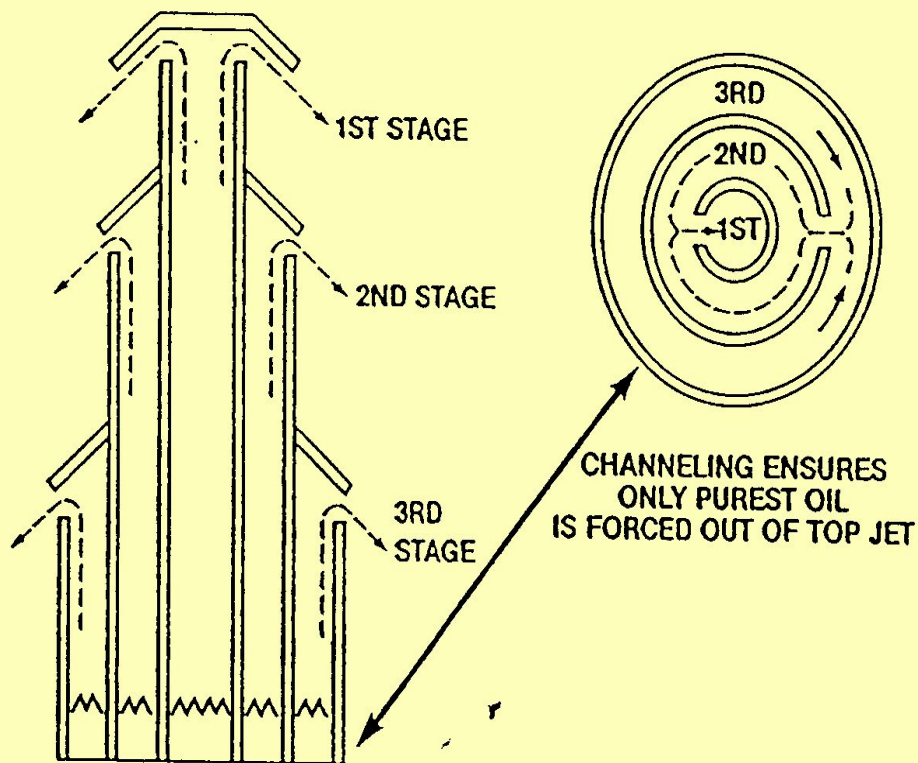
Пароструйные – до 10^{-6} Па

Ртуть – не смачивает стенки, химически не активна, не разлагается
высокое давление насыщенных паров (10^{-1} Па), яд

Масло – низкое давление насыщенных паров (10^{-6} – 10^{-7} Па), безопасно
разлагается при высокой температуре



Многоступенчатые с разделением фракций –
Разные фракции на разных ступенях



Порядок включения:

Форвакуумная откачка

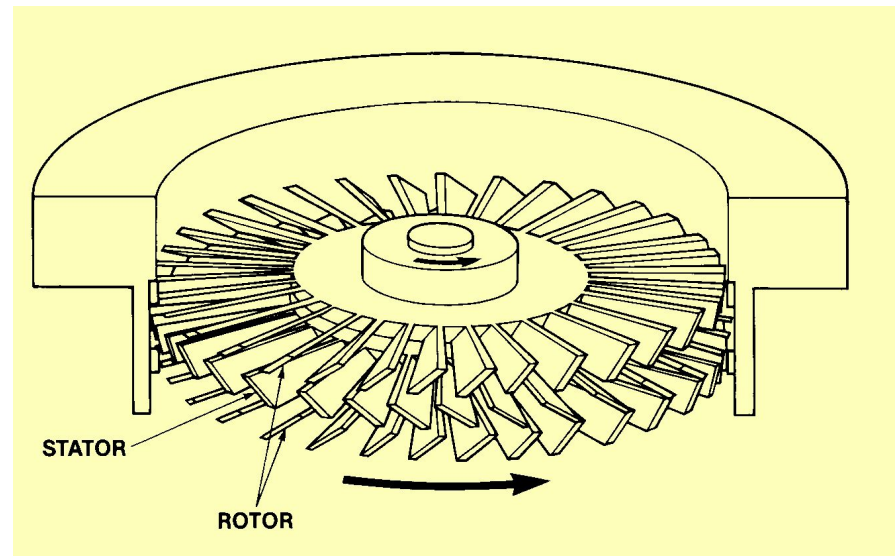
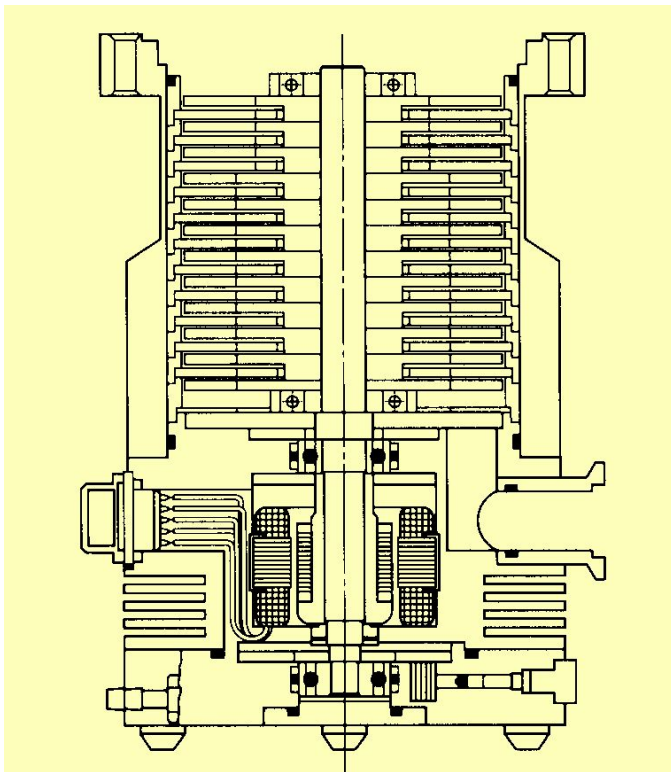
Включение нагрева и охлаждающей воды

Через 30-60 мин после запуска включить азотную ловушку

Открыть затвор для откачки

Турбомолекулярные насосы

Молекулам придается касательный импульс от лопаток
Стартовое давление 1-10 Па, предельное давление 10^{-9} Па
Скорость откачки 50 – 4000 л/с
Могут быть безмасляные
Легкие газы откачиваются плохо



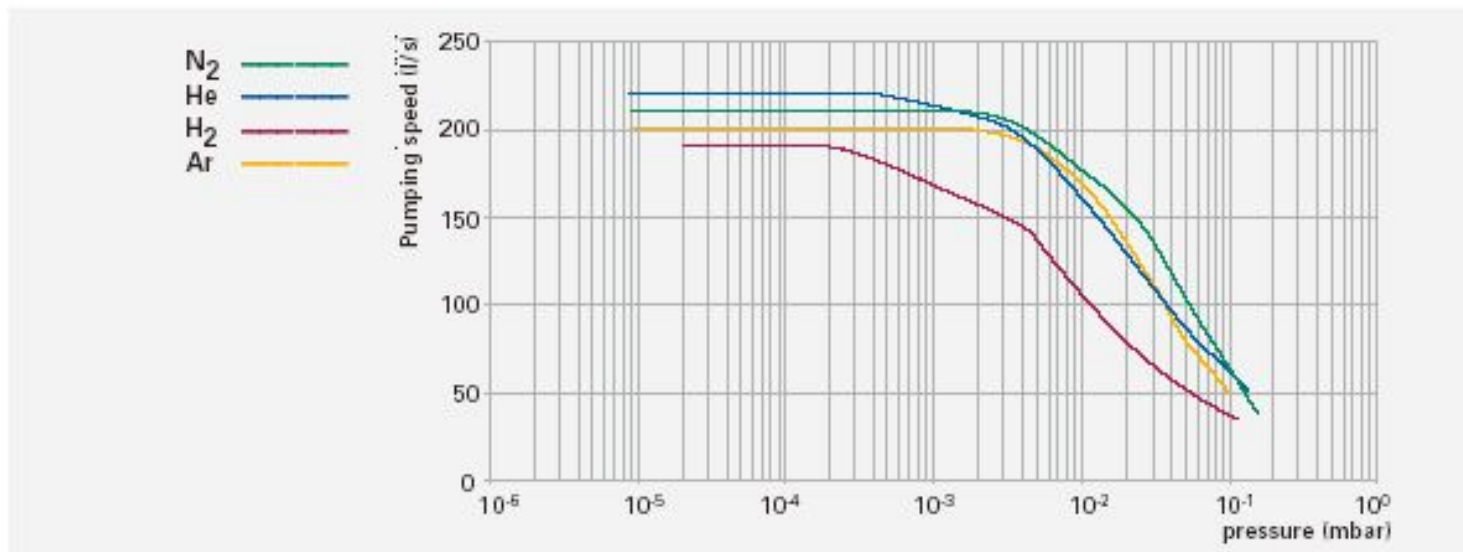
Параметры:

Входное отверстие DN 25 – DN 600

Скорость откачки 10 – 4000 л/с

Степень сжатия 10^2 - 10^5 (H_2) 10^{11} (N_2)

