

Понятие вакуума. Вакуумная техника.

Семинар студентов и аспирантов ИФМ РАН
докладчик: А.Е. Пестов



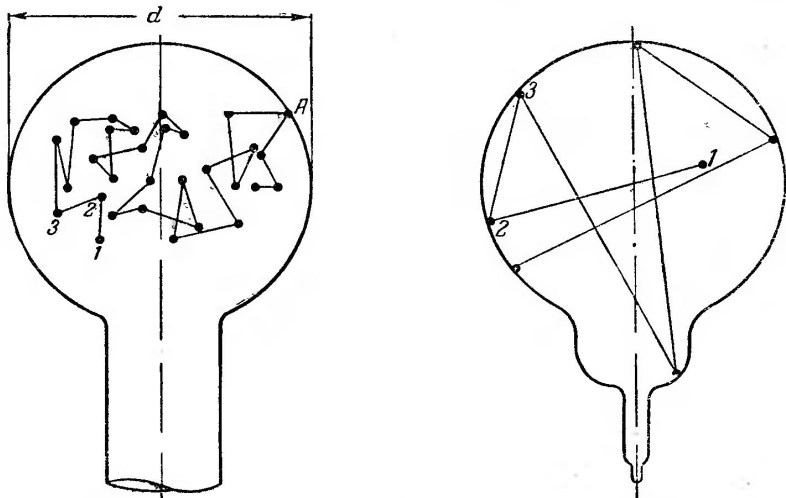
Понятие вакуума

Вакуум – газ под давлением ниже атмосферного

$$PV = \nu RT \text{ - уравнение Менделеева - Клайперона} \quad \Rightarrow \quad PV = nkT$$

1. $V/T = \text{const}$ - Гей-Люссака
2. $PV = \text{const}$ - Бойля-Мариотта
3. $P_{\text{сум}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$ - Дальтона

1. низкий вакуум: $760 > P > 1$ мм рт.ст. ($10^5 > P > 10^2$ Па)
2. средний : $1 > P > 10^{-3}$ мм рт.ст. ($10^2 > P > 10^{-1}$ Па)
3. высокий: $10^{-3} > P > 10^{-7}$ мм рт.ст. ($10^{-1} > P > 10^{-5}$ Па)
4. сверхвысокий: $P < 10^{-7}$ мм рт.ст. ($P < 10^{-5}$ Па)



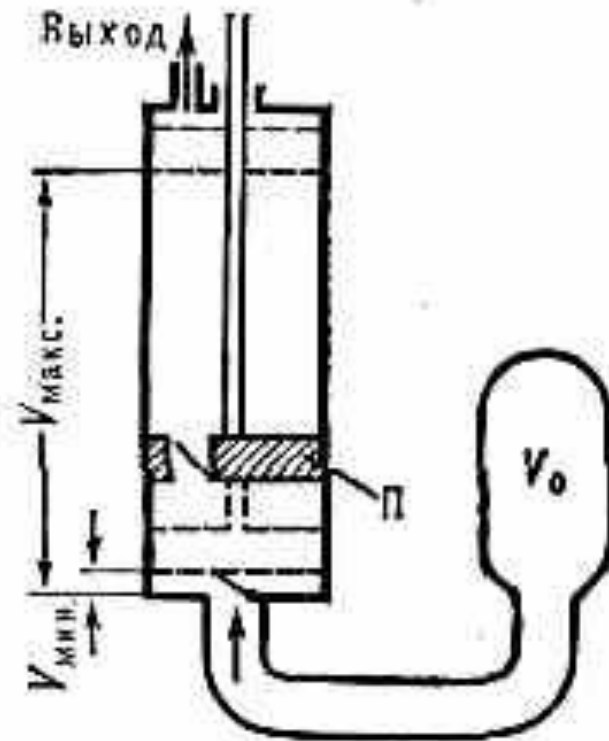
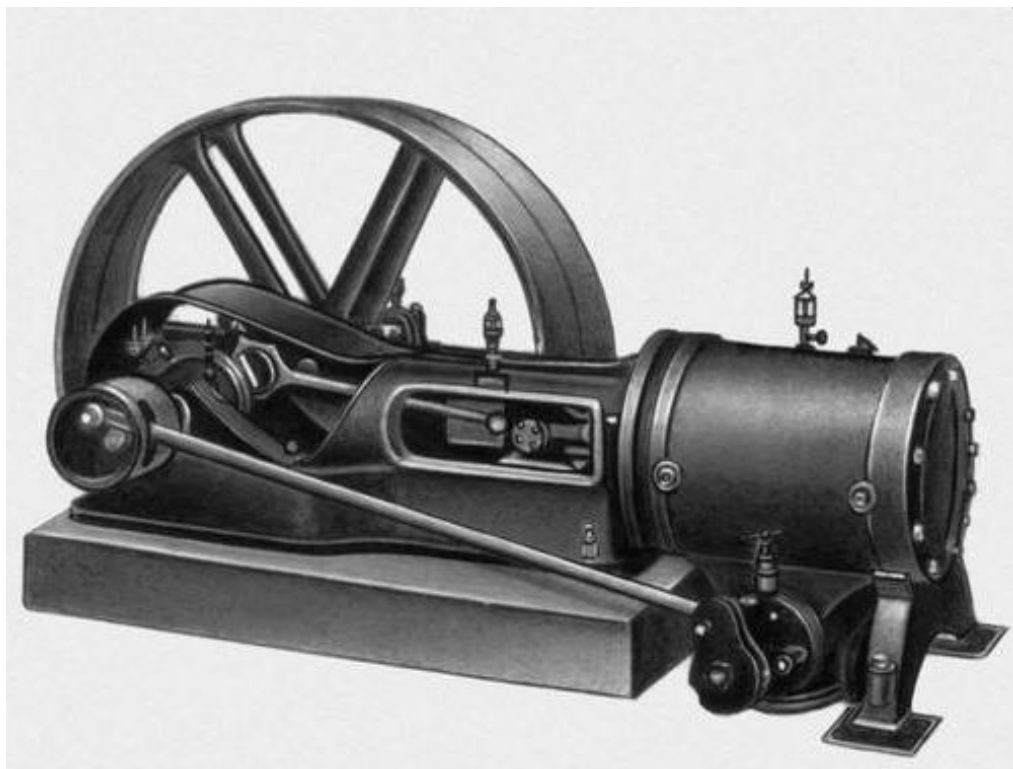
$$\lambda = 1 / \sigma n \quad \Rightarrow \quad \lambda \sim 1 / P$$

