

# Понятие вакуума. Вакуумная техника.

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



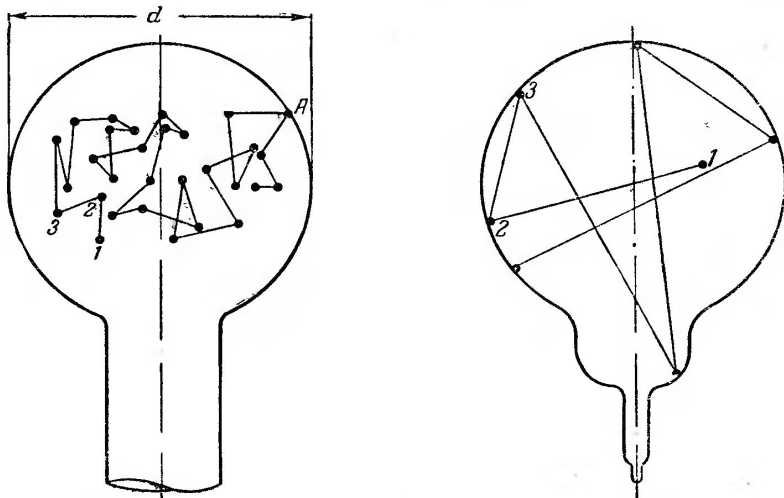
# Понятие вакуума

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)



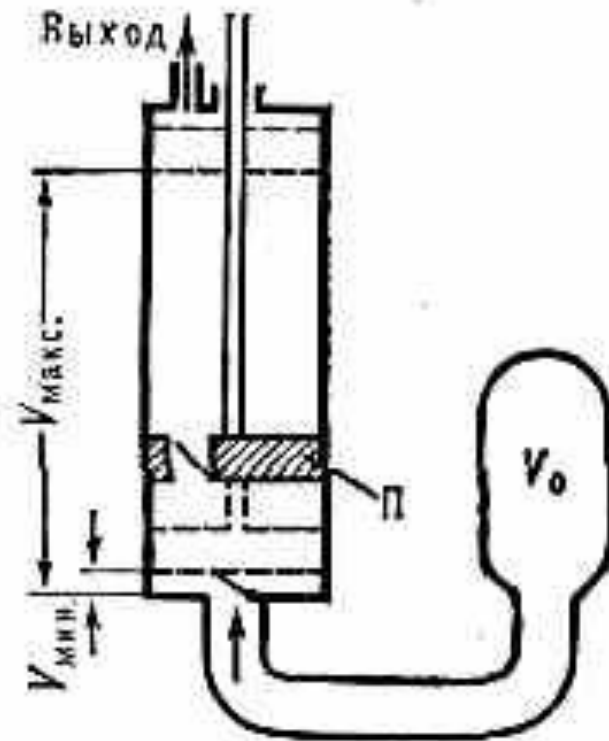
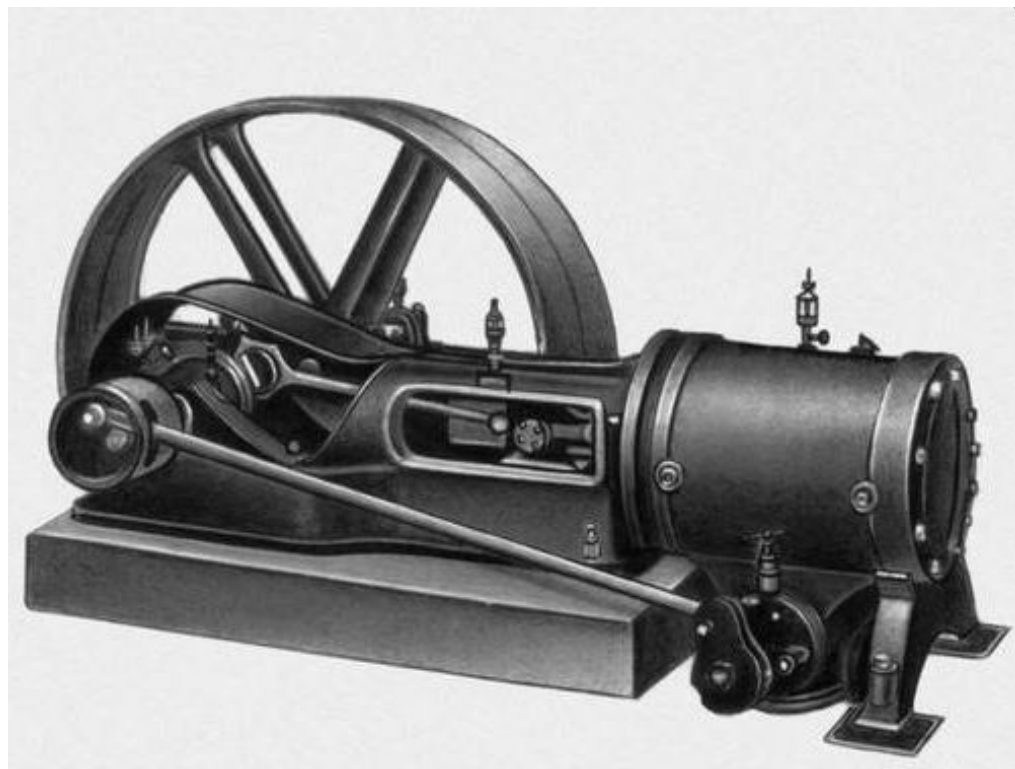
$$\lambda = 1 / \sigma n \quad \Rightarrow \quad \lambda \sim 1 / P$$