Предельное давление 10^{-9} – 10^{-11} Па



Пределный вакуум при большой газовой нагрузке

АЗОТ

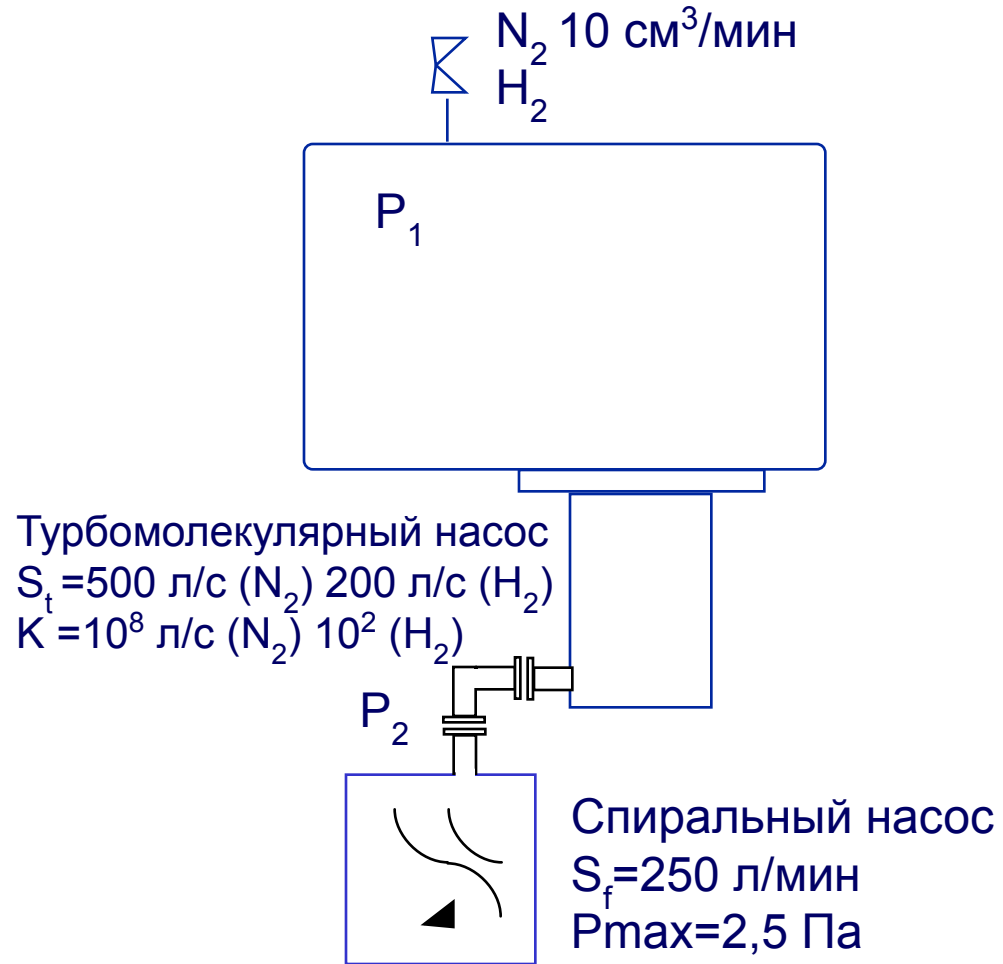
$$P_2 = 10^5 \text{ Па} \cdot \frac{0,1 \text{ см}^3 / \text{мин}}{S_f} = 4 \text{ Па}$$

$$P_2 = 4 \text{ Па} \cdot \frac{0,1 \text{ см}^3 / \text{мин}}{S_t} = 10^{-6} \text{ Па}$$

ВОДОРОД

$$P_2 = 10^5 \text{ Па} \cdot \frac{0,1 \text{ см}^3 / \text{мин}}{S_f} = 4 \text{ Па}$$

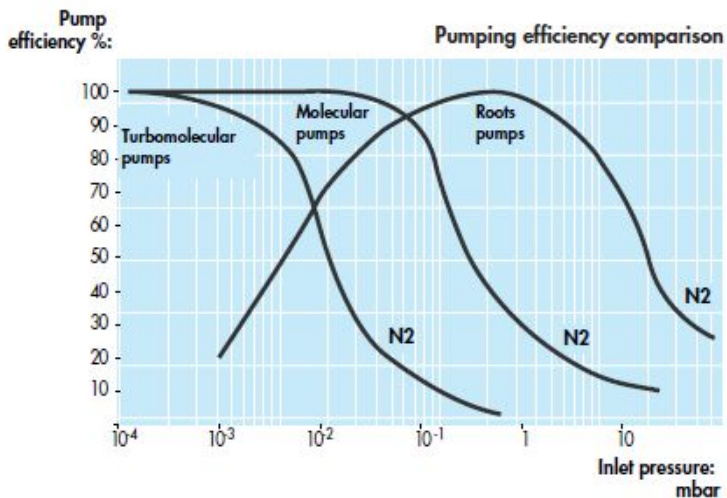
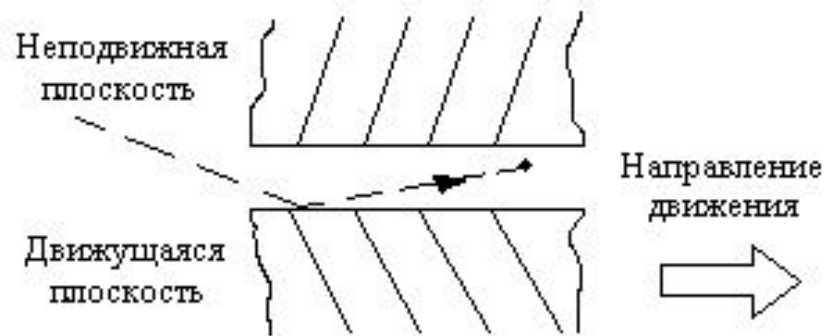
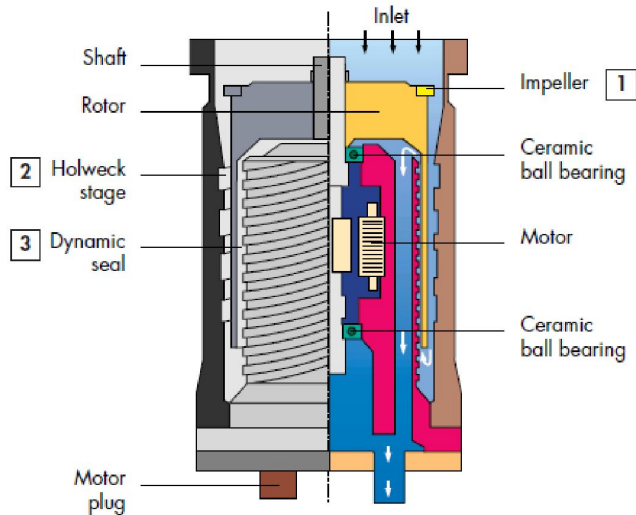
$$P_2 = 4 \text{ Па} / K = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$$



Молекулярные насосы

спираль Хольвека

Adixen-Alcatel MDP 5011



Параметры (Alcatel MDP 5011):

Входное отверстие DN 63

Скорость откачки 7,5 л/с

Степень сжатия 10^3 (H_2) 10^9 (N_2)

Рабочее давление $10^3 - 10^{-4}$ Па

Давление выхлопа $4 \cdot 10^3$ Па

Адсорбционные насосы

Принцип – физ. сорбция на поверхности
Требуется развитая поверхность

Адсорбенты –

Силикогель

Алюмогель

Активированный уголь

Цеолиты – размер пор 1,3 нм, площадь поверхности 1000 м²/г

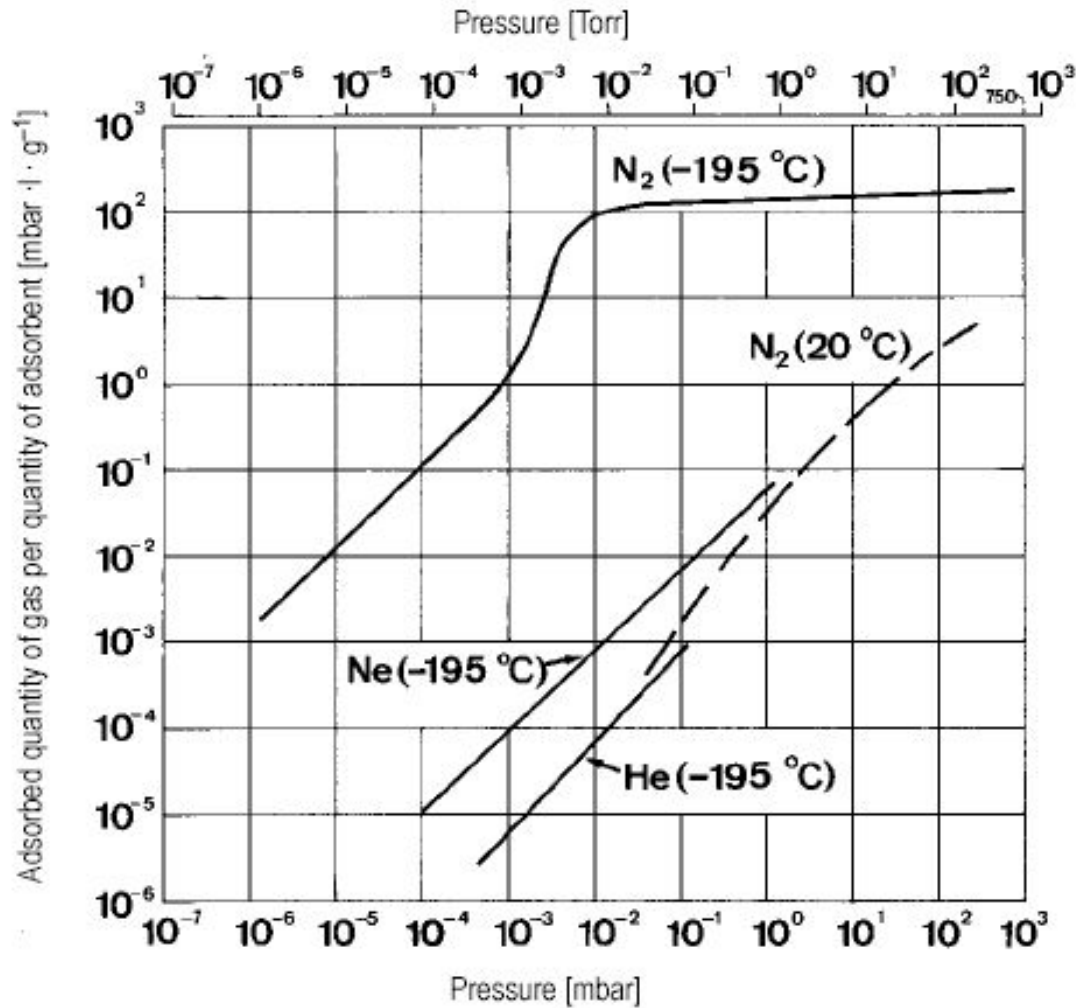
Откачка – при 77 К, регенерация 400 К.

