

# **Лекция № 8**

**Исследование  
равновесия «газ-  
твердое» статическим  
методом**

# Градация вакуума

Вакуум подразделяется на диапазоны в соответствии с технологией, необходимой для его достижения или измерения. Эти диапазоны не имеют общепризнанных определений, но типичное распределение выглядит следующим образом:

	Давление ( <u>мм.рт.ст.</u> )	Давление ( <u>Па</u> )
<u>Атмосферное давление</u>	760	$1,013 \times 10^5$
Низкий вакуум	от 760 до 25	от $1 \times 10^5$ до $1 \times 10^1$
Средний вакуум	от 25 до $1 \times 10^{-3}$	от $1 \times 10^1$ до $1 \times 10^{-3}$
Высокий вакуум	от $1 \times 10^{-3}$ до $1 \times 10^{-9}$	от $1 \times 10^{-3}$ до $1 \times 10^{-6}$
Сверхвысокий вакуум	от $1 \times 10^{-9}$ до $1 \times 10^{-12}$	от $1 \times 10^{-6}$ до $1 \times 10^{-10}$
Экстремальный вакуум	$< 1 \times 10^{-12}$	$< 1 \times 10^{-10}$
<u>Космическое пространство</u>	от $1 \times 10^{-6}$ до $< 3 \times 10^{-17}$	от $1 \times 10^{-4}$ до $< 3 \times 10^{-15}$
Абсолютный вакуум	0	0

# Типы вакуумных насосов

Соотношения между единицами измерения давления: 1 торр = 133,322 Па 1 атм = 760 торр, 1 торр = 13,5951 мм вод. ст., 1 мм вод. ст. = 9,807 Па =  $7,678 \cdot 10^{-2}$  торр.

Тип насоса	Форвакуумное давление, торр	Рабочая область, торр	Остаточное давление, торр	Производительность, л/с
Водоструйный	-	12-760	5-10	0,07-0,2
Ротационный	-	0,1-760	0,01	0,5-5,0
Масляный диффузионный	0,01-1,0	$10^{-7} - 10^{-2}$	$10^{-8} - 10^{-4}$	2-10
Ртутный диффузионный	0,5-20	$10^{-6} - 0.1$	$10^{-7}$	2-20
Ионный гетерогенный	$10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-4}$	$10^{-10}$	-

# Водоструйные насосы

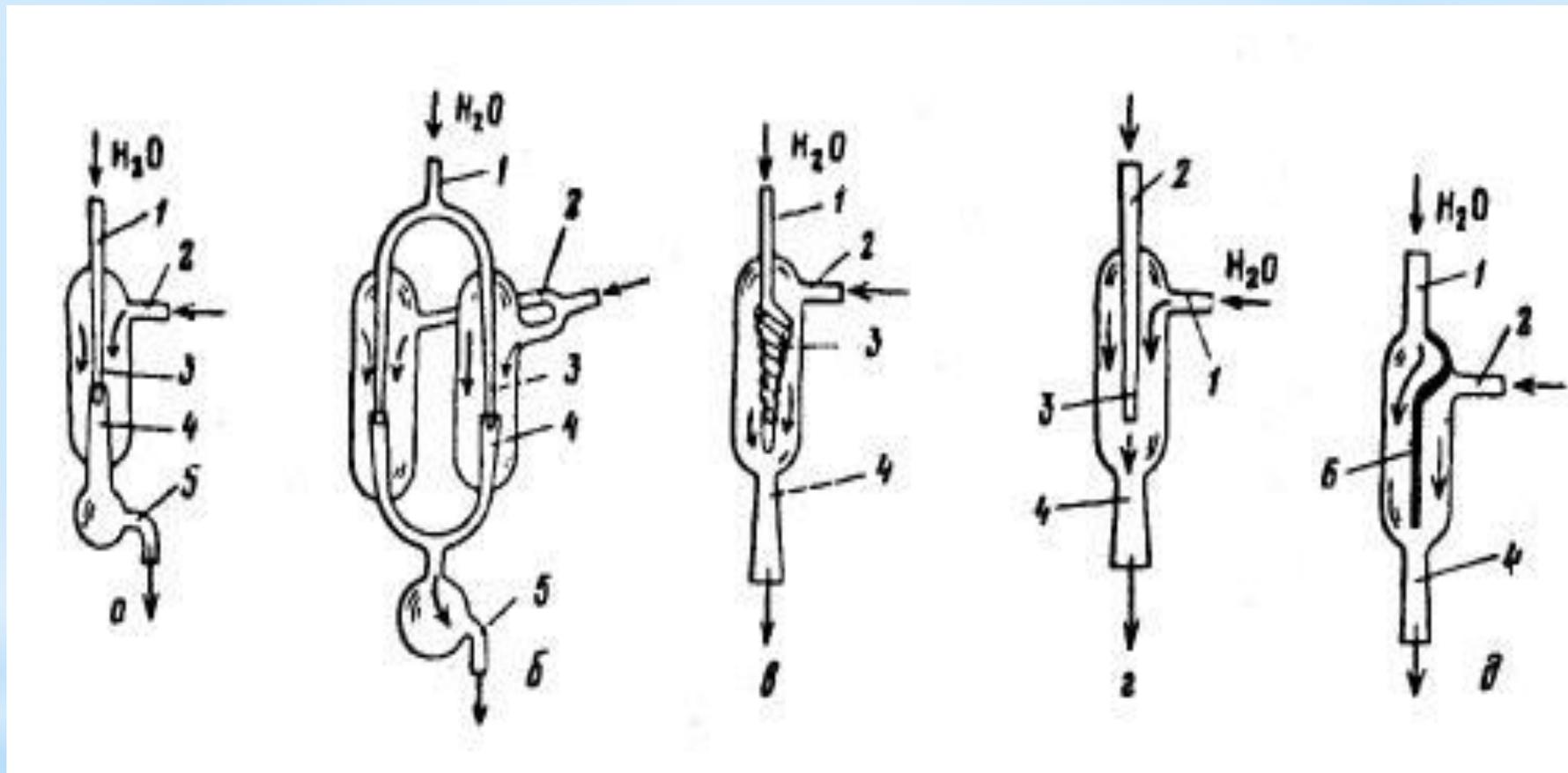


Рис.1. Водоструйные насосы: обычный (а), двойной (б), с винтообразным соплом (в), с боковой струей воды (г), с перегородкой (д)