H, км	P, Па
50	10^2
100	10^{-1}
300	$3 \cdot 10^{-6}$
380000 (Луна)	10^{-9}
межпланетное пространство	10^{-16}

1873 г. – первая лампа накаливания
(первое применение вакуума)

Поршневой насос

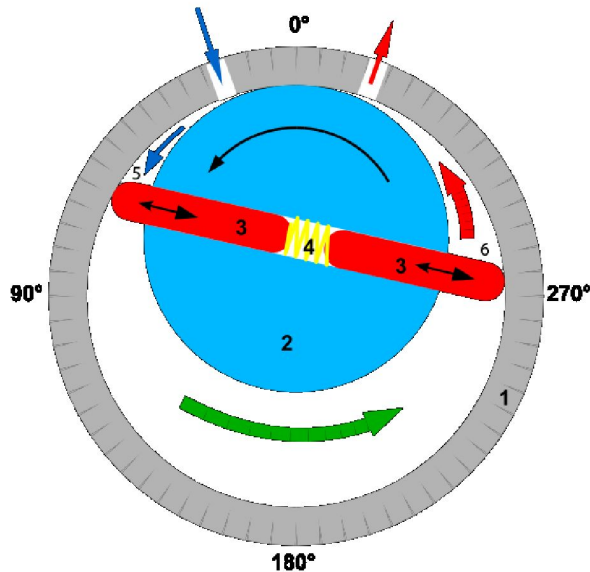
Объемная откачка



Отто фон Герике 1650 г. – первые эксперименты по изучению вакуума

Роторный форвакуумный насос

Объемная откачка



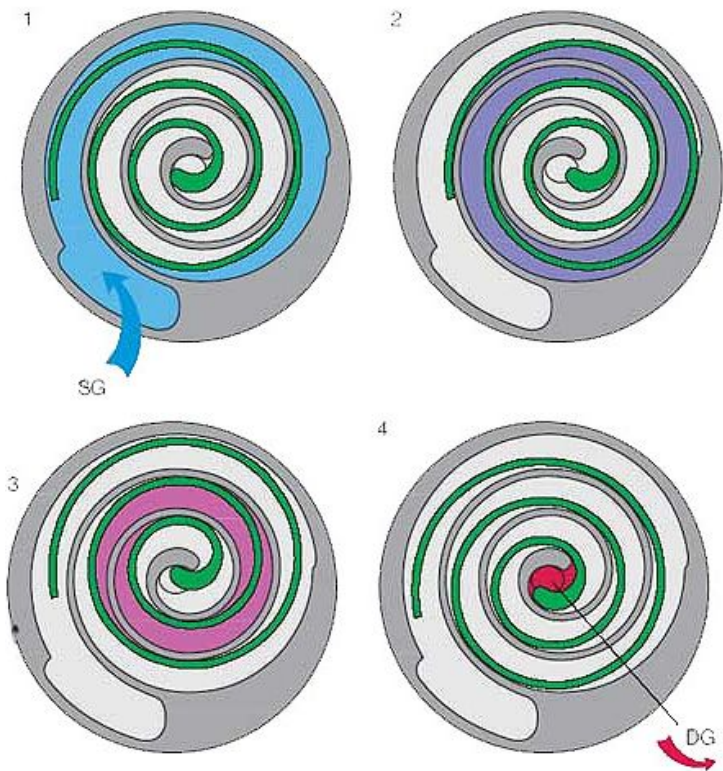
1 – рабочий объем; 2 – ротор-эксцентрик; 3 – подвижная пластина; 4 – пружина; 5 – впускной объем; 6 – выпускной объем.