Плохо откачивают инертные газы

Предельный вакуум 10⁻² Па

Емкость адсорбционного насоса

1 монослой - $\sim 10^{15}$ частиц/см² - 10^{22} частиц/г – $40\text{ м}^3 \cdot \text{Па/г}$ – $400 \text{ л} \cdot \text{мБар/г}$

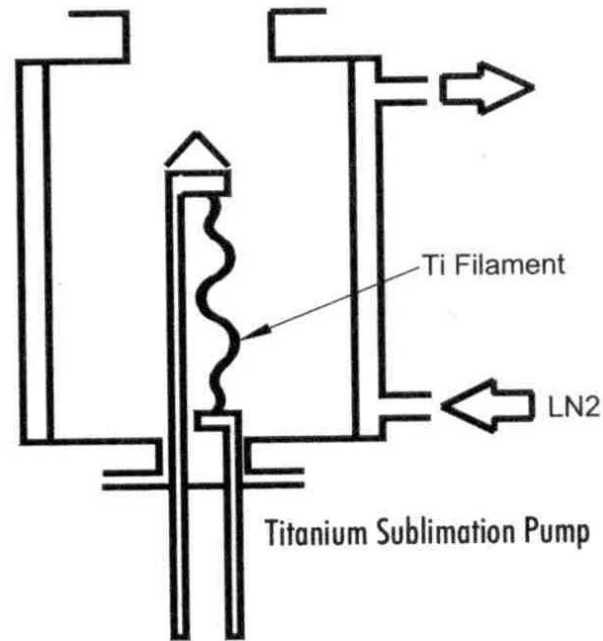


Геттерные насосы

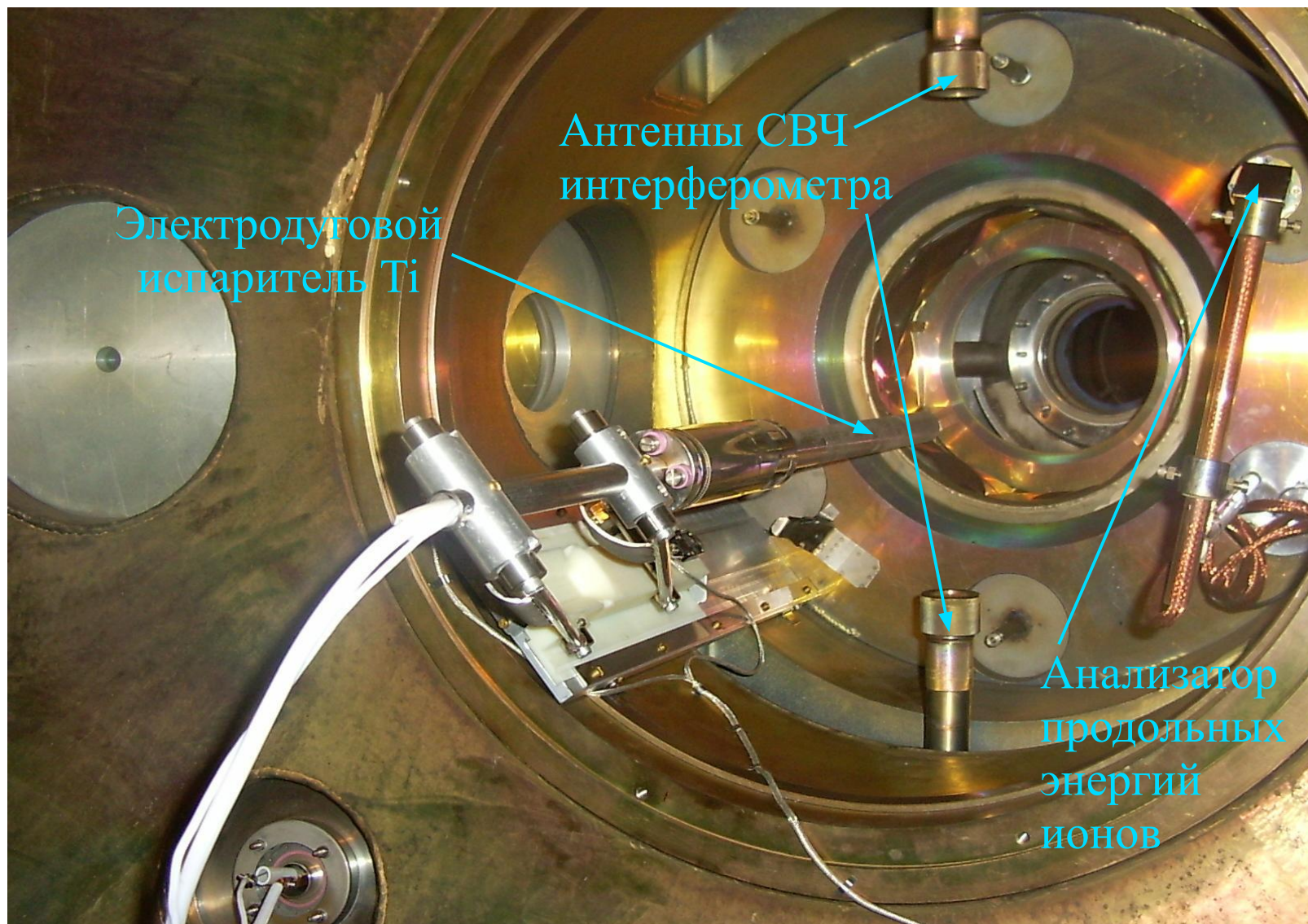
Хемосорбция или растворение откачиваемых газов

Рабочее вещество (абсорбент) – титан

Высокая скорость откачки, большая емкость, компактность



Вакуумные условия и подготовка первой стенки (ГДЛ, эксперимент SHIP)

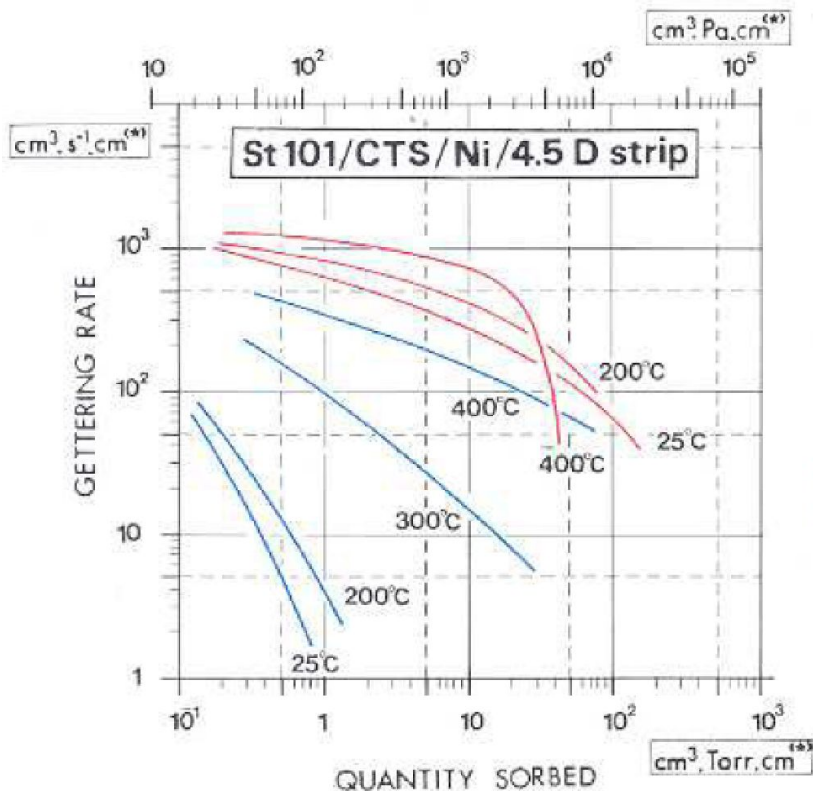


Нераспыляемые геттеры

Материалы с пористой структурой и высокой скоростью диффузии газов

Пористый титан, TiV, ZrAl, Тактивации 350 - 650°C

LEP – лента 30 мм с покрытием 100 мкм Zr84%-Al16% (геттер St101)
2000 л/с·м, $2 \cdot 10^{-10}$ Па



Скорость откачки (CO) $\sim 0,01$ л/(с·см²)
Емкость $5 \cdot 10^{-2}$ Па·л/см²
 10^{-6} Па - $5 \cdot 10^6$ с

Скорость откачки (H_2) $\sim 0,1$ л/(с·см²)
Емкость 10^2 Па·л/см²
0,1 Па - 10^4 с

Магнито-разрядные насосы

Используется Пеннинговский разряд

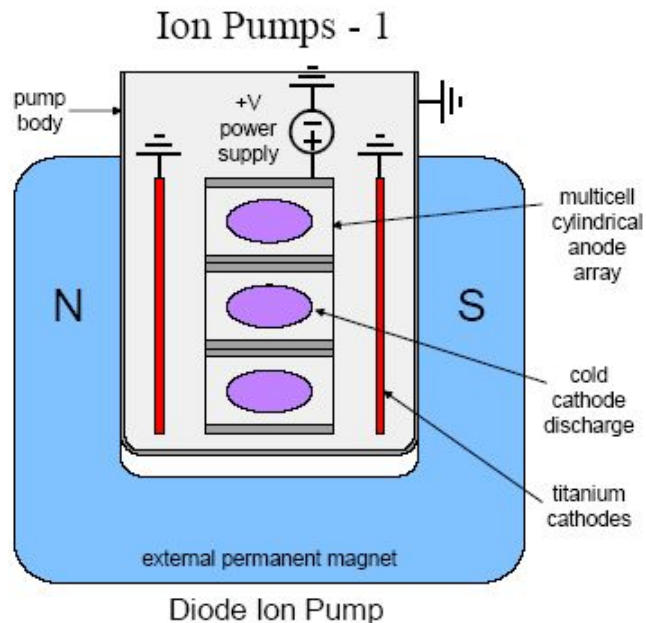
start с 10^{-1} Па → до 10^{-8} Па

Система с осциллирующими электронами

Электроны ионизируют газ, ускоренные ионы газа распыляют титан

→ работает как геттер

Не требуют форвакуумной откачки



Крионасосы

Эффекты:

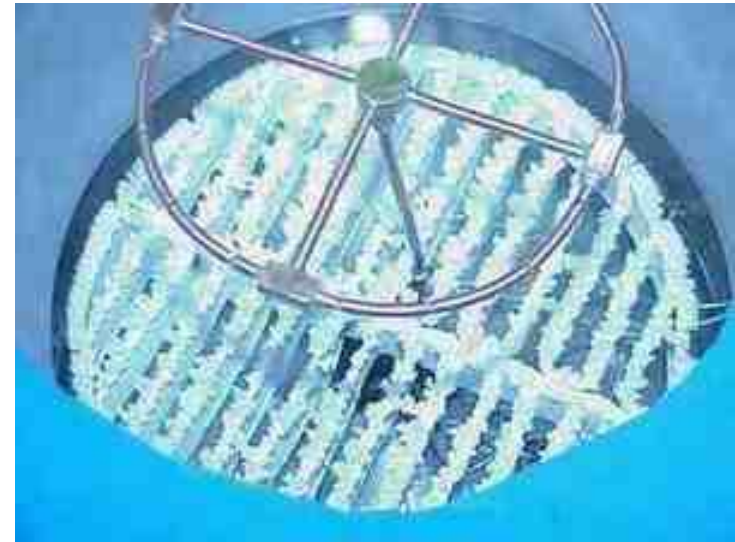
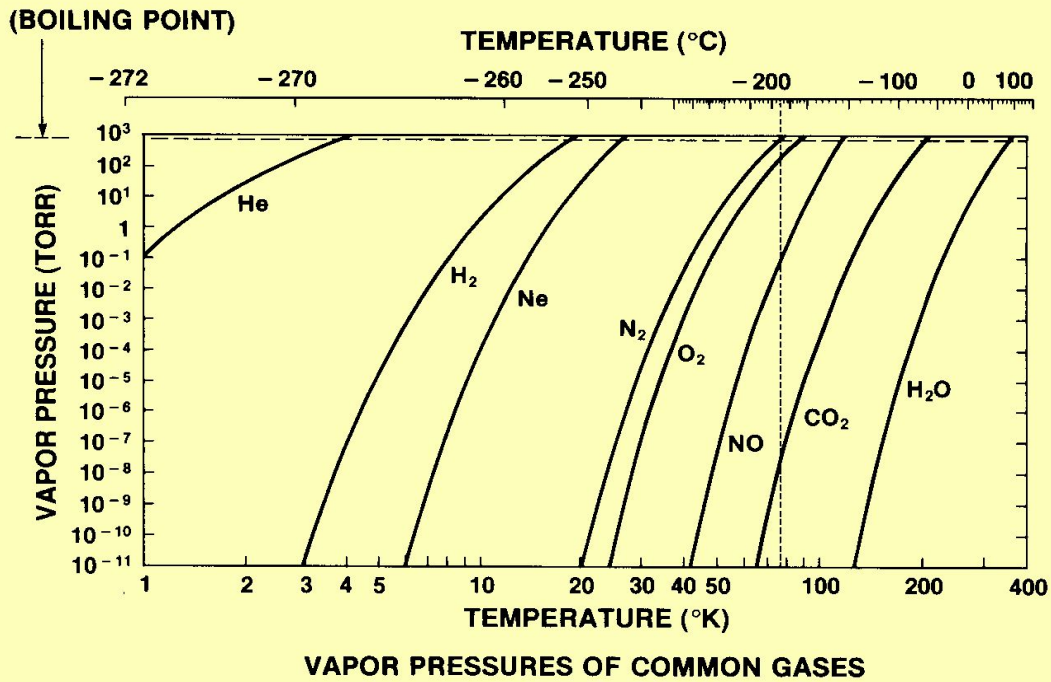
Криоконденсация – конденсация газов при низких температурах

Криосорбция – поглощение газа веществами с развитой поверхностью

Криозахват – захват неконденсирующихся газов в слое конденсата

Криоконденсация

Наибольшее распространение – азотная ловушка



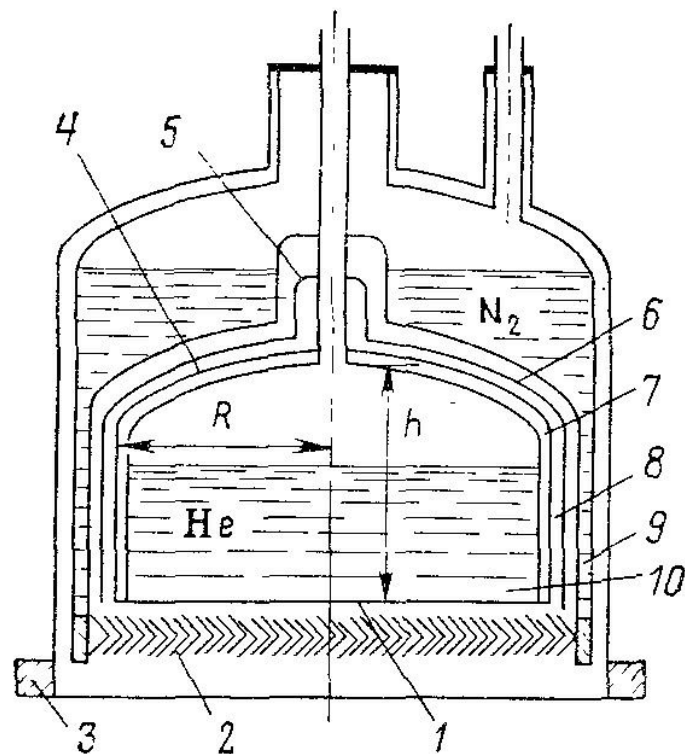
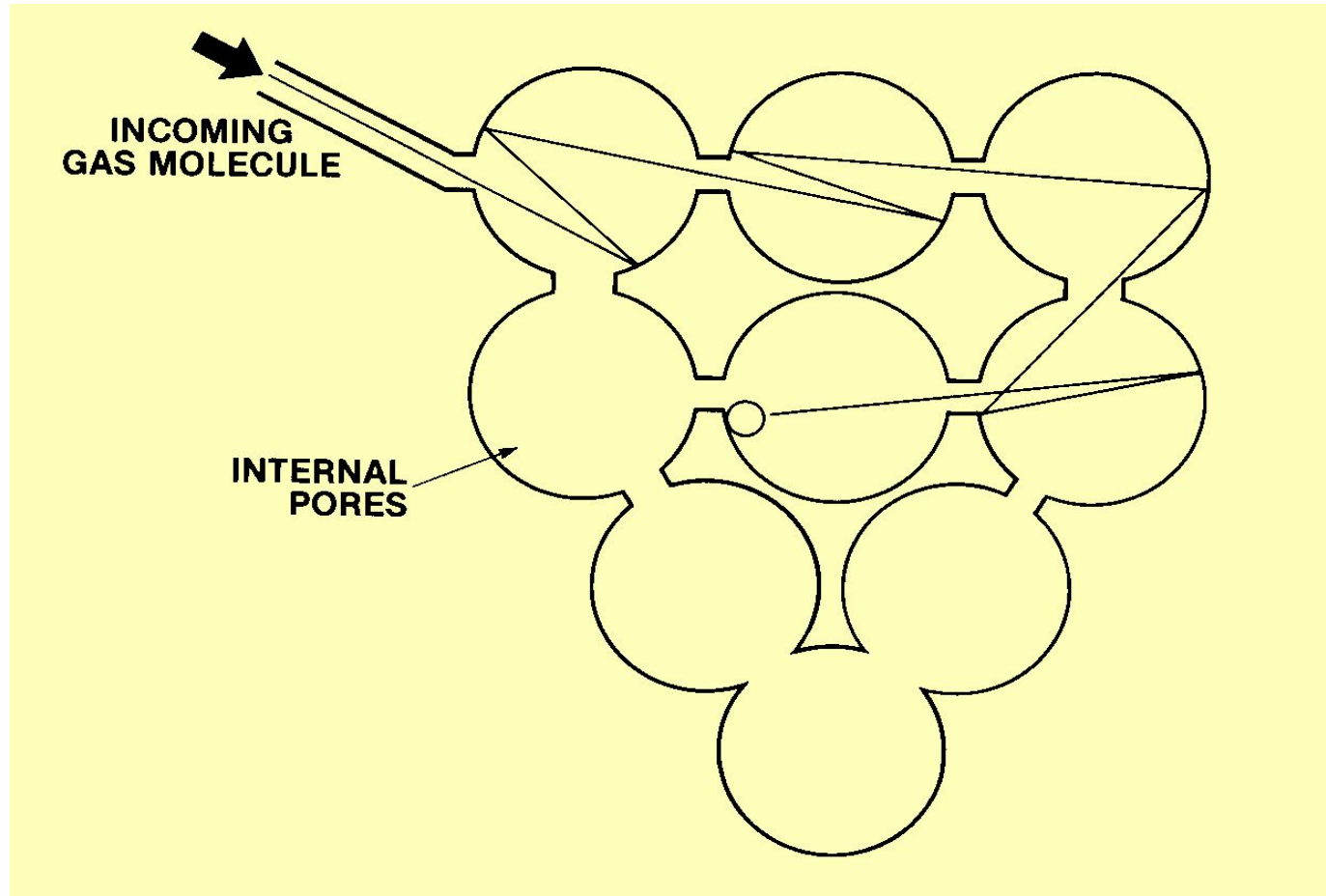


Рис. 9.3. Улучшенный вариант крионасоса-ванны для экстремально низких давлений и длительного времени работы [9.7]:

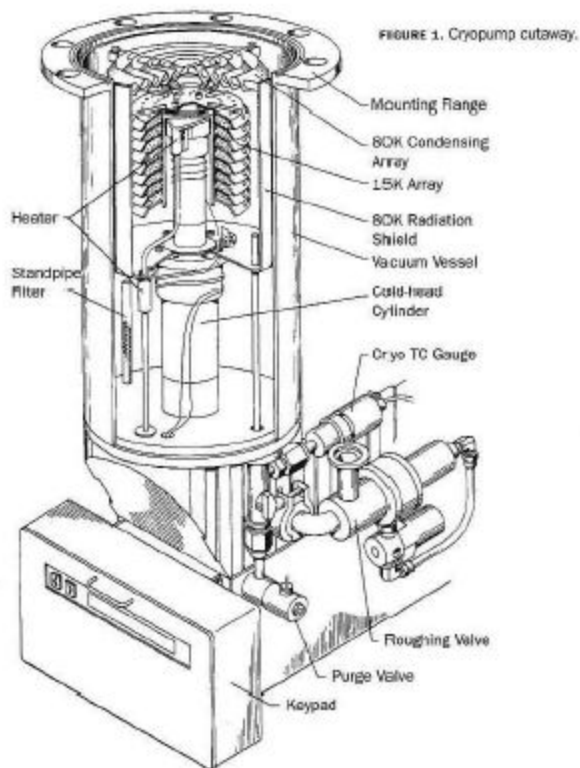
1 — поверхность конденсации, покрытая Ag; 2 — шевронный экран; 3 — подсоединительный фланец; 4 — рубашка с двойными стенками, покрытыми Ag; 5 — слой Si толщиной 0,2 мм; 6 — экран, покрытый с наружной стороны Ag и зачерненный с внутренней стороны; 7 — камера, заполненная неонам; 8 — зазор, равный d ; 9 — ванна с жидким N_2 ; 10 — ванна с жидким He