# Водоструйные насосы

Металлические

Стеклянные

Пластмассовые



# Ротационные поршневые насосы

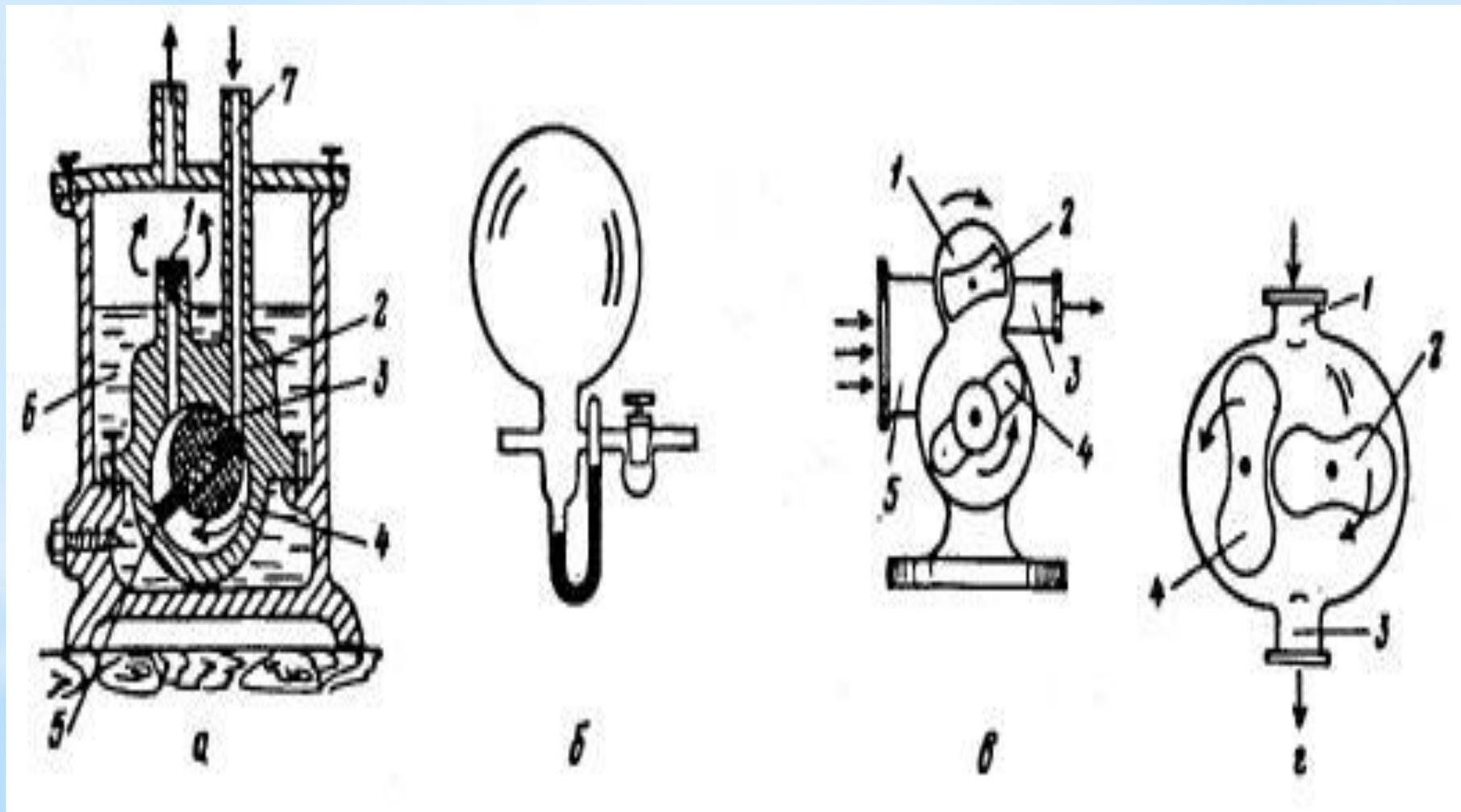
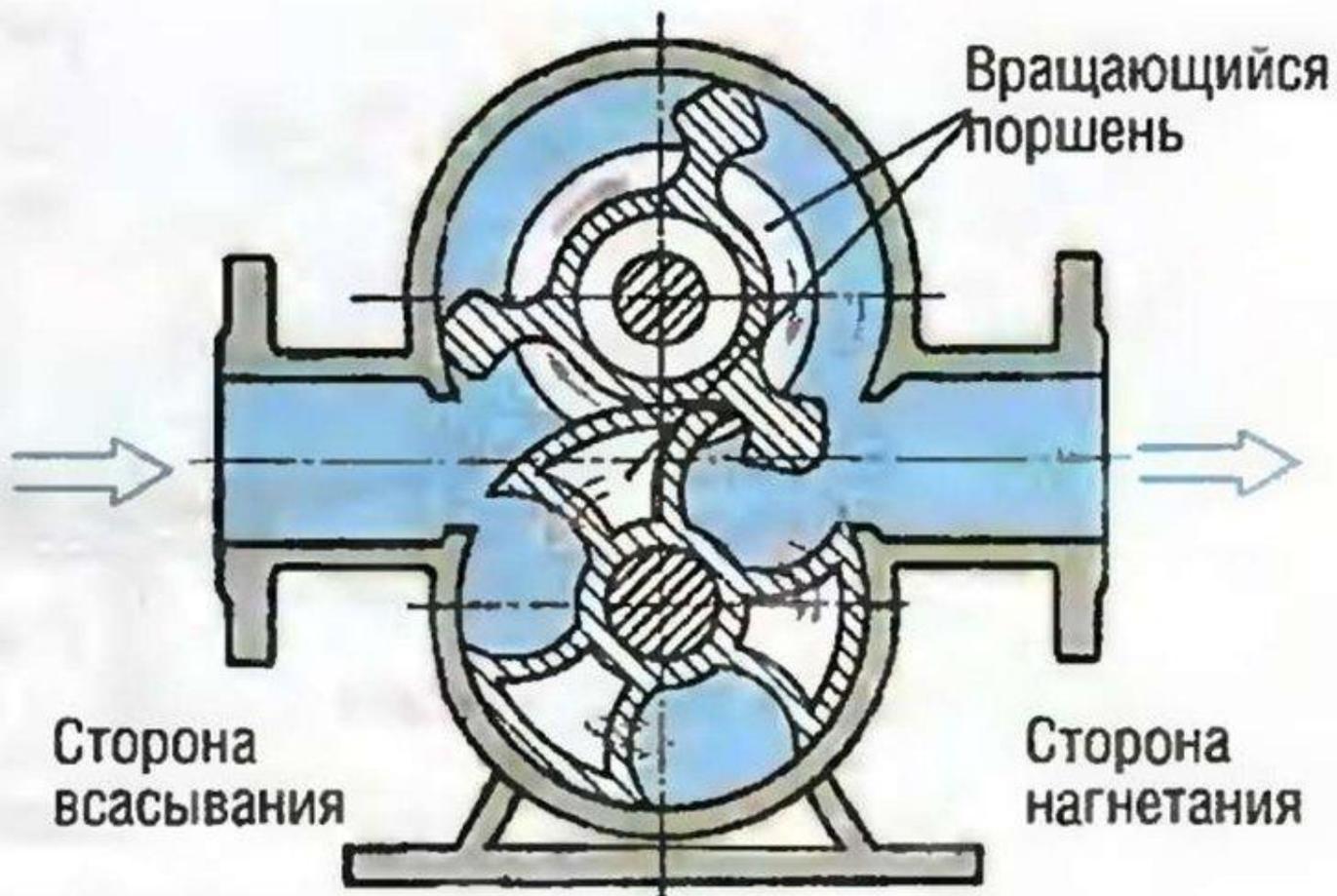
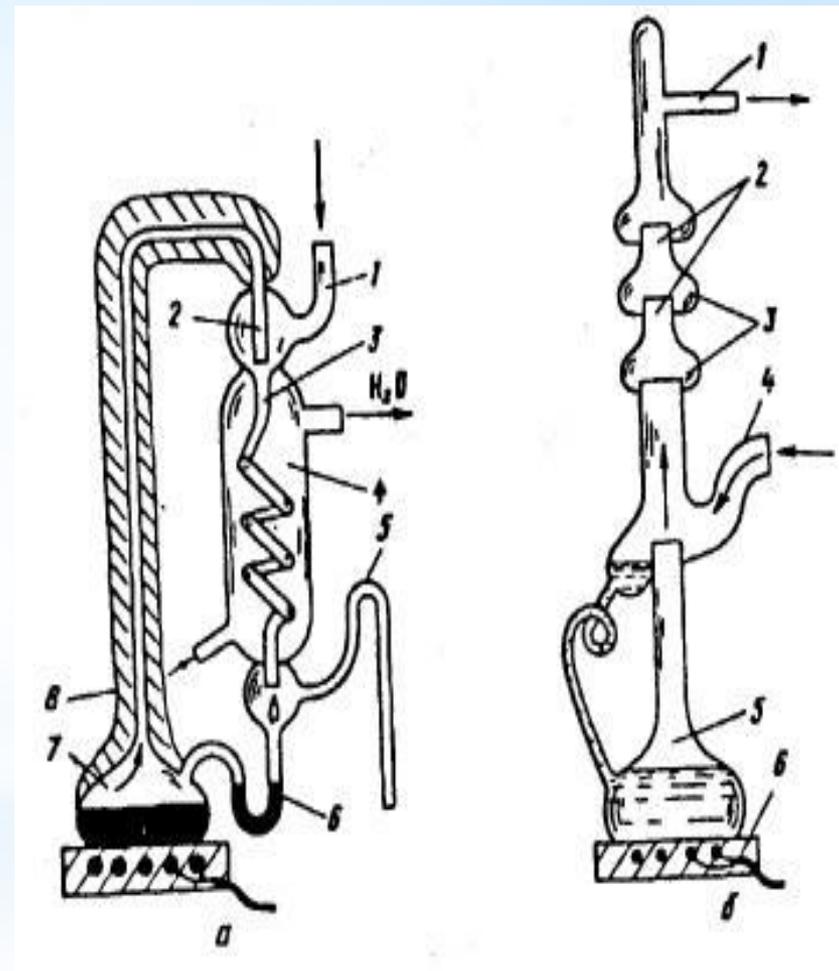
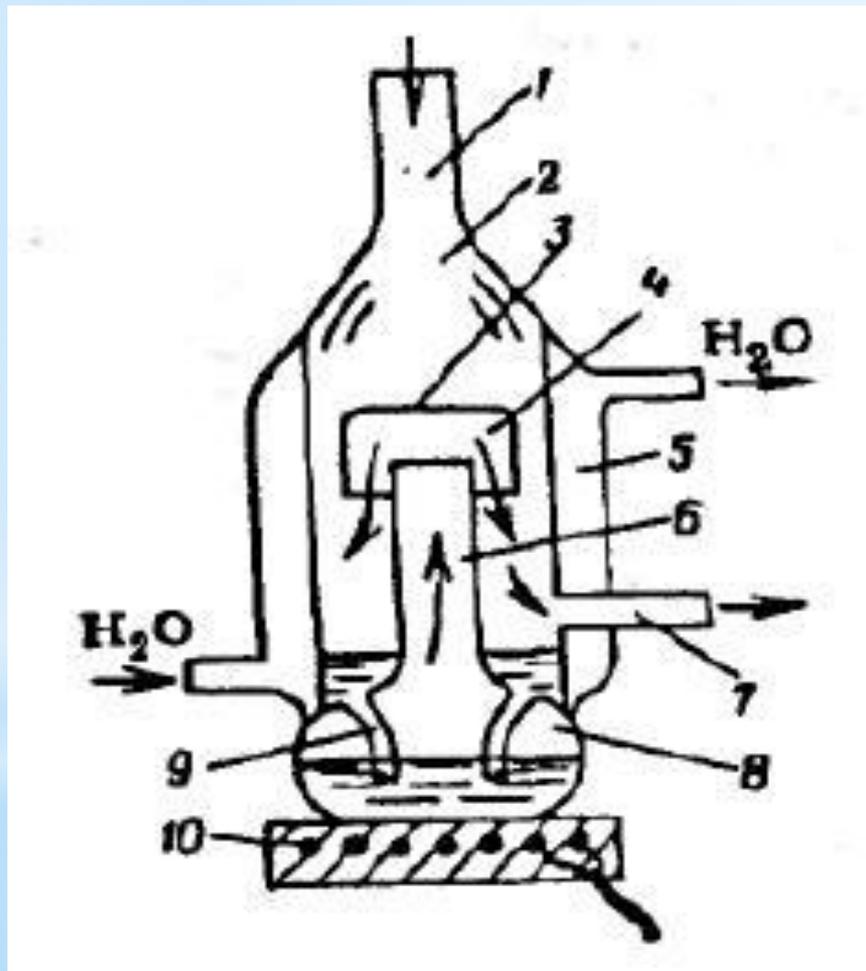