Недостаток: масляная откачка

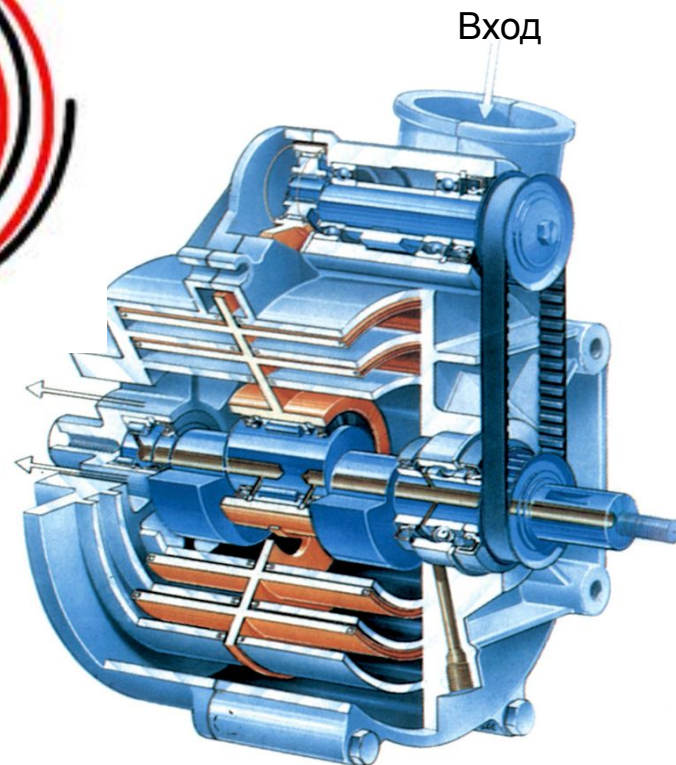
Предельное давление пластинчато-роторных насосов достигает 10^{-3} Па.

Спиральный форвакуумный насос

Объемная откачка



Выход

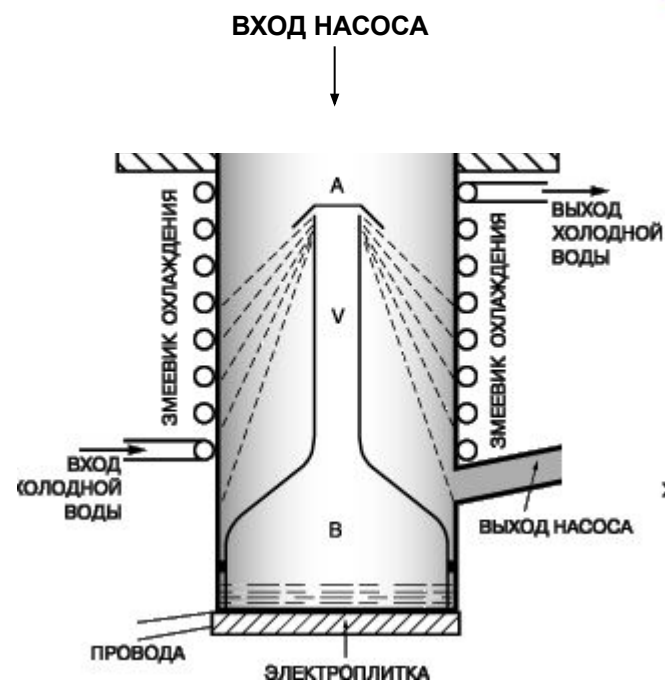
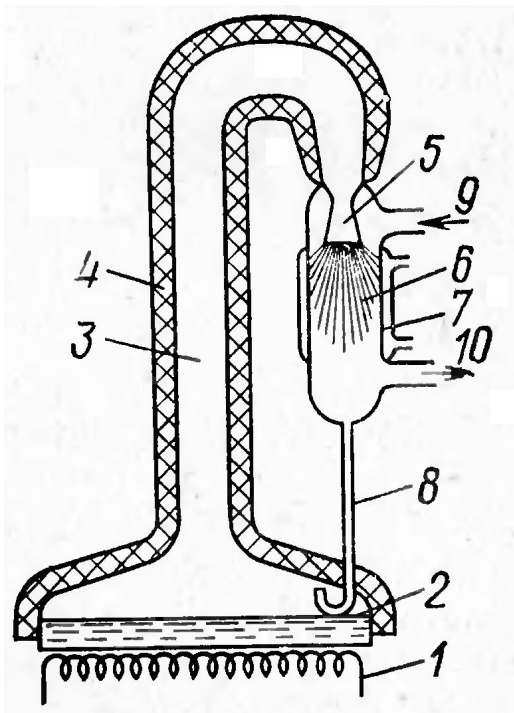