Криосорбция



Активный элемент – активированный уголь

Крионасосы Cryo-Torr

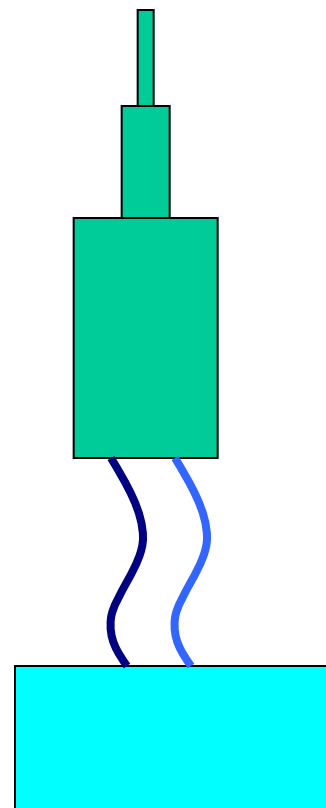
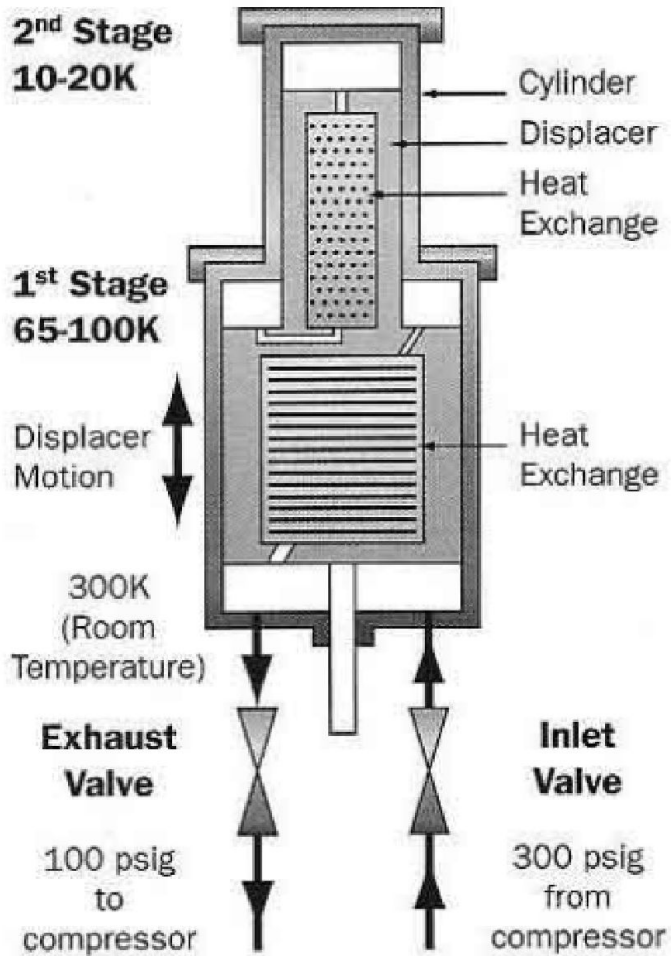


$T=10-30\text{ K}$, теплоноситель - гелий

Скорость откачки $0,3 - 6\text{ м}^3/\text{с}$

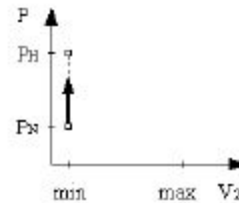
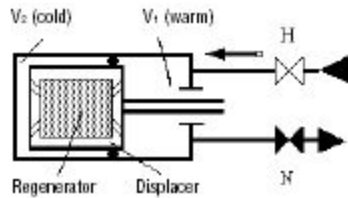
Параметр включения $\sim 10^4\text{ Па}\cdot\text{л}$

Емкость (водород) 3-40 стандартных литров



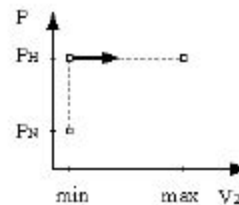
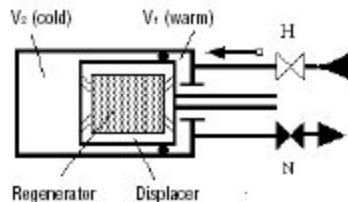
Компрессор

Процесс Гриффина - Макнагона



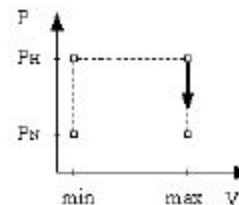
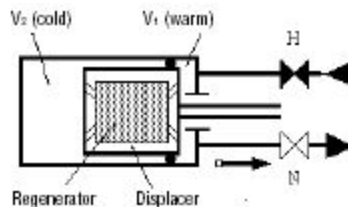
Phase 1:

The displacer is at the left dead center; V_2 where the cold is produced has its minimum size. Valve N remains closed, H is opened. Gas at the pressure p_H flows through the regenerator into V_2 . There the gas warms up by the pressure increase in V_1 .



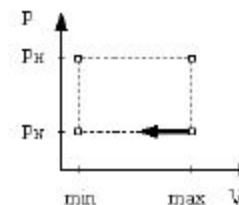
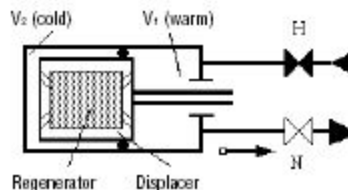
Phase 2:

Valve H remains open, valve N closed: the displacer moves to the right and ejects the gas from V_1 through the regenerator to V_2 where it cools down at the cold regenerator; V_2 has its maximum volume.



Phase 3:

Valve H is closed and the valve N to the low pressure reservoir is opened. The gas expands from p_H to p_N and thereby cools down. This removes heat from the vicinity and it is transported with the expanding gas to the compressor.



Phase 4:

With valve N open the displacer moves to the left; the gas from $V_{2,max}$ flows through the regenerator, cooling it down and then flows into the volume V_1 and into the low pressure reservoir. This completes the cycle.

Вакуумная система токамака ИТЭР

Основное средство откачки-

Криосорбционные насосы
(активированный уголь, 4,7 К)

Скорость откачки 80 м³/с

Цикл работа-регенерация 600 с

Форвакуумные насосы-

Насосы Рутса 250 м³/час

Отсутствие органических
уплотнений



Вакуумная система LHC

Откачка криостата (10^{-4} Па)

Первичный вакуум -турбомолекулярные насосы

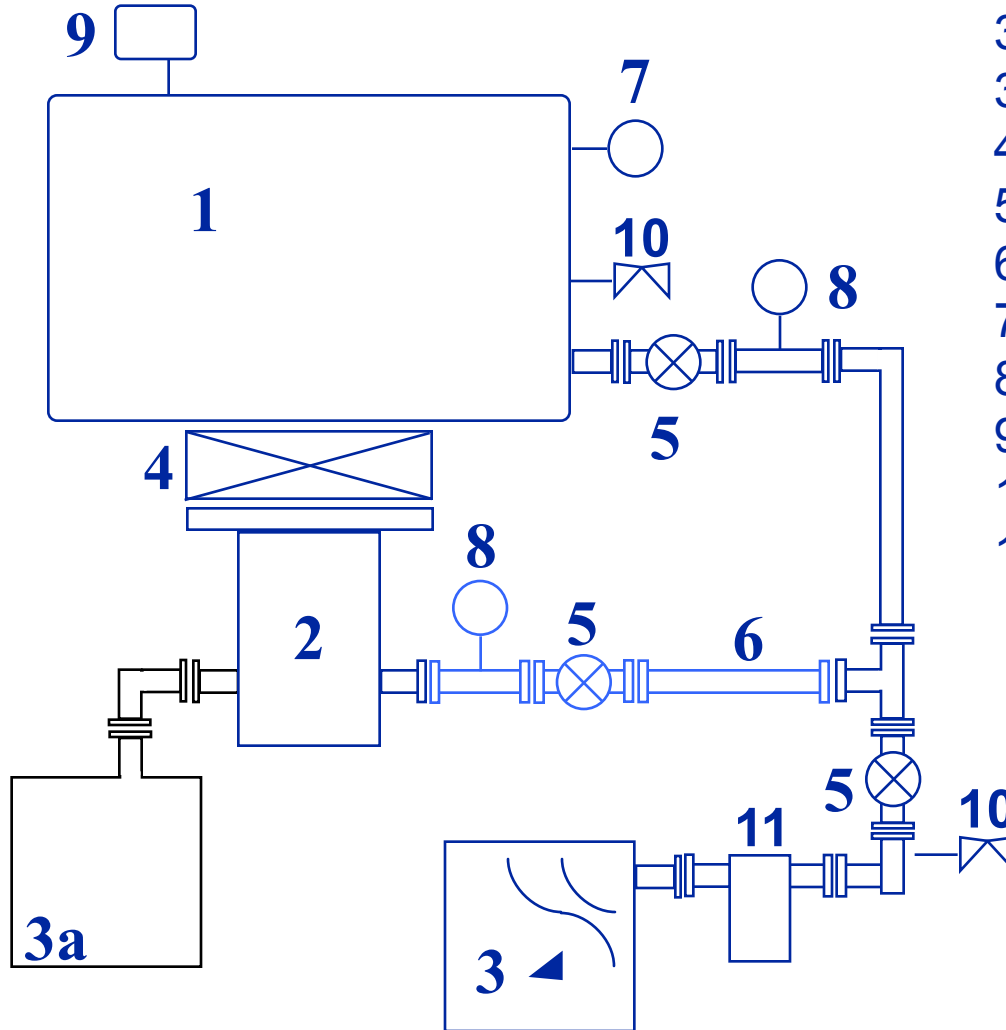
Поддержание вакуума – естественная криооткачка (1,9 К)