Рис.2. Однороторный (а) и двухроторный (б) насосы и насос Рутса (г), Форбаллон (д)

## Схема ротационно-поршневого насоса



# Диффузионные насосы



Удаление газа из вакуумной системы с помощью высокоскоростной струи называется *пароструйной откачкой*.

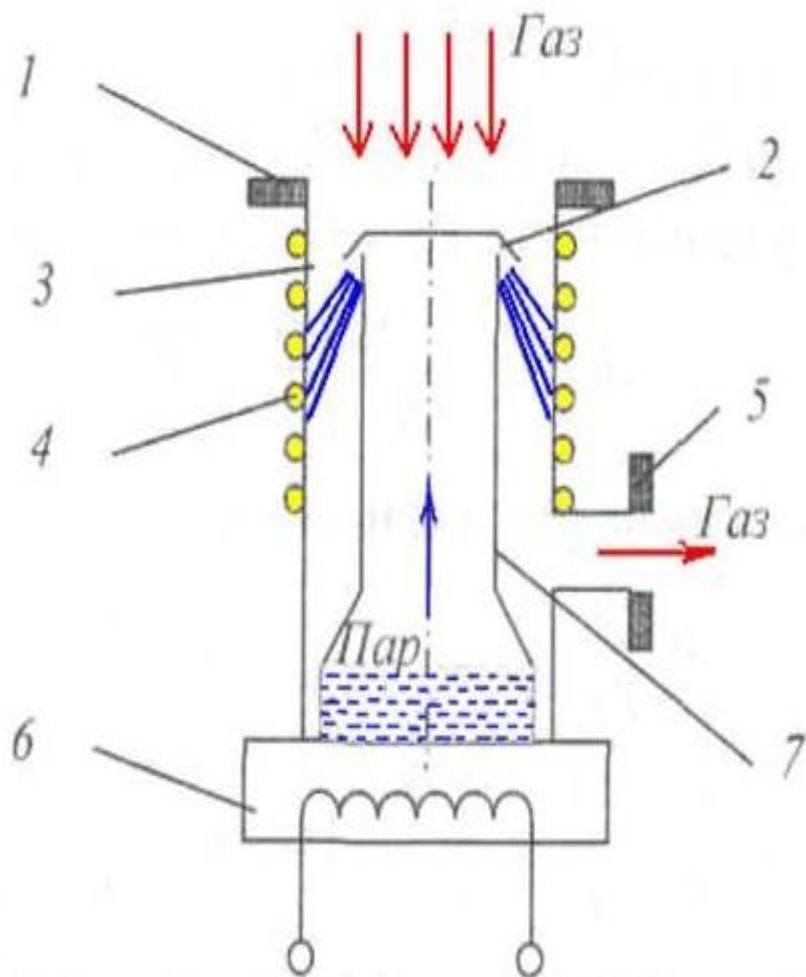


Схема диффузионного насоса:

- 1 — входное отверстие;
- 2 — сопло;
- 3 — рабочая камера насоса;
- 4 — охлаждение;
- 5 — выходной патрубок;
- 6 — нагреватель;
- 7 — паропровод



# Рабочие жидкости, рекомендуемые для диффузионных насосов

N	Торговая марка	Плотность при 20 °С, г/см	Температура кипения, °С (торр)	Давление пара при 25 °С, торр	Остаточное давление пара, торр
1	Амойл	1,02	225 (40)	$1 * 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-4}$
2	Амойл S	0,925	-	$1 * 10^{-6}$	$2 * 10^{-6}$
3	Апиезон	0,870	-	$1 * 10^{-5}$	$3 * 10^{-5}$
4	Арохлор 1254	1,550	-	$1 * 10^{-5}$	$3 * 10^{-5}$
5	Бутилфталат	1,045	340	$4 * 10^{-5}$	$4 * 10^{-5} - 10^{-4}$
6	Диффелен ультра	0,878	-	$1 * 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-8}$
7	Конвалекс 10	1,200	-	$2 * 10^{-9}$	$10^{-9}$
8	Конвойл 20	0,860	-	$8 * 10^{-6}$	$10^{-5}$
9	Октойль	0,986	231 (5)	$4 * 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-6}$
10	Октойль S	0,912	248 (4)	$6 * 10^{-8}$	$5 * 10^{-8} - 6 * 10^{-6}$
11	Силиконовые масла	1.07-1.09	160-250	$10^{-7}$	$5 * 10^{-8} - 1 * 10^{-7}$
12	Трикрезилфосфат	1,115	191(0,11)	$1 * 10^{-7}$	$10^{-7} - 4 * 10^{-5}$

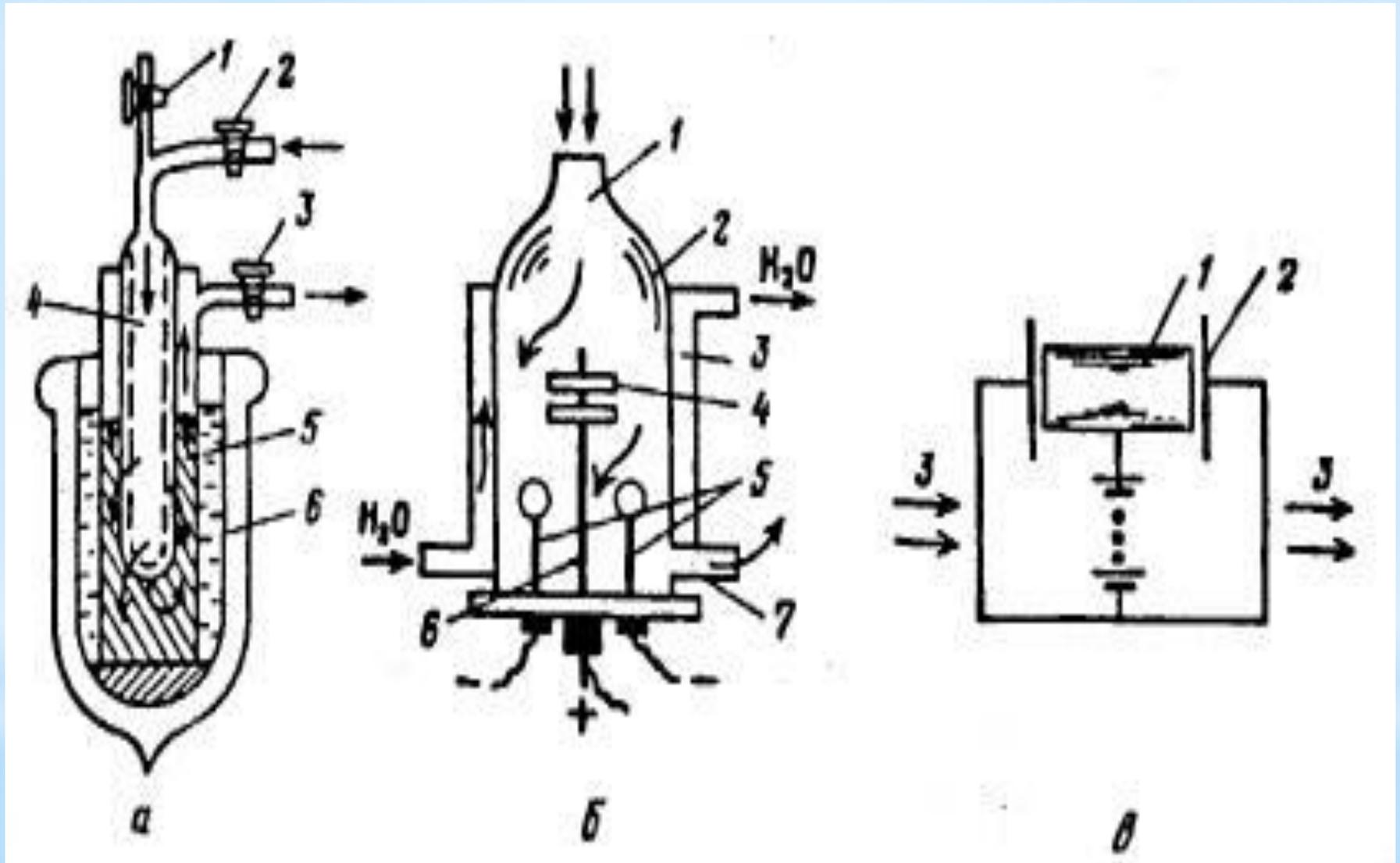


Рис.3.Вакуумные насосы: адсорбционный (а) и ионно-геттерный (б, в)