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

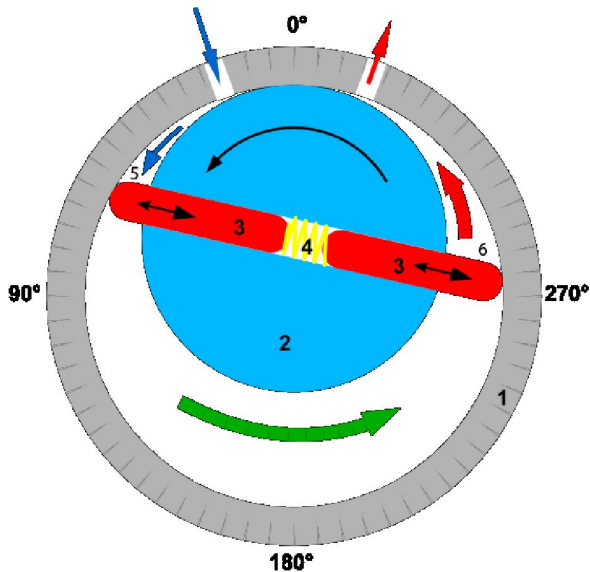
Объемная откачка



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

# Роторный форвакуумный насос

## Объемная откачка



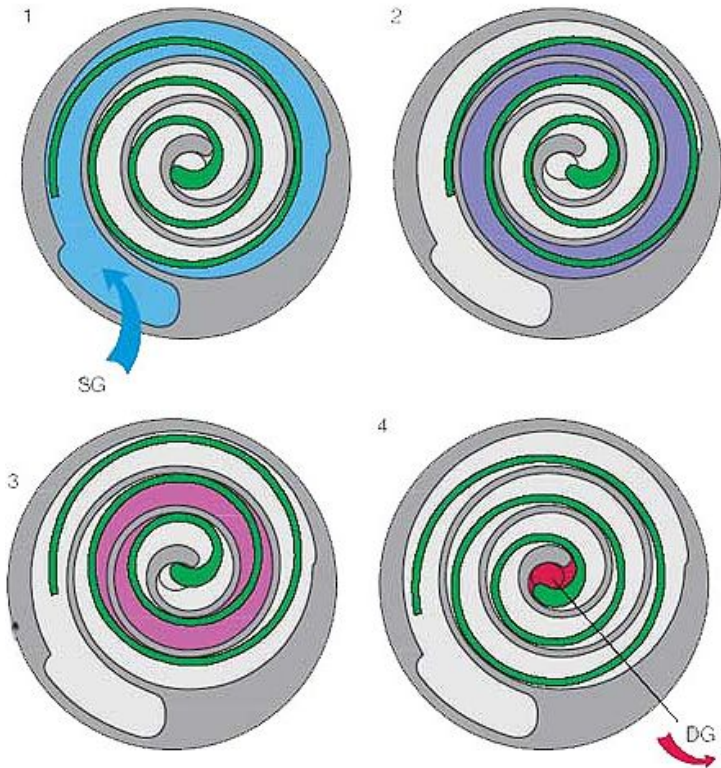
1 – рабочий объем; 2 – ротор-эксцентрик; 3 – подвижная пластина; 4 – пружина; 5 – впускной объем; 6 – выпускной объем.