Откачка вакуумной камеры (10^{-6} Па)

Криооткачка – ограничение из-за энерговыделения в камере (0,1-1 Вт/м)

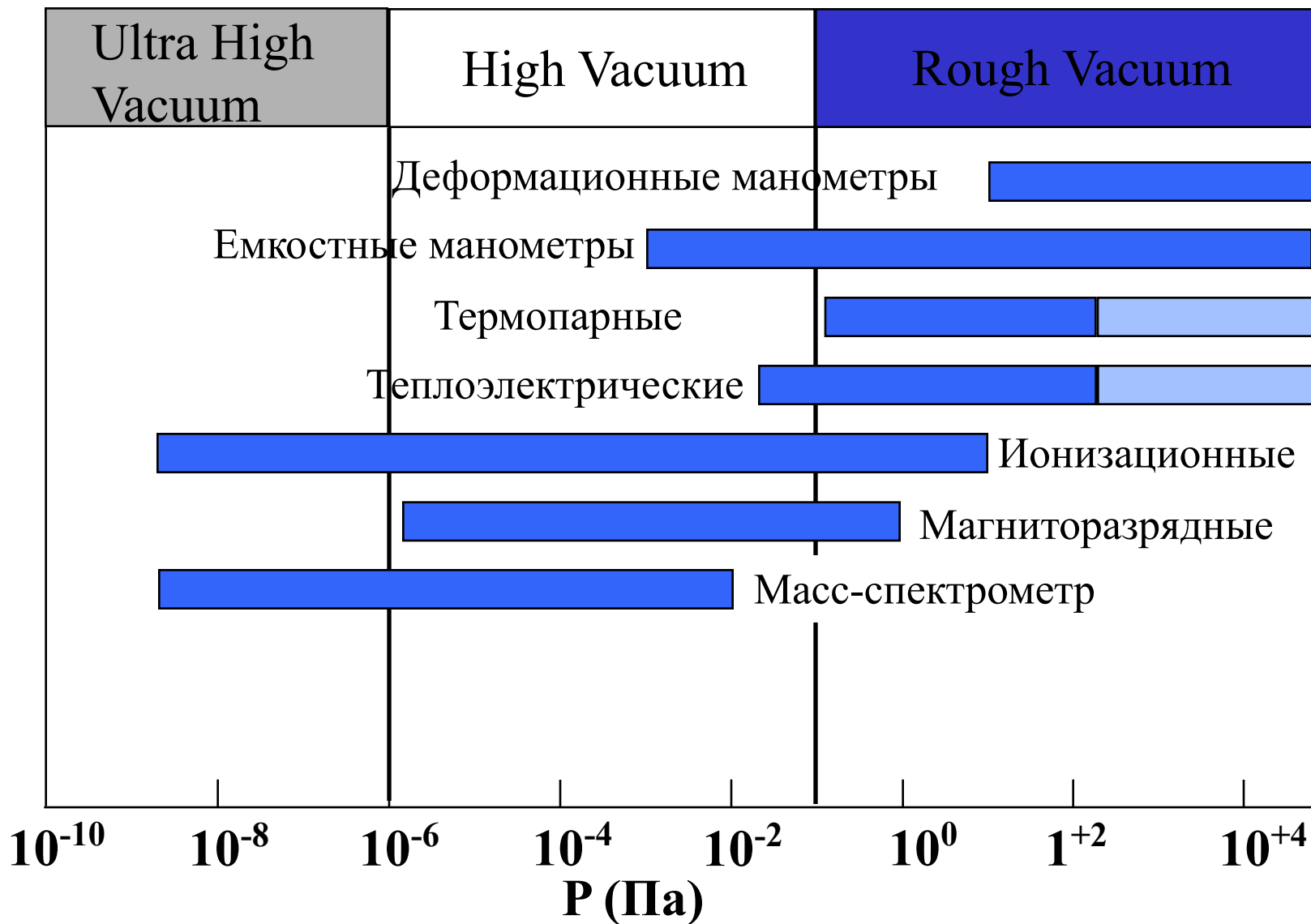
Охлаждение камеры газообразным гелием (20 К)

Вакуумная система

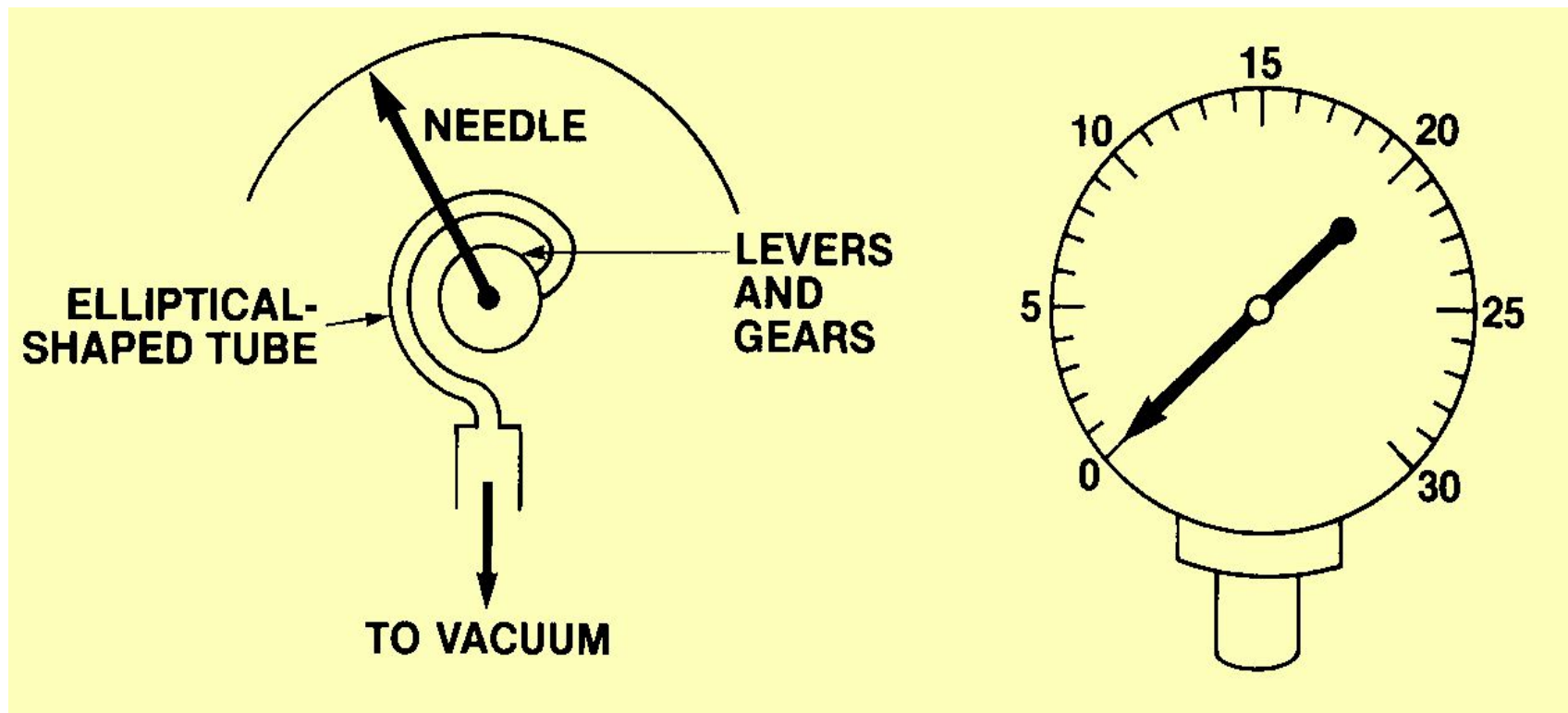


1. Вакуумная камера
2. Высоковакуумный насос
3. Форвакуумный насос
- 3a. Форвакуумный насос
4. Шибер
5. Вакуумные клапаны
6. Байпас
7. Высоковакуумные лампы
8. Форвакуумные лампы
9. Масс-спектрометр
10. Клапан напуска атмосферы
11. Цеолитовая ловушка