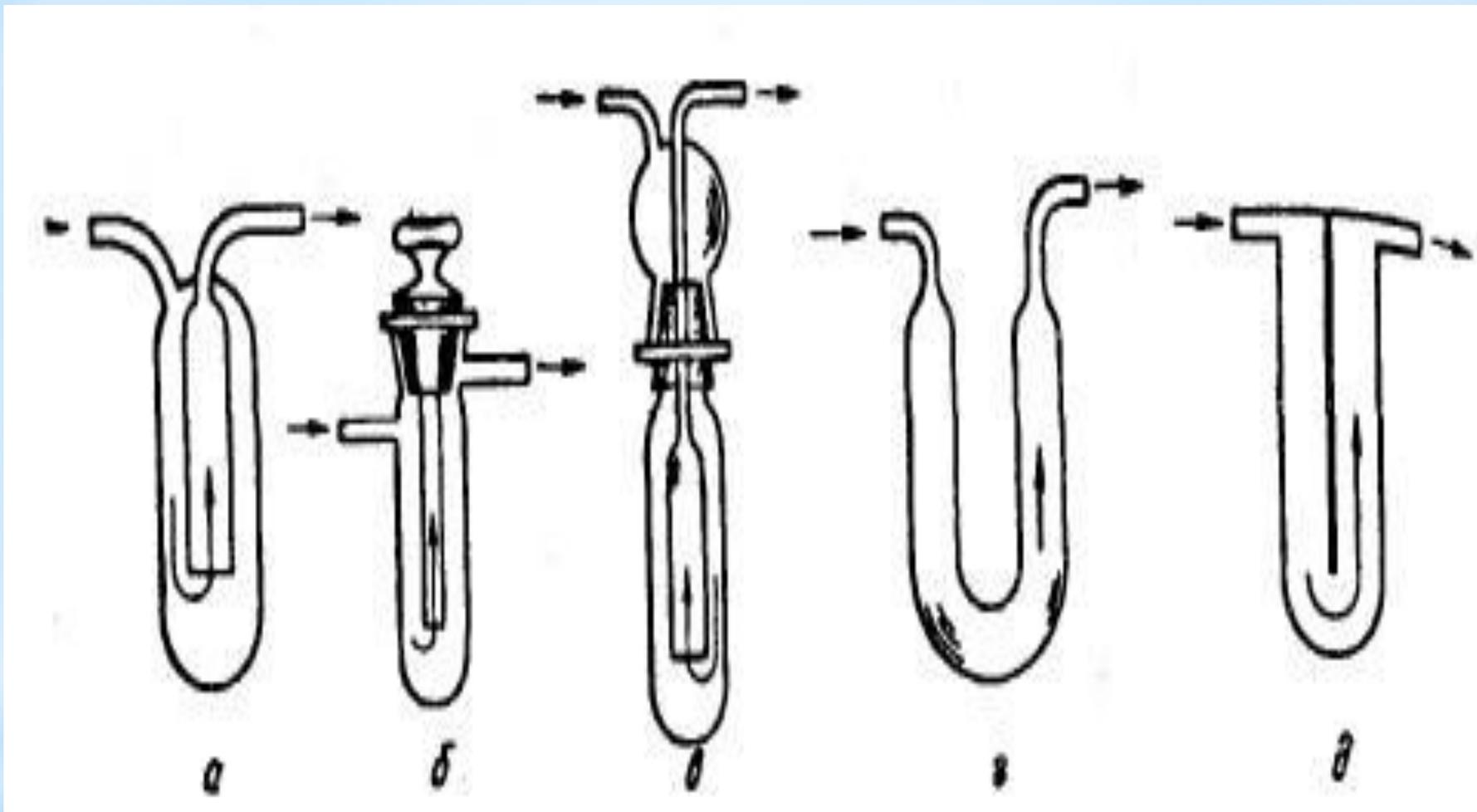


Рис.4.Ловушки для конденсации газов: простая (а), с краном (б), с  
пришлифованной головкой (в), U-образная (г),  
с перегородкой (д)

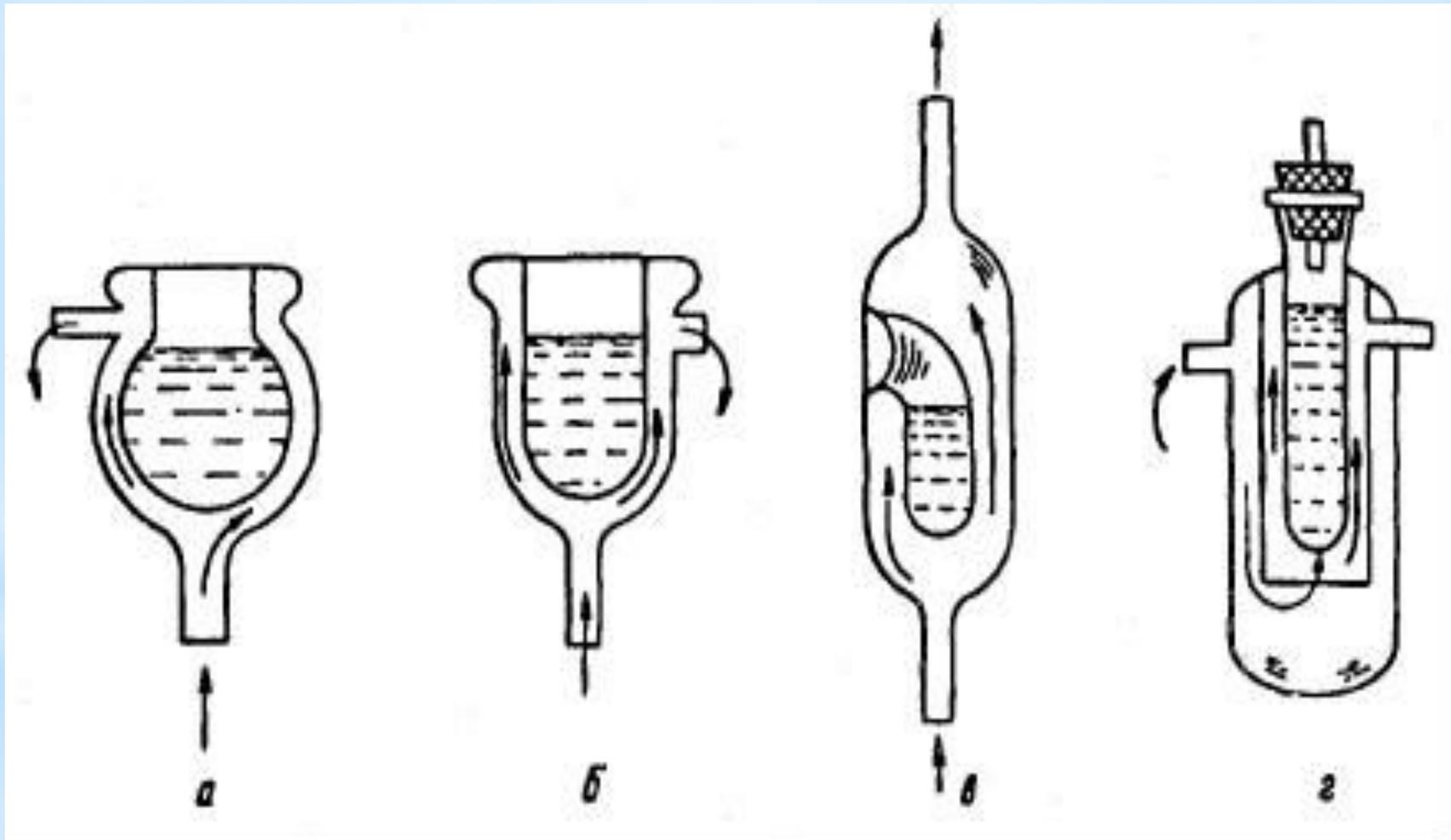


Рис.5. Ловушки для конденсации газов с заливными карманами: шарообразная (а), цилиндрическая (б), с боковым заливным отверстием (в) и с коаксиальными цилиндрами (г)