Предельное давление - 10^{-2} Па.

Безмасляная откачка

Диффузионный насос

Пароструйная откачка; наибольшее рабочее давление 10^{-1} Па

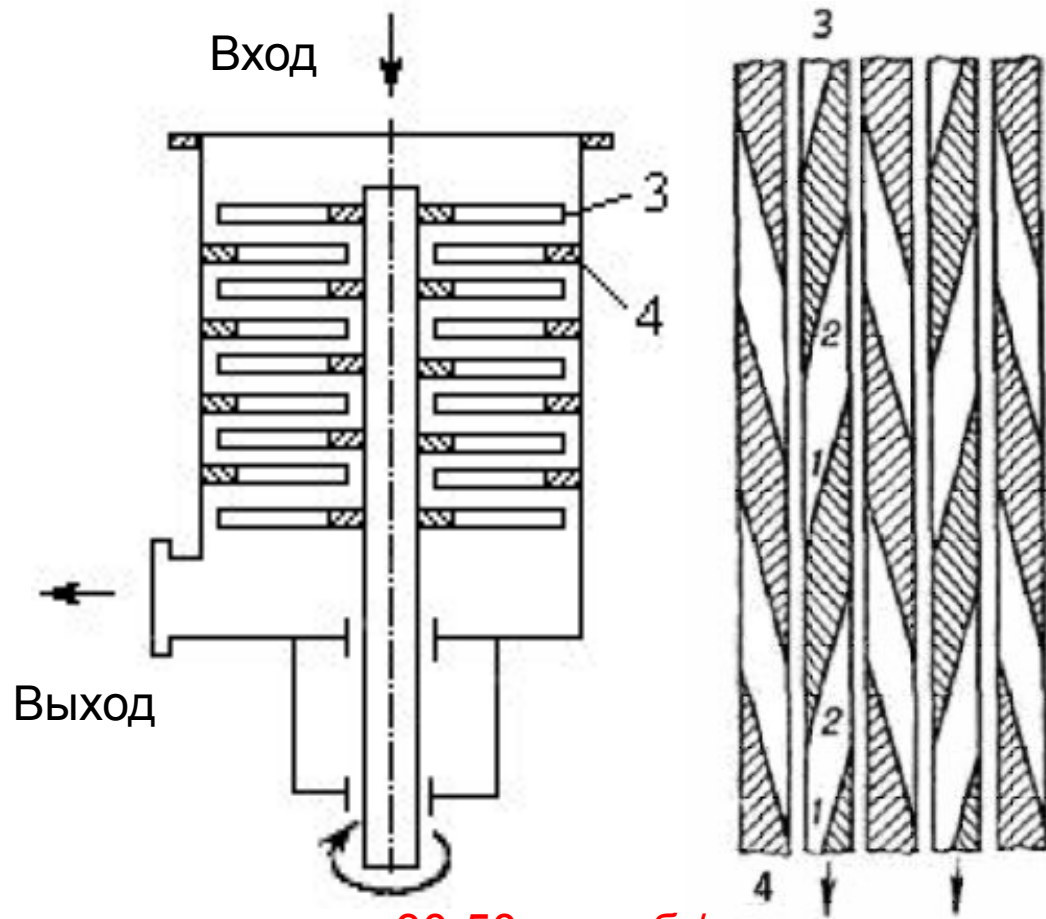


принцип действия

Предельное давление - 10^{-6} Па.