Вакуумные измерения



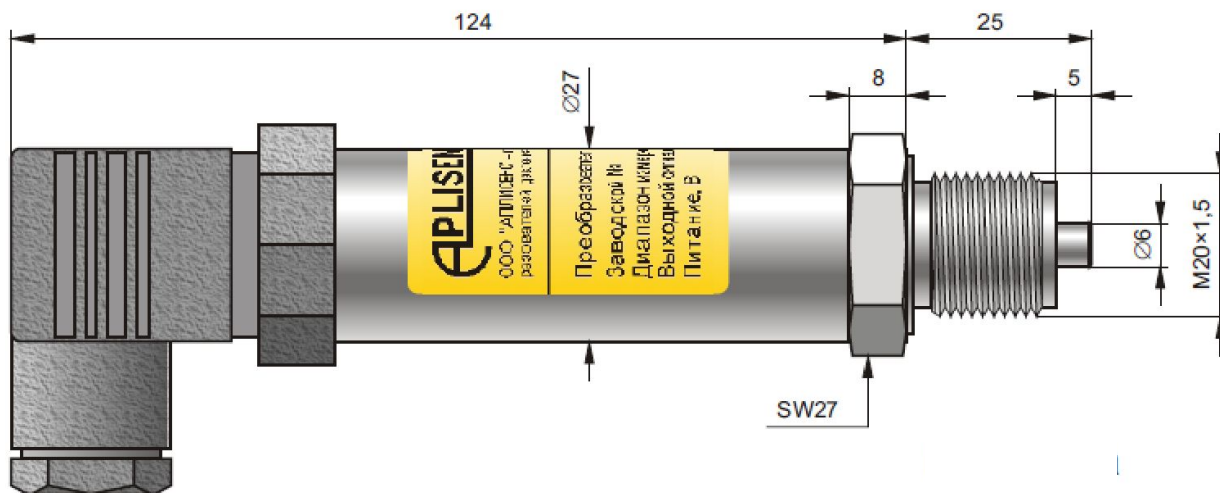
Деформационные мановакуумметры



Абсолютные или относительные
 $1 - 10^5$ Па

Не зависят от сорта газа

Пьезорезистивные мановакууметры



Абсолютные или относительные

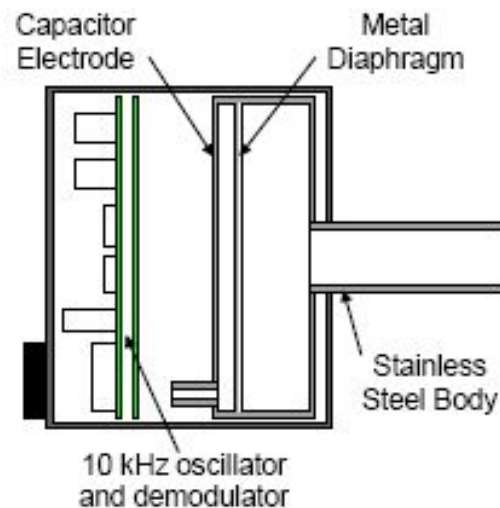
$2,5 \cdot 10^3 - 10^5$ Па

Погрешность 0,4 – 1%

Не зависят от сорта газа

Емкостной манометр

Capacitance Manometers - 1



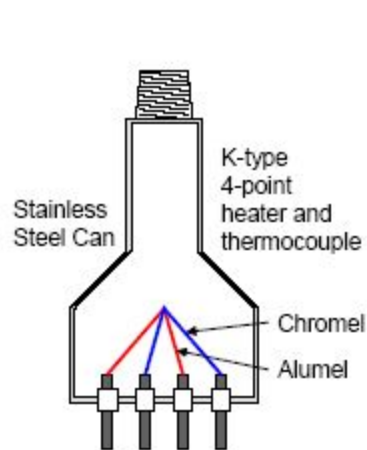
Баратрон (MKS instruments)

$10^{-5} - 10^5$ Па

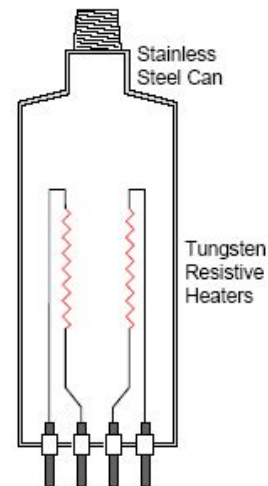
Точность 0,12 %

Тепловые манометры

Thermocouple Gauges - 1



Pirani Gauges - 1

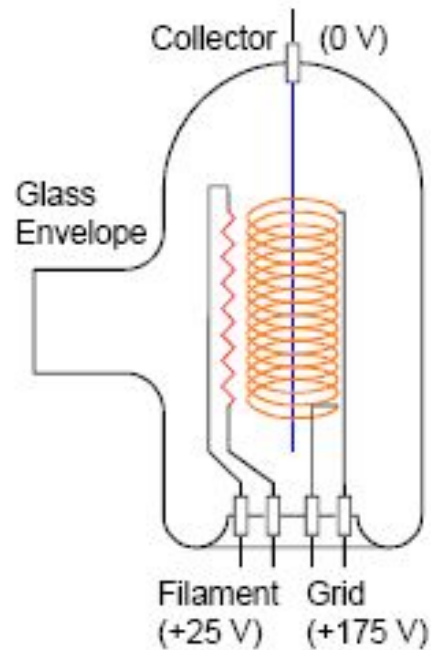


Разные газы имеют разную градуировку (теплопроводность зависит от сорта газа)

0.1 – 10^5 Па

MicroPirani (MKS inst) 10^{-3} – 10^5 Па

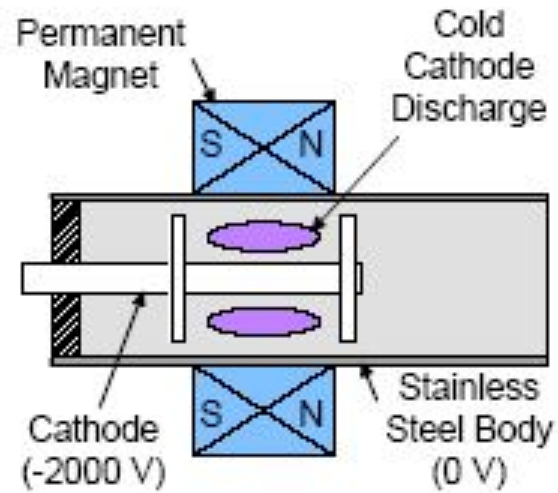
Ионизационные манометры



Лампа Байарда-Альперта

Измеряемый сигнал зависит от сорта газа
Можно проводить быстрые измерения

Магниторазрядные манометры



Ячейка Пеннинга

Ток разряда пропорционален давлению (до 10^{-10} Па)

Широкодиапазонные вакуумметры

Совмещают несколько ламп
Диапазон до 10^{-10} - 10^5 Па

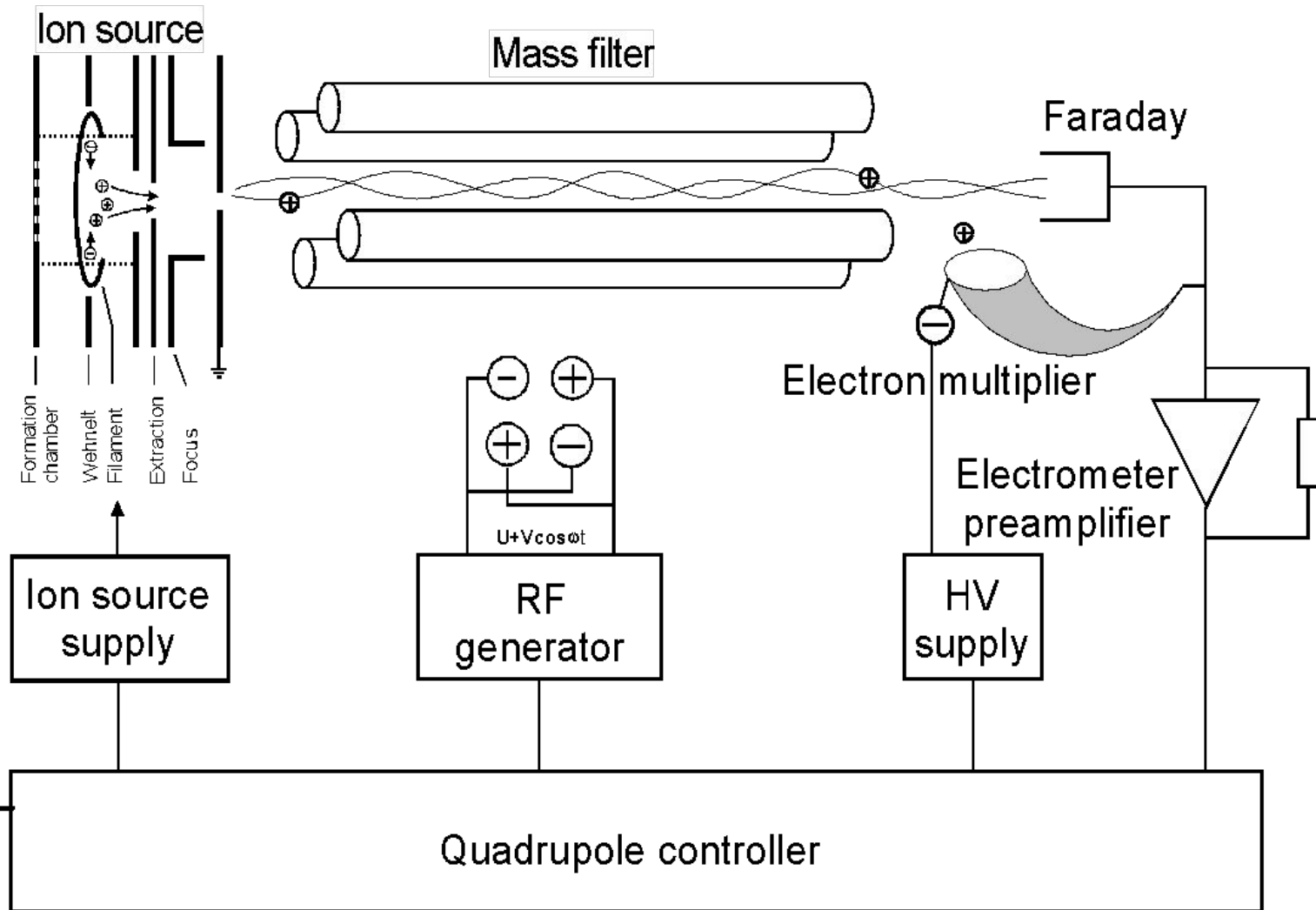
Выходное напряжение пропорционально
логарифму давления