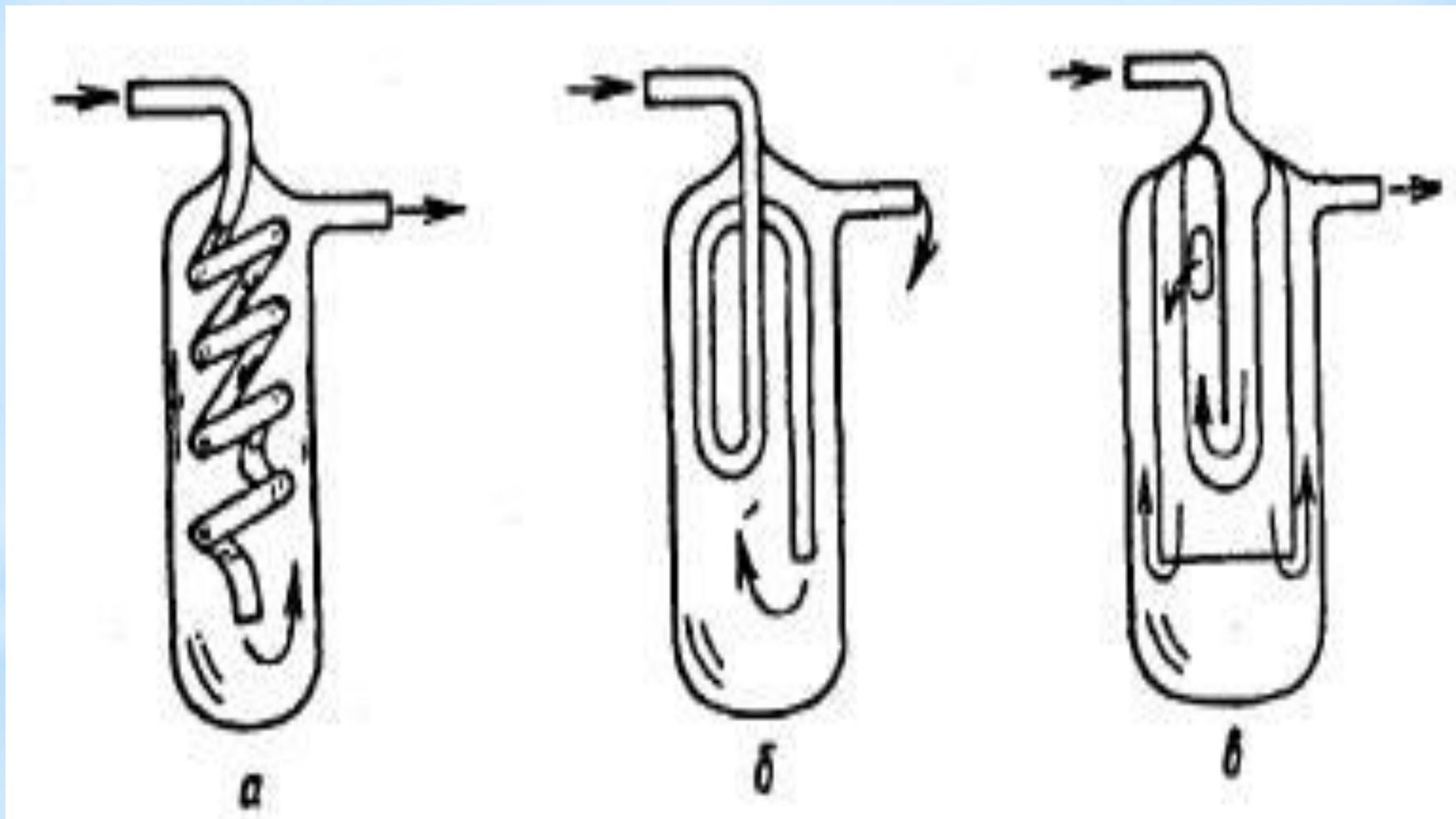


Рис.6. Ловушки длительного контакта с конденсирующимся газом: с ковой трубкой (а), со спиральной трубкой (б) и трехстенная (в)