Турбомолекулярный насос

Молекулярная откачка; наибольшее рабочее давление 10^{-1} Па

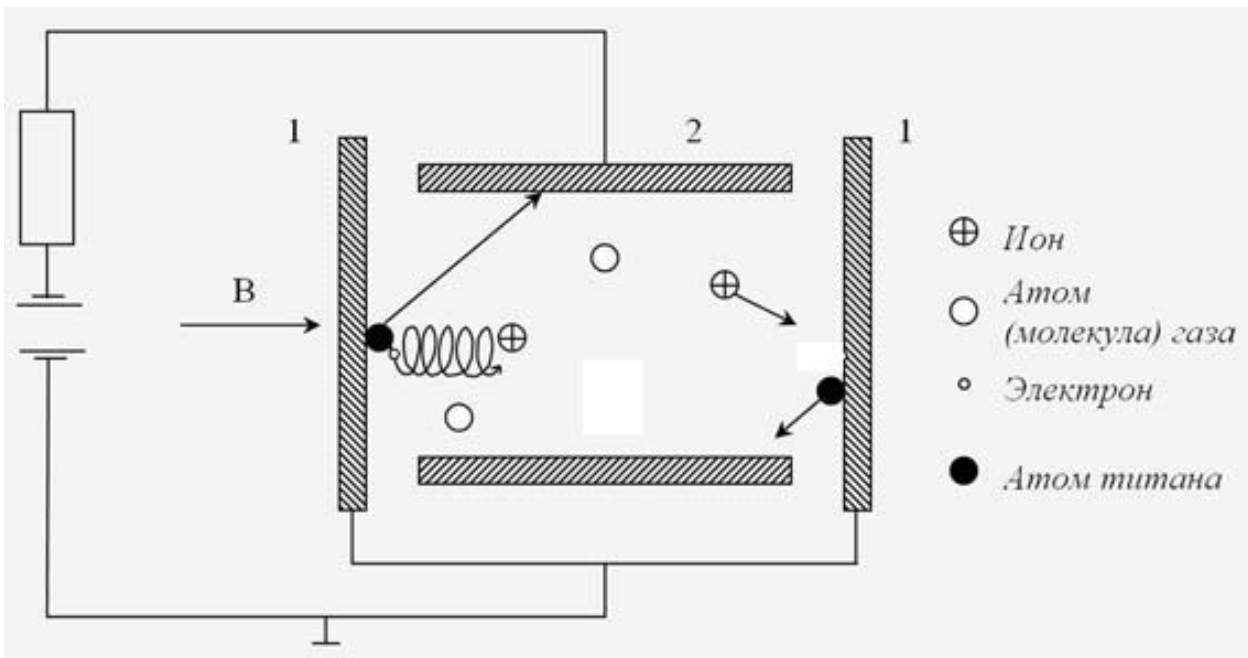


Частота вращения 30-50 тыс.об./мин

Предельное давление - 10^{-6} Па.

Геттеро-ионный насос

Сорбционная откачка; наибольшее рабочее давление 10^{-3} Па



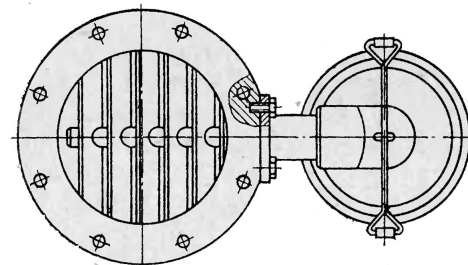
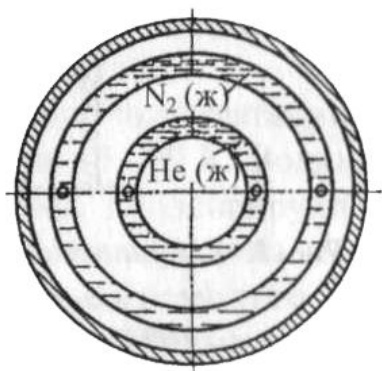
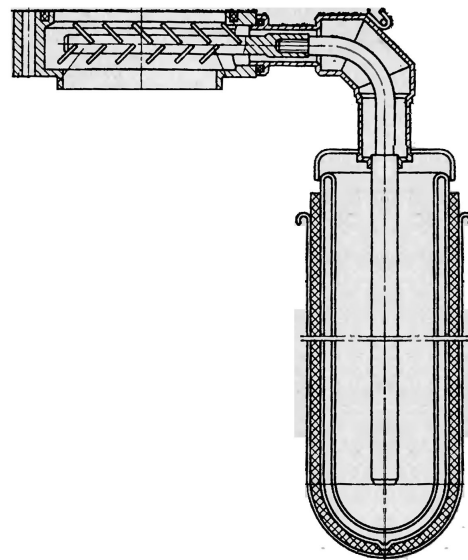
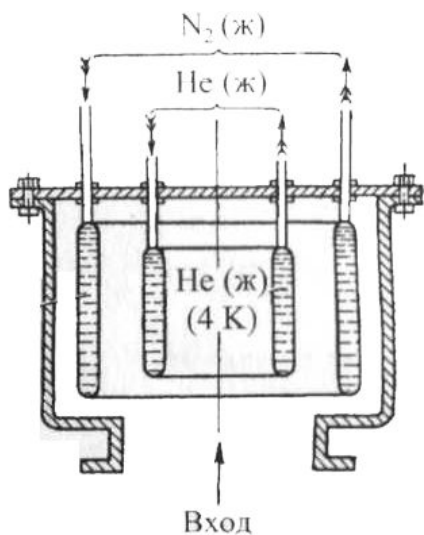
Вакуумный магниторазрядный насос НМД-1



Предельное остаточное давление $\sim 10^{-8}$ Па.