Недостаток: масляная откачка

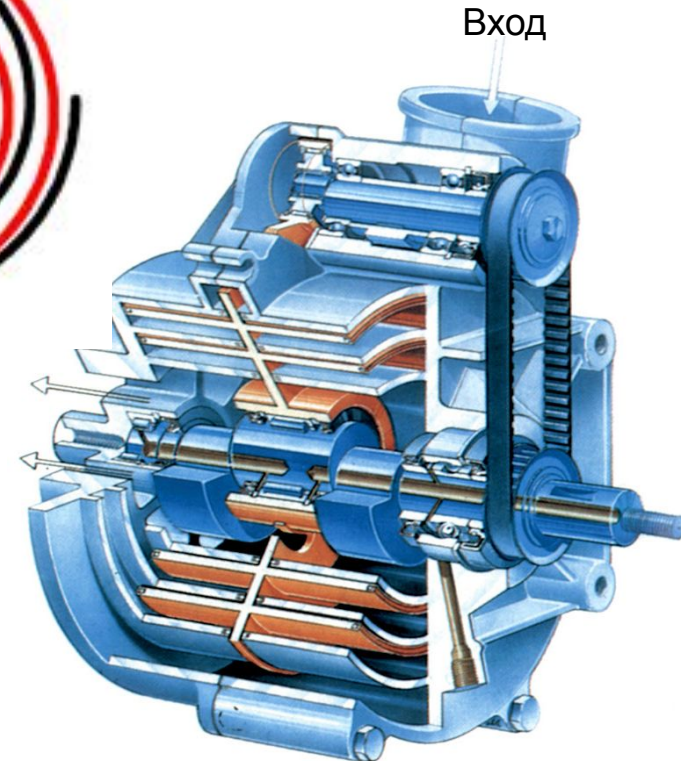
Предельное давление пластинчато-роторных насосов достигает  $10^{-3}$  Па.

# Спиральный форвакуумный насос

Объемная откачка



Выход

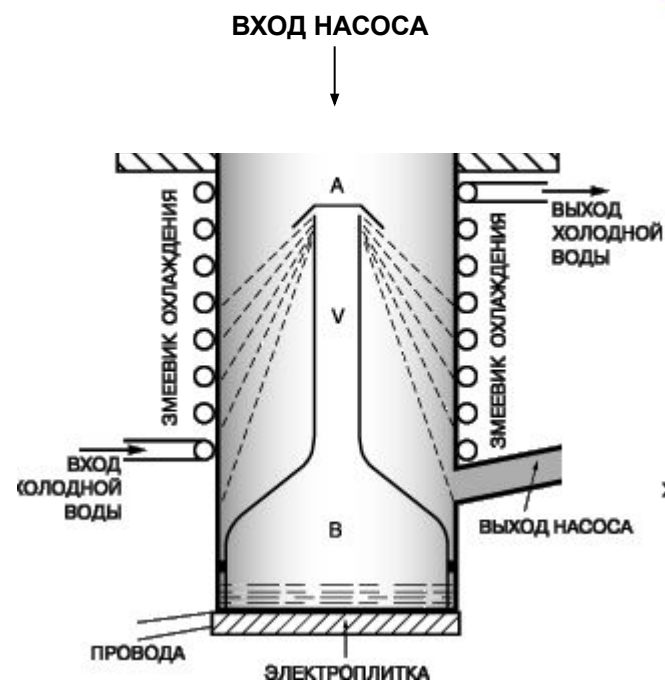
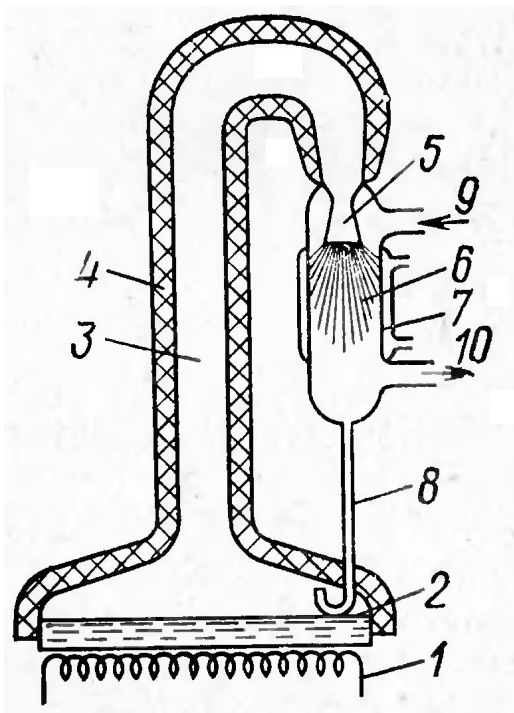