# Ртутные барометры

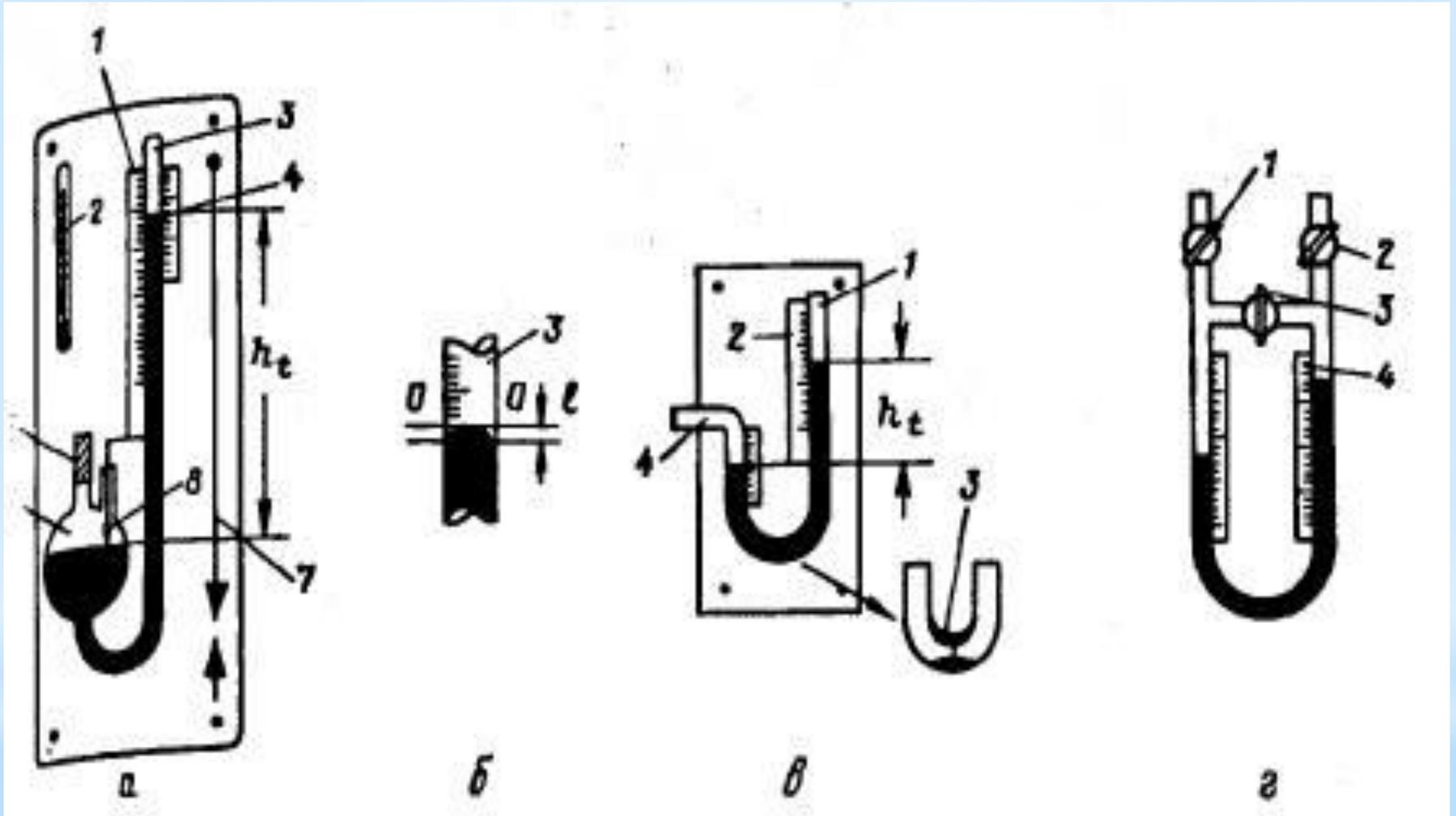


Рис.7. Ртутный барометр (а). Высота мениска (б). U-образный барометр с открытым коленом (в) и U-образный дифбарометр (г)

# Манометры

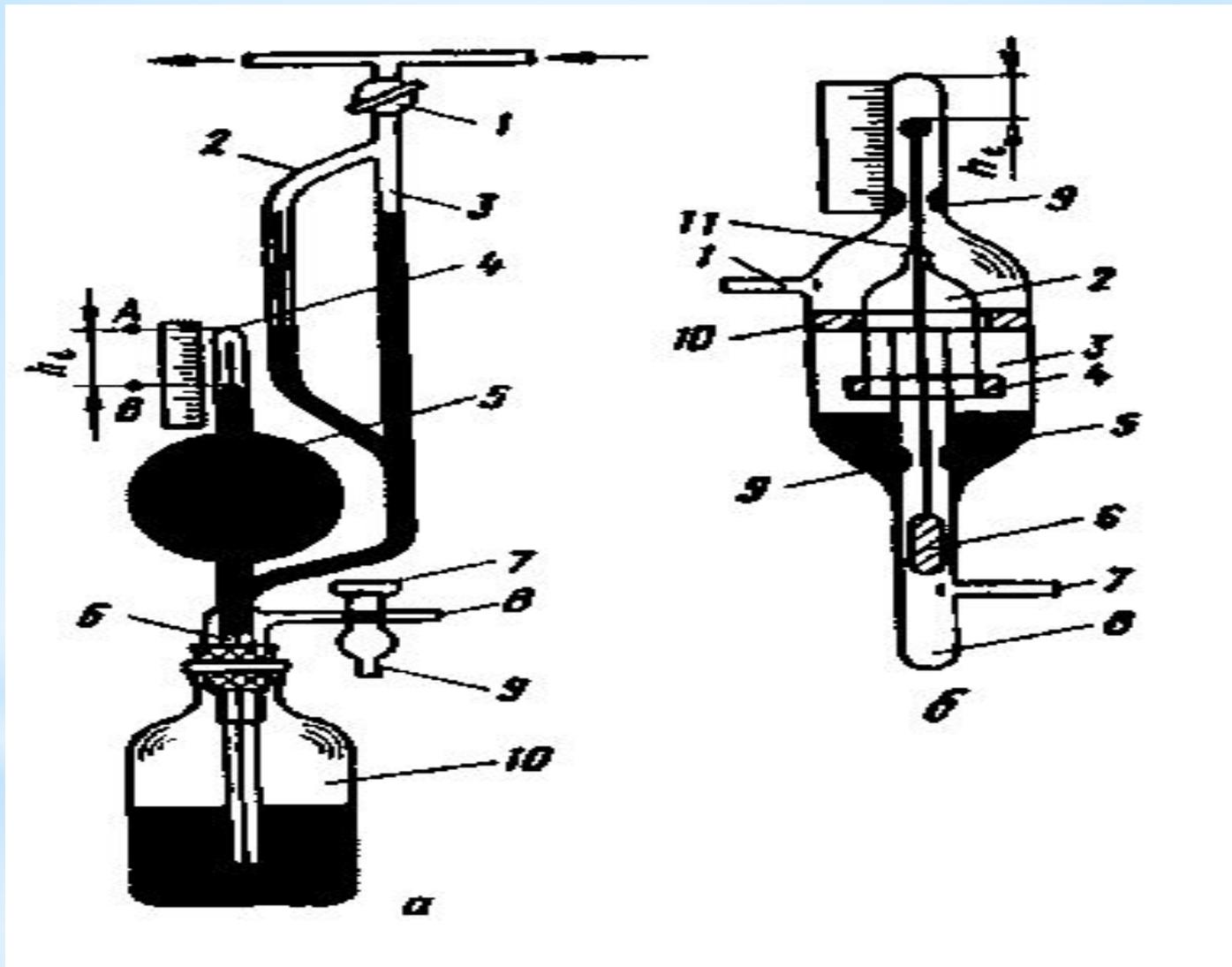


Рис.8. Вакууметры Мак-Леода (а) и Гурского (б)

Давление сжатого в капилляре 4 газа после такой операции равно измеряемому давлению системы плюс давление столба ртути между уровнями А и В. Если  $h_t$  - высота столба ртути, определяемая по рядом расположенной шкале, а давление  $p$  системы ничтожно мало по сравнению с давлением этого столба ртути, то из закона Бойля – Мариотта следует, что

$$p = h_t V_1 / V_0$$

где  $p$  - измеряемое давление, торр;  $V_1$  - объем сжатого газа в капилляре 4, мл;  $V_0$  - объем сосуда 5 и капилляра 4, мл.

Так как капилляр 4 имеет постоянный диаметр, имеем

$$V_1 = h_t V_l$$

где  $V_l$  - объем капилляра на единицу его длины  $l$ , см<sup>3</sup>.

Отсюда

$$p = h_t^2 (V_l / V_0),$$

т.е. давление газа в системе (в торр) пропорционально квадрату высоты столба ртути в капилляре 4. Отношение  $V_l / V_0$  определяют заранее, тщательно измеряя объем капилляра 4 и общий объем сосуда 5 и капилляра 4.