Криогенный насос

Предельное давление - 10^{-11} Па.

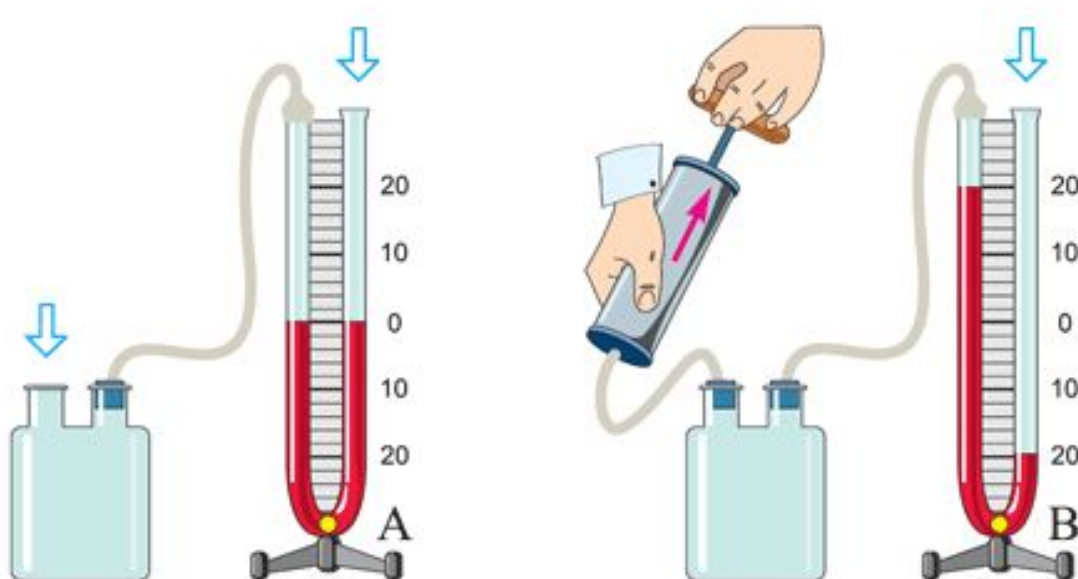


Азотная ловушка

Откачной пост



Измерители давления (вакуумметры)



Жидкостный U-образный манометр

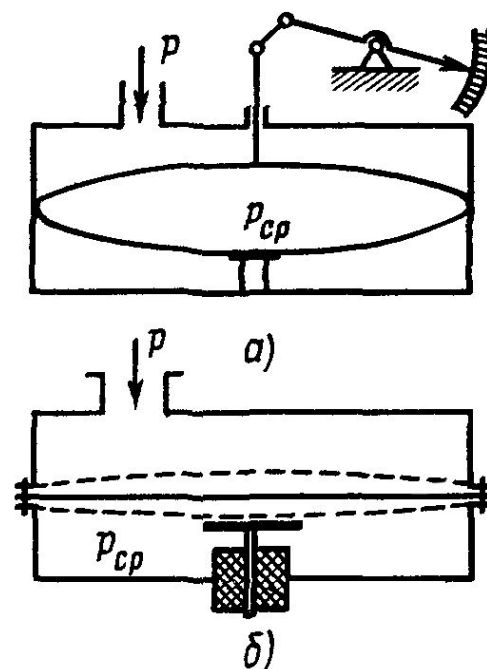
$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения;

Δh – изменение высоты

Диапазон измерений 10^3 - 10^5 Па



Деформационный (мембранный) манометр

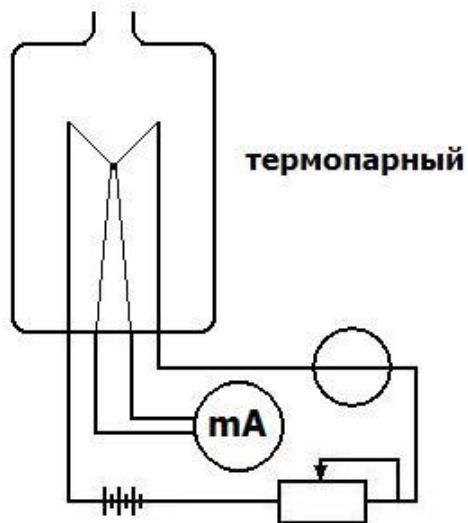
а) механический датчик

б) емкостной датчик

Диапазон измерений 10^1 - 10^5 Па

Измерители давления (вакуумметры)