Предельное давление -  $10^{-2}$  Па.

Безмасляная откачка

# Диффузионный насос

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

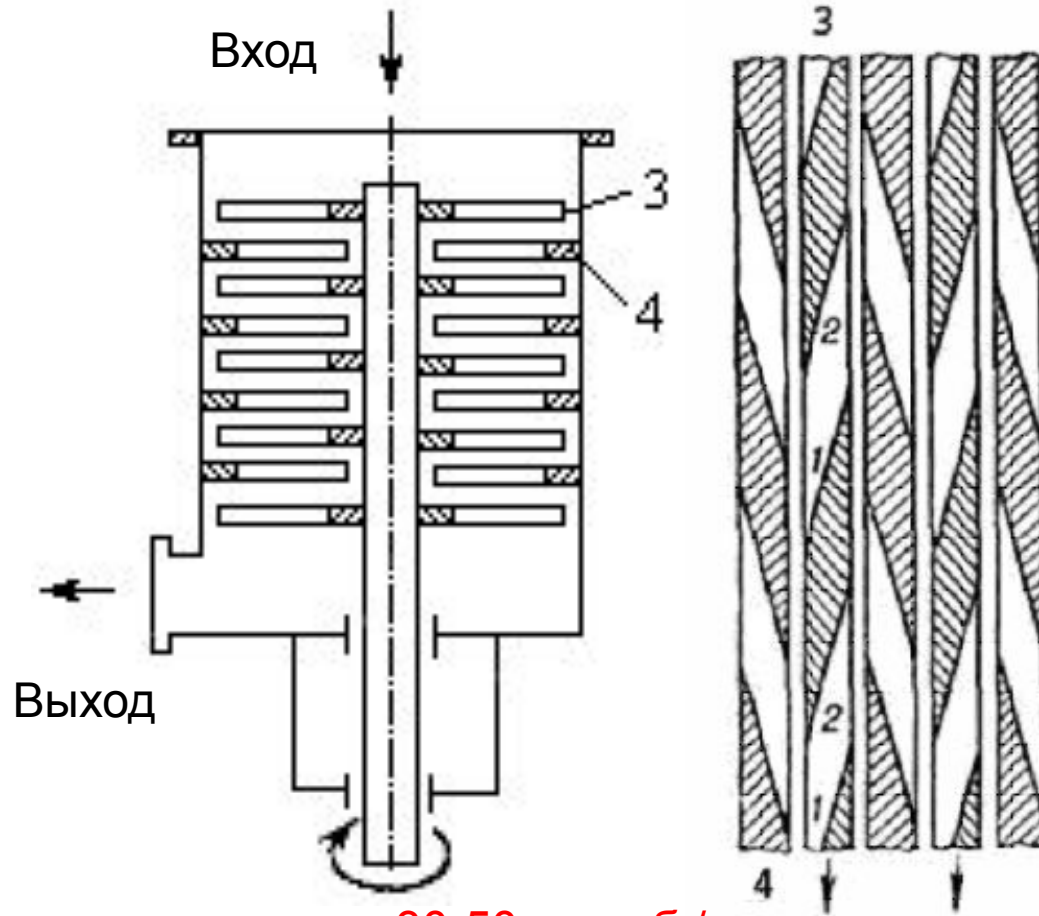


принцип действия

Предельное давление -  $10^{-6}$  Па.