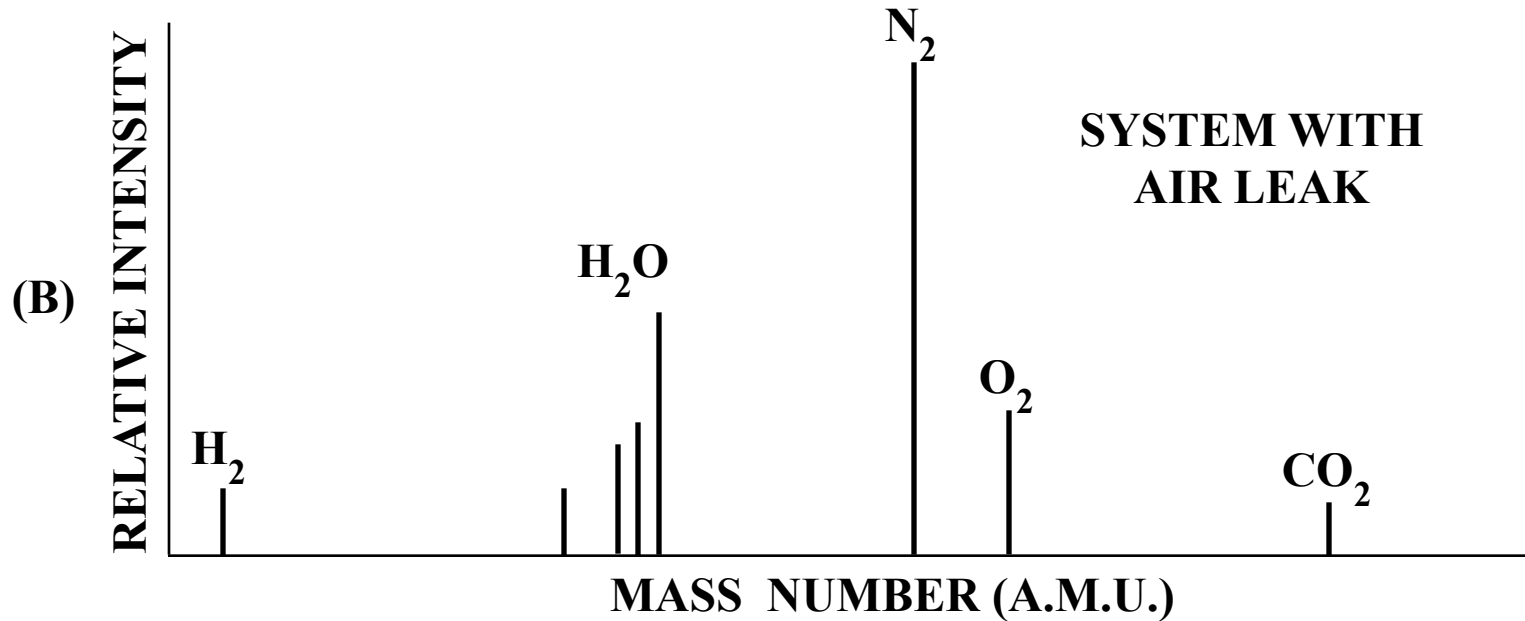
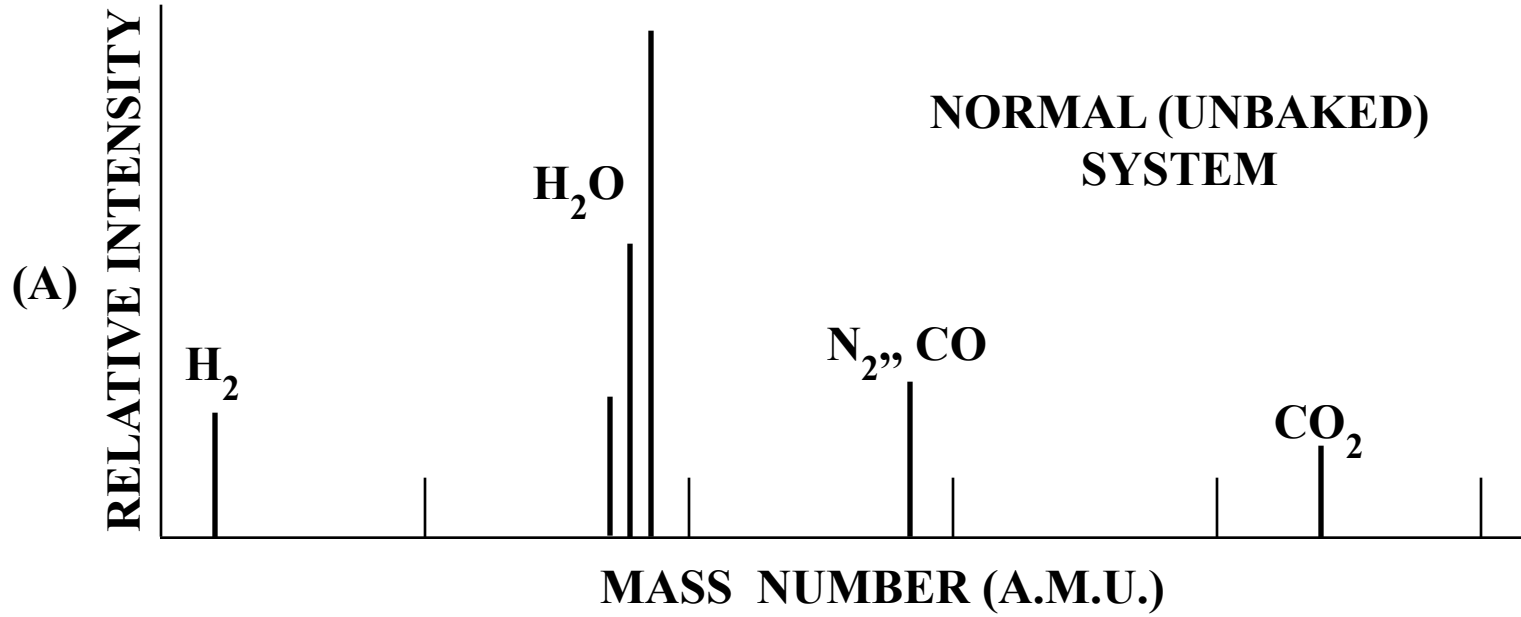
Pfeiffer PKR 251

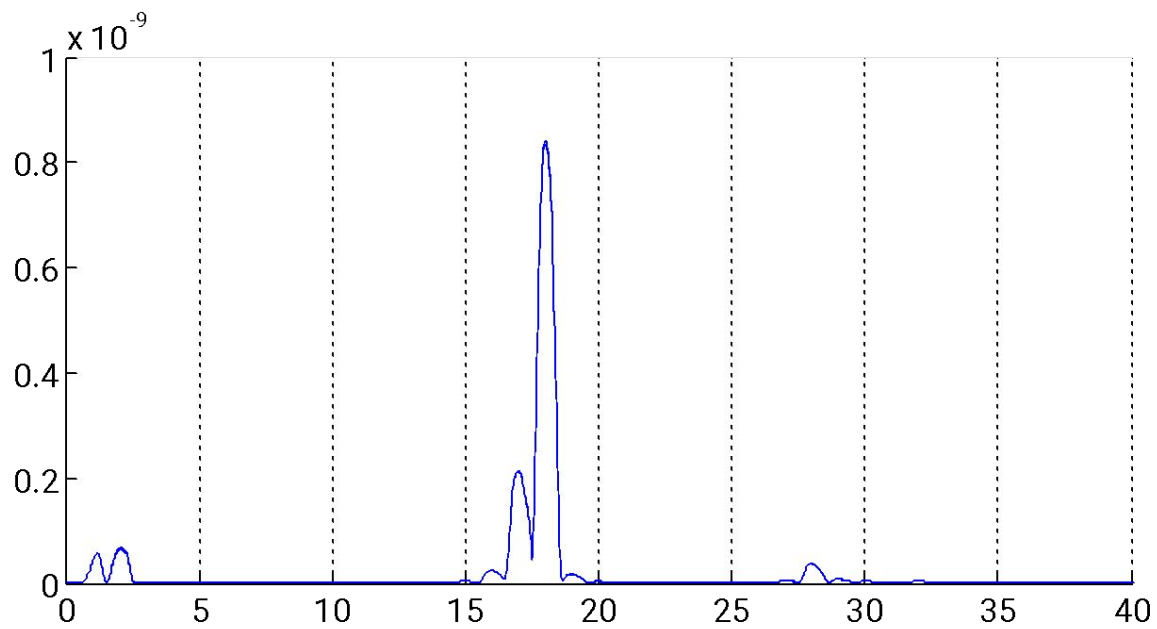
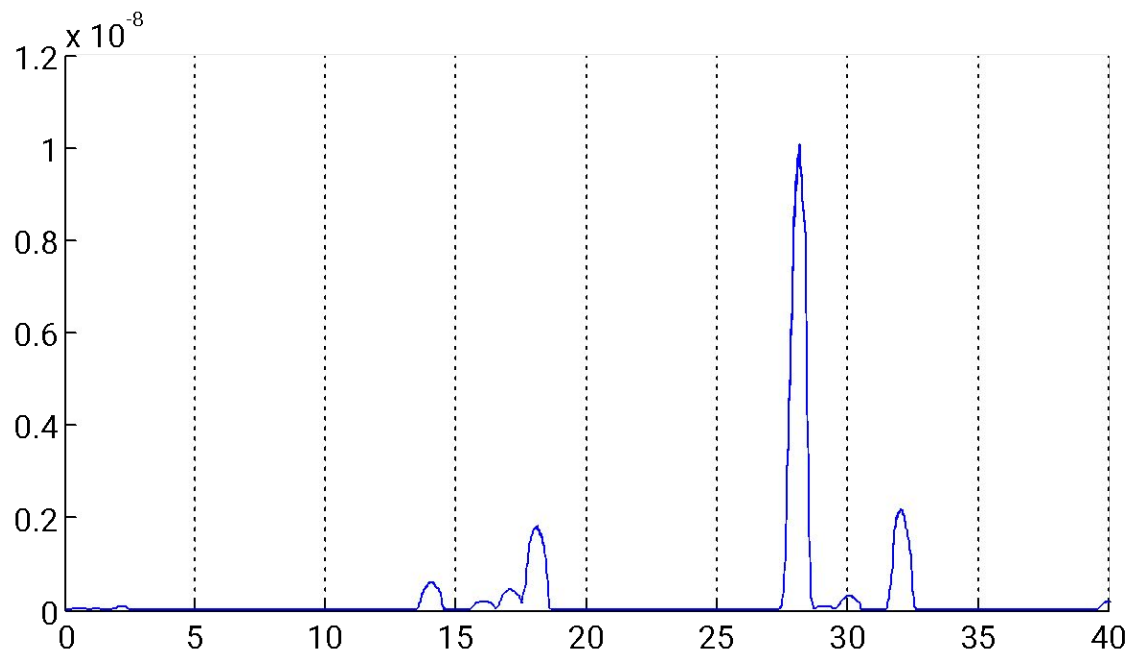
$$P_{[Па]} = 10^{(1.67 \cdot U_{[В]} - 9.33)}$$

Масс-спектрометр



Масс-спектрометр





Поиск течей

Методы течеискания

1. Компрессионный -нагнетание воздуха при $P > P_{\text{атм}}$
2. Люминесцентный
3. Искровой
4. Манометрический (контролирует проникновение по манометру при проникновении пробного вещества /спирт, бензин, вода, ацетон/) Для форвакуума
5. Галогенный
6. Масс-спектрометрический

ION SEPARATION IN MAGNETIC FIELD