Низкий вакуум (10^5 - 10^{-2} Па)



$$Q_{\text{эл}} = Q_{\text{и}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{т}}$$



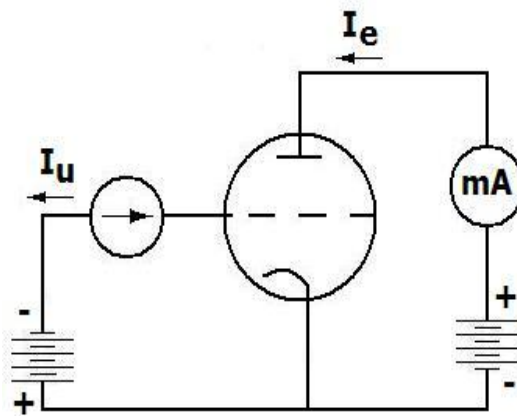
ПМТ-2

Термопарный вакуумметр

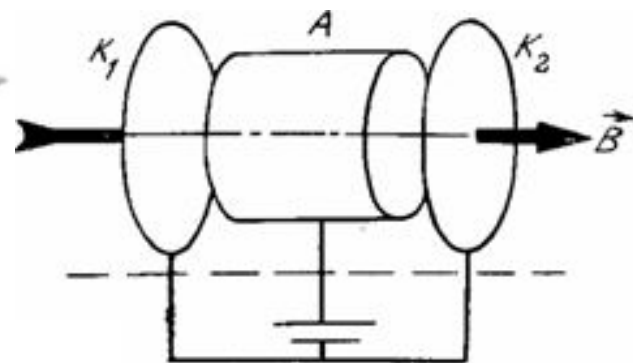
Высокий вакуум (1 - 10^{-11} Па)



ПМИ-2



Ионизационный
(электронный)
вакуумметр



ПММ-32



Ионизационный
(магнитный)
вакуумметр

Вакуумные материалы

Давление насыщенных паров материалов

Материал	Температура, °C	
	20	500
Вода	$2 \cdot 10^3$ Па	$3 \cdot 10^7$ Па
Ртуть	10^{-1} Па	10^6 Па
Индий	10^{-18} Па	10^{-6} Па
Алюминий	-	10^{-8} Па
Железо	-	10^{-9} Па
Медь	-	10^{-9} Па
Стекло	-	10^{-11} Па