# Турбомолекулярный насос

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

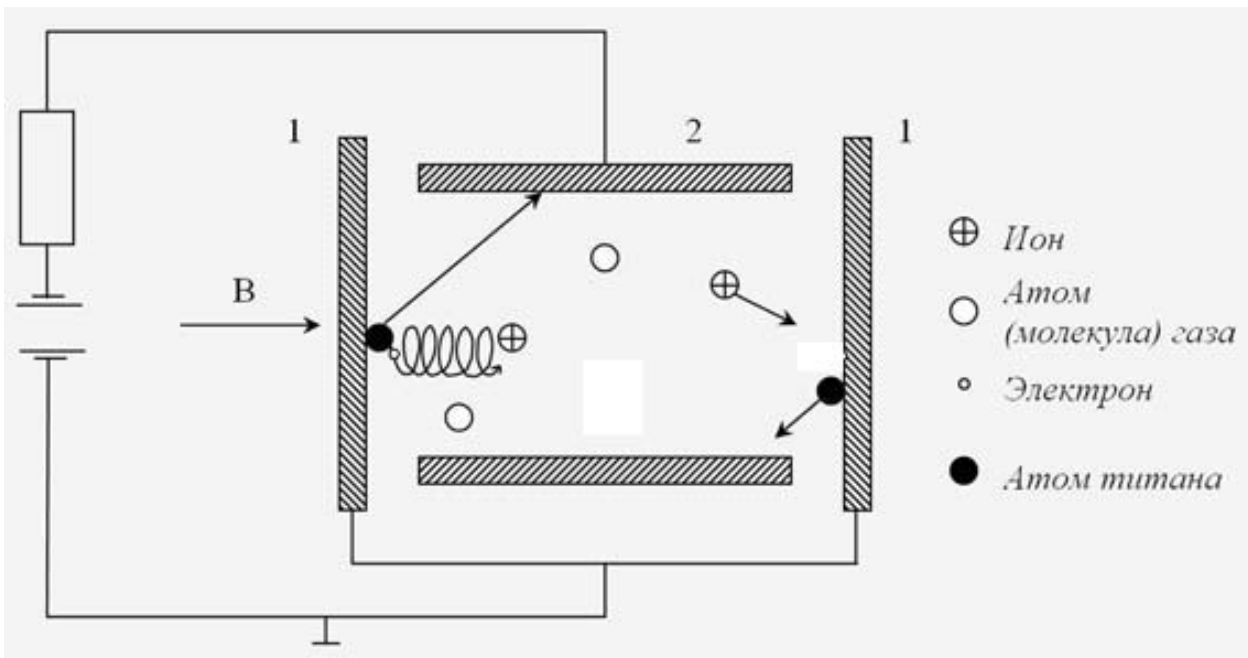


Частота вращения 30-50 тыс.об./мин

Предельное давление -  $10^{-6}$  Па.

# Геттеро-ионный насос

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



Вакуумный магниторазрядный насос НМД-1

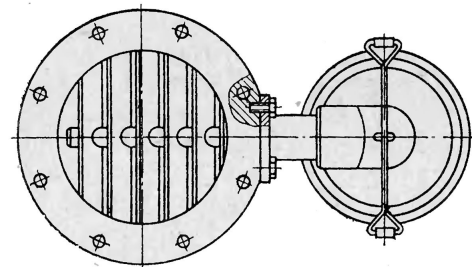
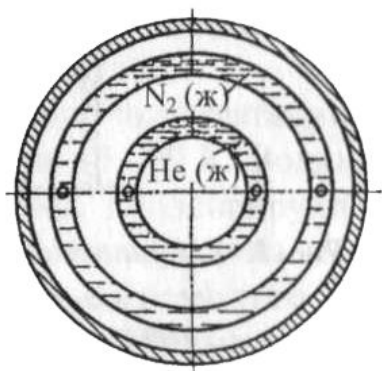
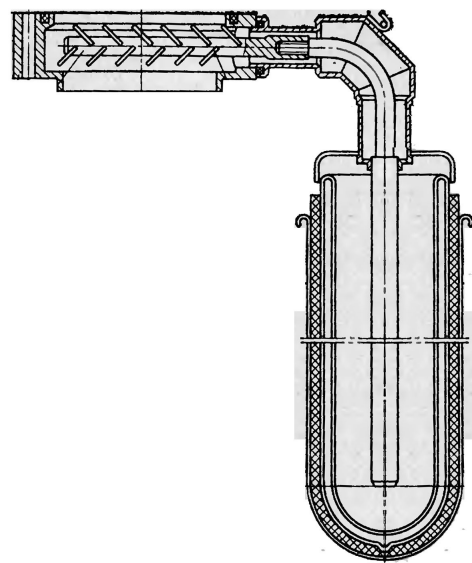
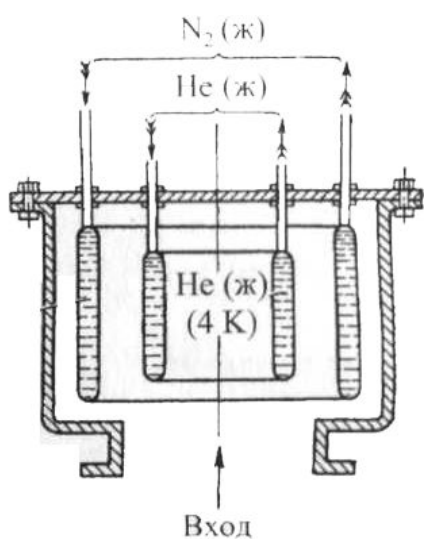