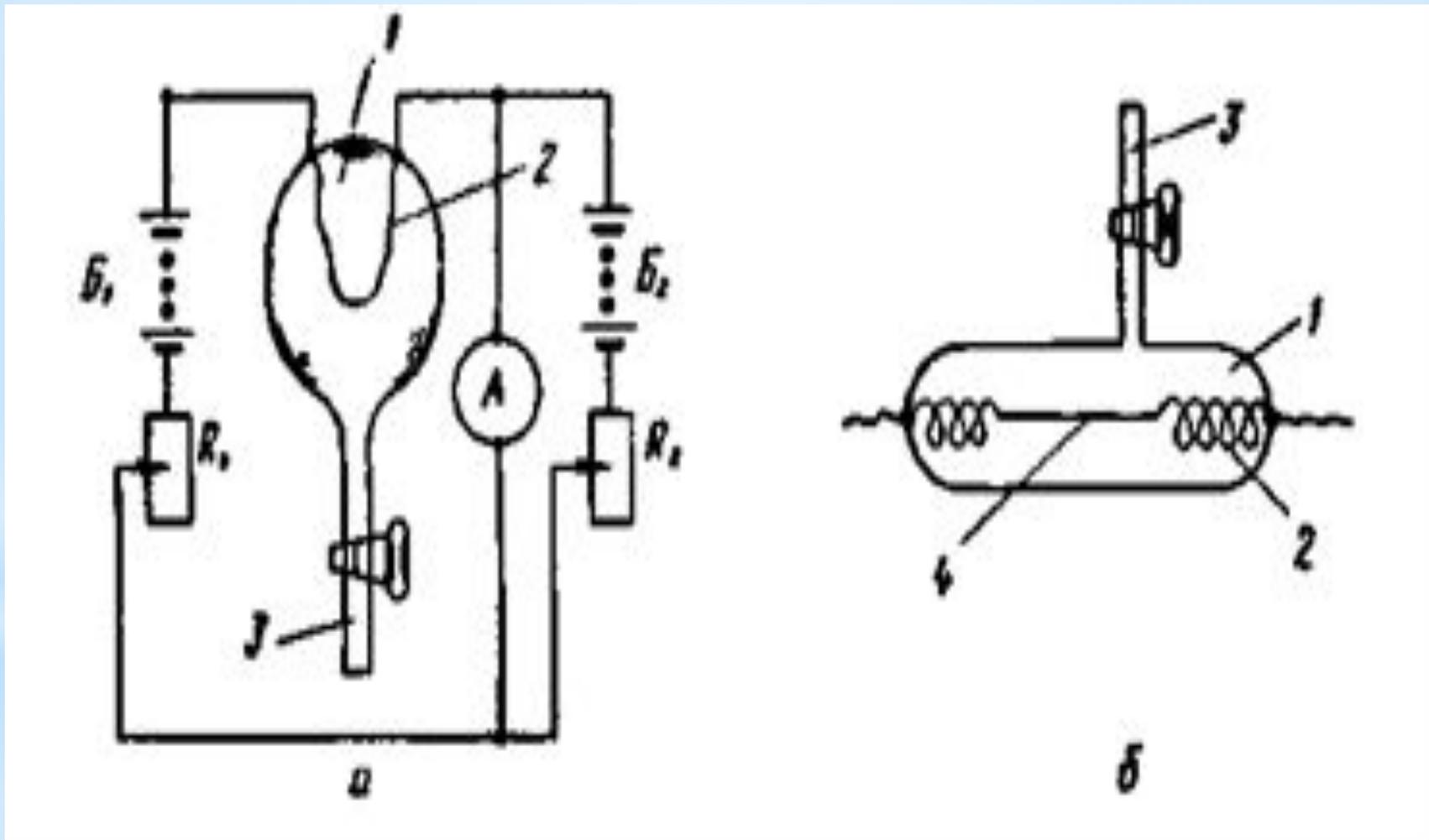


Рис.9. Манометр Пирани со свободно подвешенной нитью (а) и с натянутой нитью накаливания (б): а: 1 - колба; 2 - нить накаливания; 3 - трубка; А - миллиамперметр;  $B_1$  и  $B_2$  - постоянные источники тока с напряжением соответственно 4 и 20 В;  $R_1$  и  $R_2$  - реостаты с сопротивлением 25 Ом

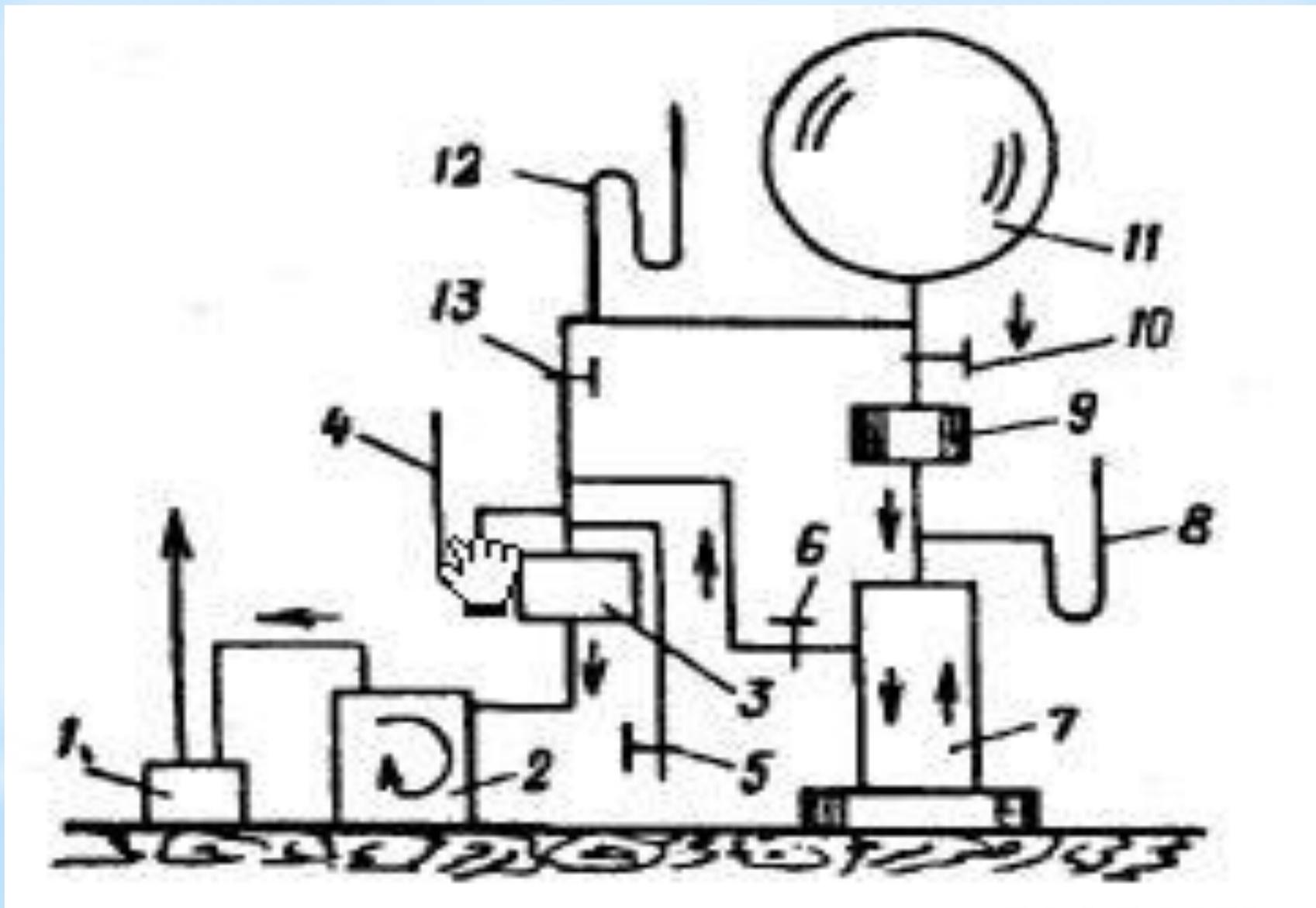


Рис.10. Схема высоковакуумной установки

**4. Система  
очистки газов**