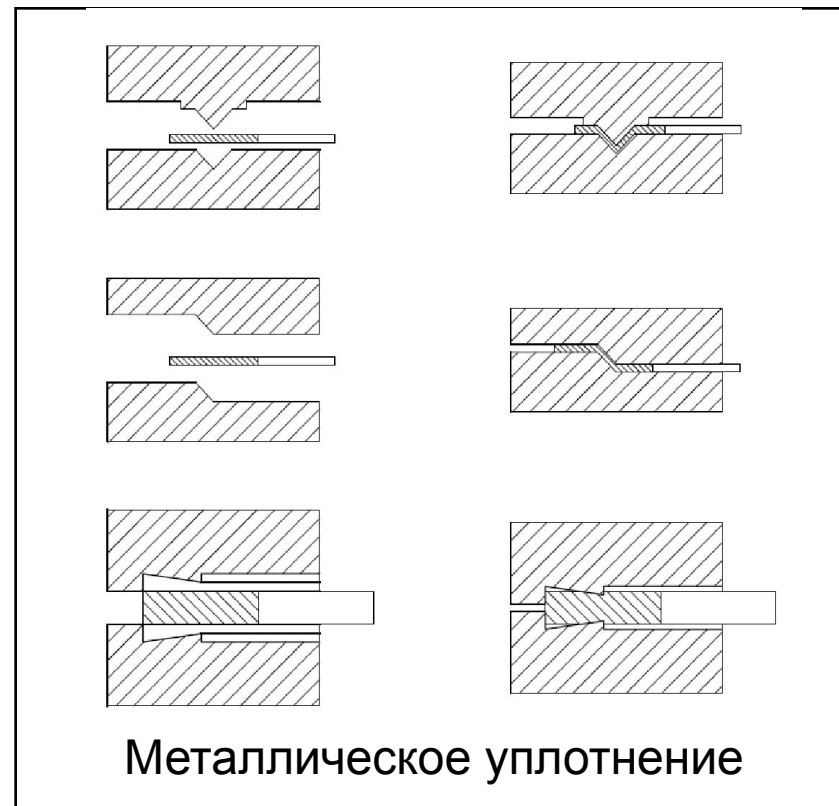
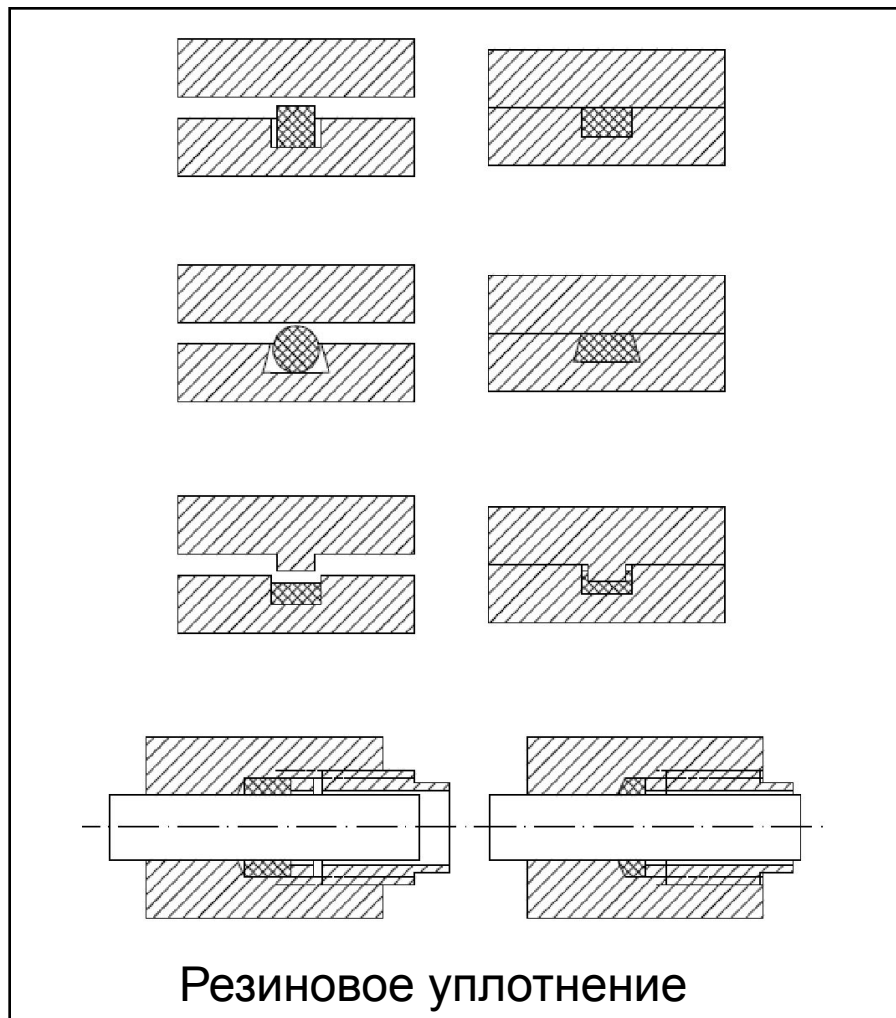
Материал	Проницаемость, см ³ /с	
	Температура, °C	
	20	400
Железо	10^{-19}	10^{-9}
Железо (He)	10^{-9}	10^{-6}
Резина	10^{-8}	-
Витон	10^{-9}	-
Фторопласт	10^{-9}	-
Полиэтилен	10^{-8}	-

Способы обработки	Скорость газовыделения, Па/с	
	время с начала откачки, ч	
	1	10
Без обработки	$4 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-6}$
Механическая полировка	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$
Химическая полировка	$2 \cdot 10^{-6}$	10^{-7}
Вакуумное обезгаживание	10^{-9}	-

↑
Газопроницаемость вакуумных материалов (толщина стенки 1 мм, перепад давлений 1 Па, для азота (N₂)) при различных температурах

← Газовыделение нержавеющей стали

Разъемные соединения



Скорость газовыделения, Па/с	
резина 7889	$- 5 \cdot 10^{-5}$
резина ИРП-2043	$- 3 \cdot 10^{-5}$
нерж.сталь (обезгаженная)	$- 10^{-9}$



Спасибо за внимание!



Высота, км	Влияние на человека
5	Кислородное голодание
15	Дыхание не возможно
~20	Кипение межтканевой жидкости

$$\rho = -D \left(\frac{dn}{dx} \right)$$

$$E = -\lambda \frac{dT}{dx} S$$