Предельное остаточное давление  $\sim 10^{-8}$  Па.



# Криогенный насос

Предельное давление -  $10^{-11}$  Па.

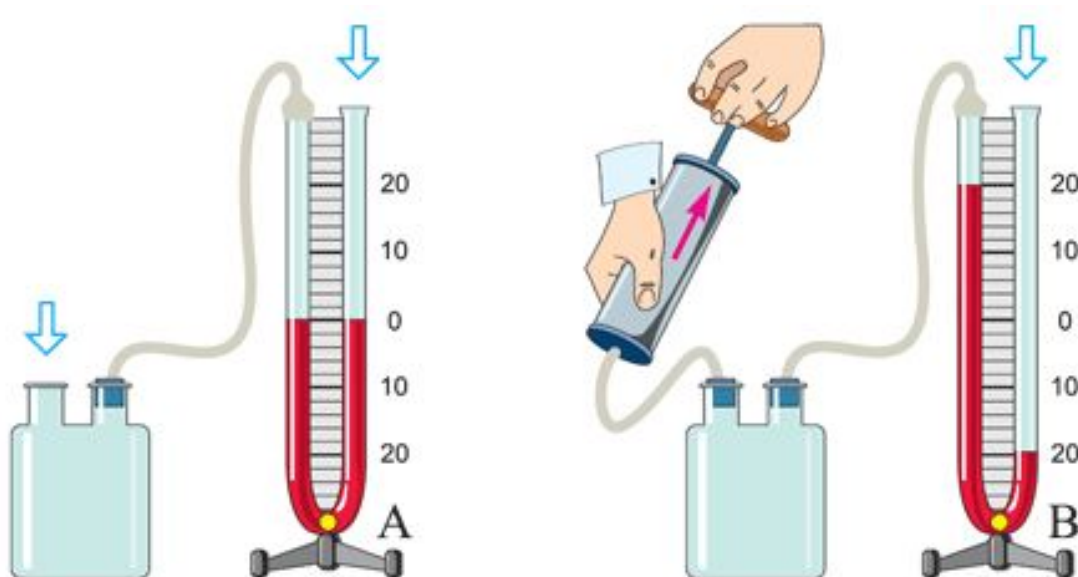


Азотная ловушка

# Откачной пост



# Измерители давления (вакуумметры)



Жидкостный U-образный манометр

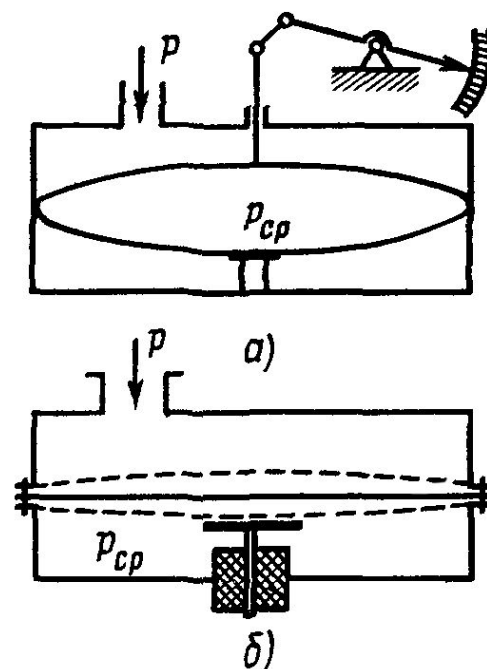
$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

$\rho$  – плотность жидкости;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\Delta h$  – изменение высоты

Диапазон измерений  $10^3$ - $10^5$  Па



Деформационный (мембранный) манометр

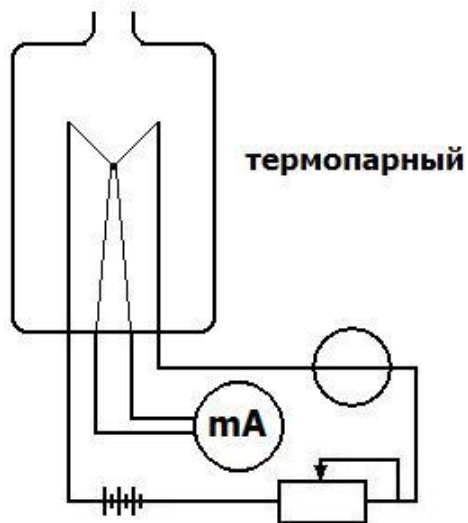
а) механический датчик

б) емкостной датчик

Диапазон измерений  $10^1$ - $10^5$  Па

# Измерители давления (вакуумметры)

Низкий вакуум ( $10^5$ - $10^{-2}$  Па)



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



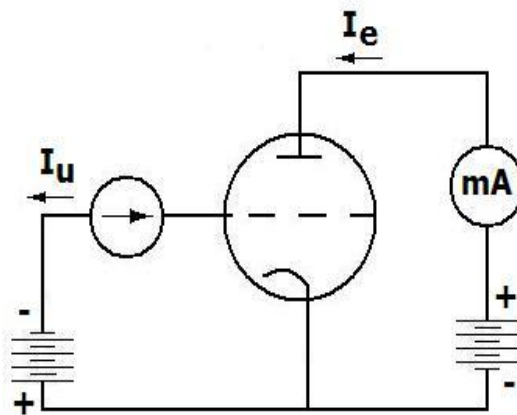
ПМТ-2

Термопарный вакуумметр

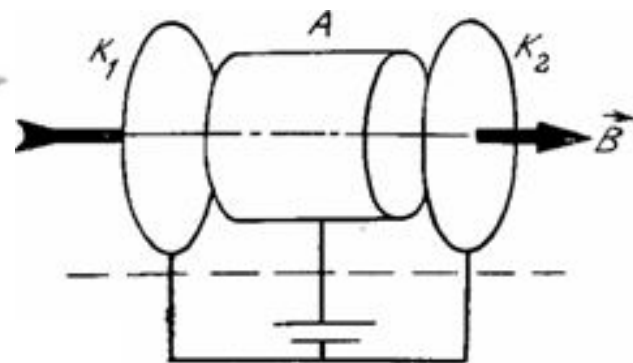
Высокий вакуум ( $1$ - $10^{-11}$  Па)



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

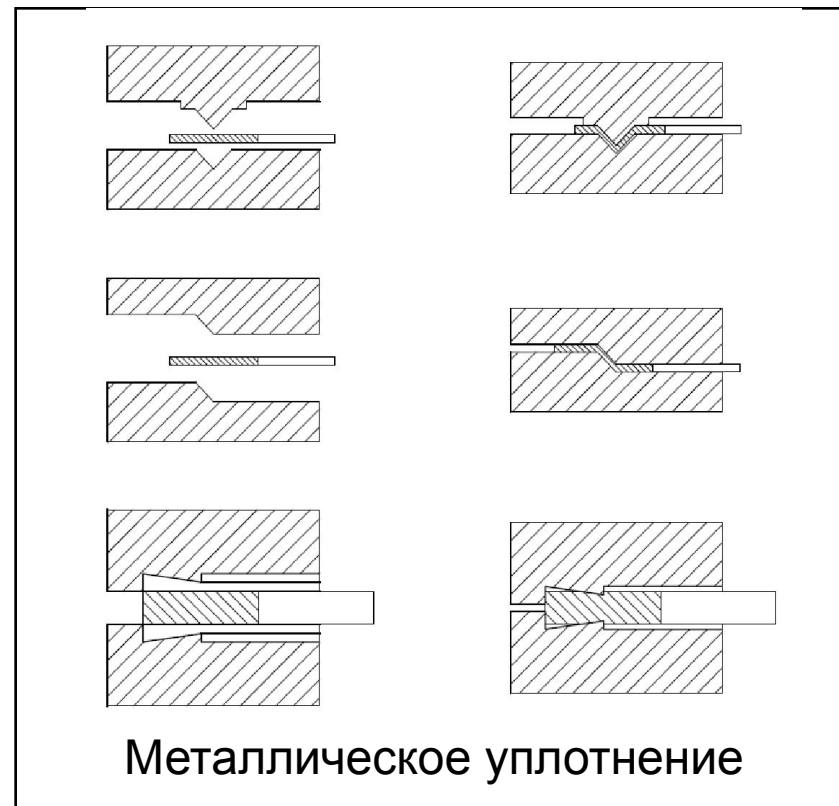
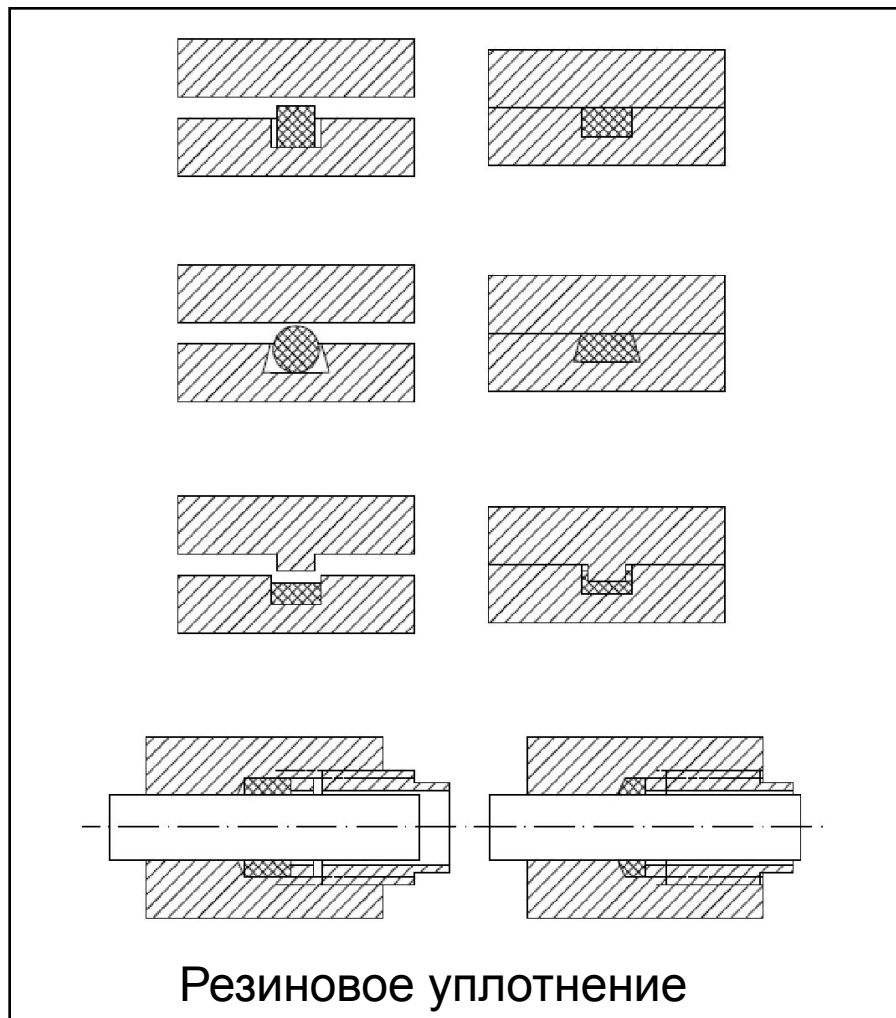
Материал	Проницаемость, см <sup>3</sup> /с	
	Температура, °C	
	20	400
Железо	$10^{-19}$	$10^{-9}$
Железо (He)	$10^{-9}$	$10^{-6}$
Резина	$10^{-8}$	-
Витон	$10^{-9}$	-
Фторопласт	$10^{-9}$	-
Полиэтилен	$10^{-8}$	-

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 (N<sub>2</sub>)) 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

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

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