

Лекционный курс

«Физические основы измерений и эталоны»

Раздел

**МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР
(ЭЛЕМЕНТЫ КРИОГЕННОЙ ТЕХНИКИ)**

Тема

**ОХЛАЖДЕНИЕ ПРИ РАСШИРЕНИИ ГАЗОВ.
ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА**



АДИАБАТИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ С СОВЕРШЕНИЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

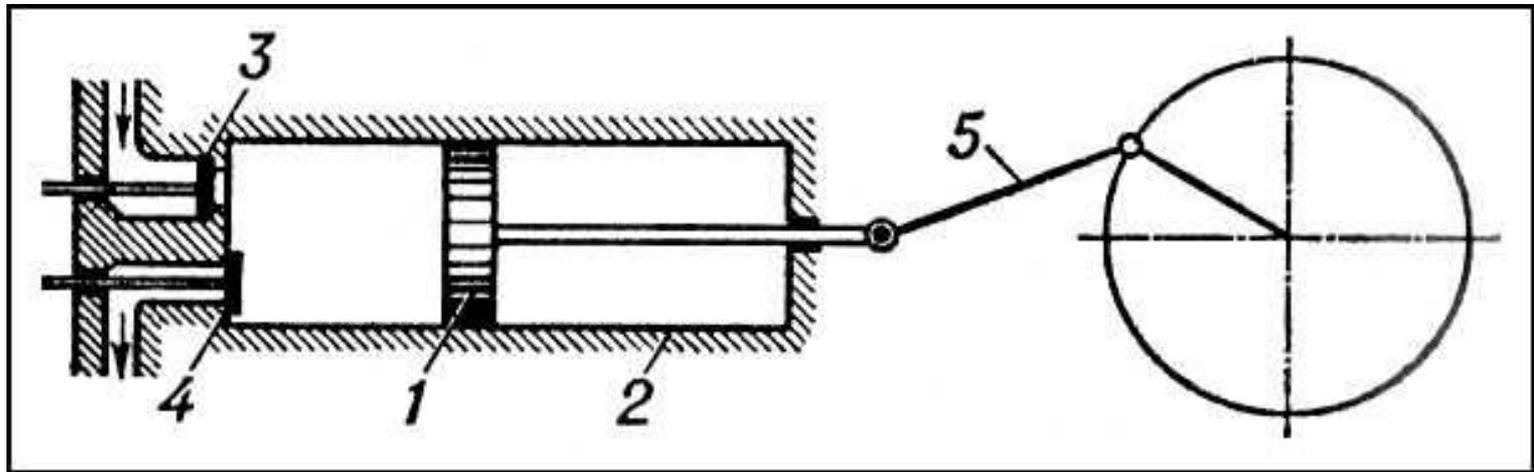
$$dQ = 0$$

$$dU = A$$

$$T_2 = \frac{T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(C_P - C_V)}}{C_P}$$

АДИАБАТИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ С СОВЕРШЕНИЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Поршневой детандер



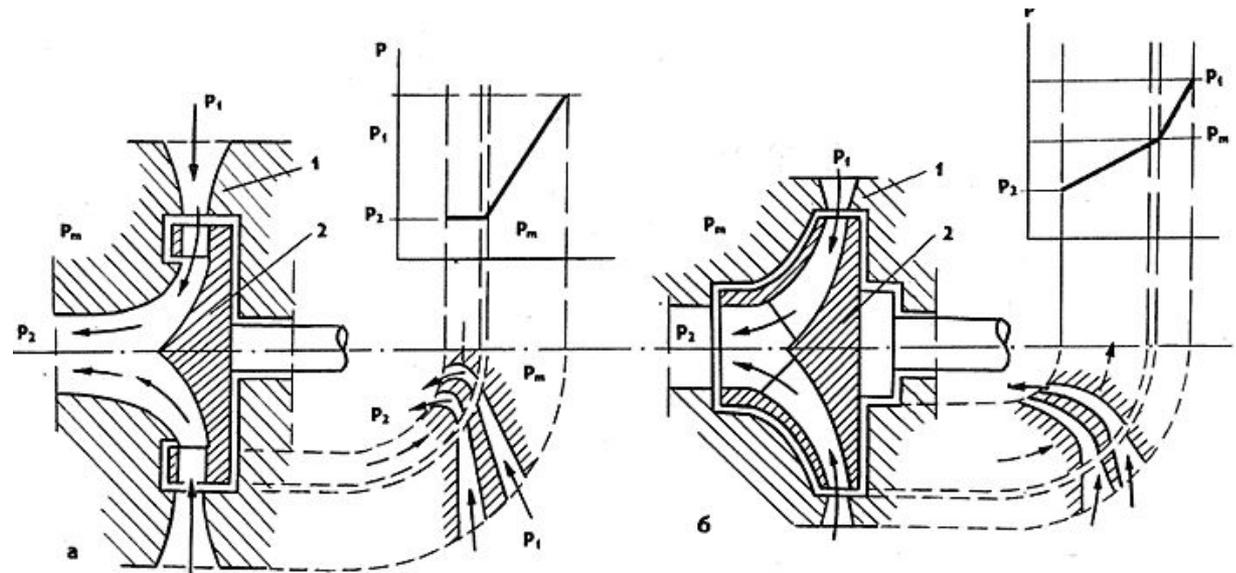
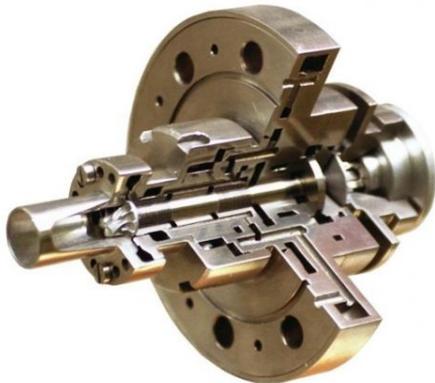
1 — поршень; 2 — цилиндр; 3 — впускной клапан;
4 — выпускной клапан; 5 — кривошипно-шатунный механизм

АДИАБАТИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ С СОВЕРШЕНИЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

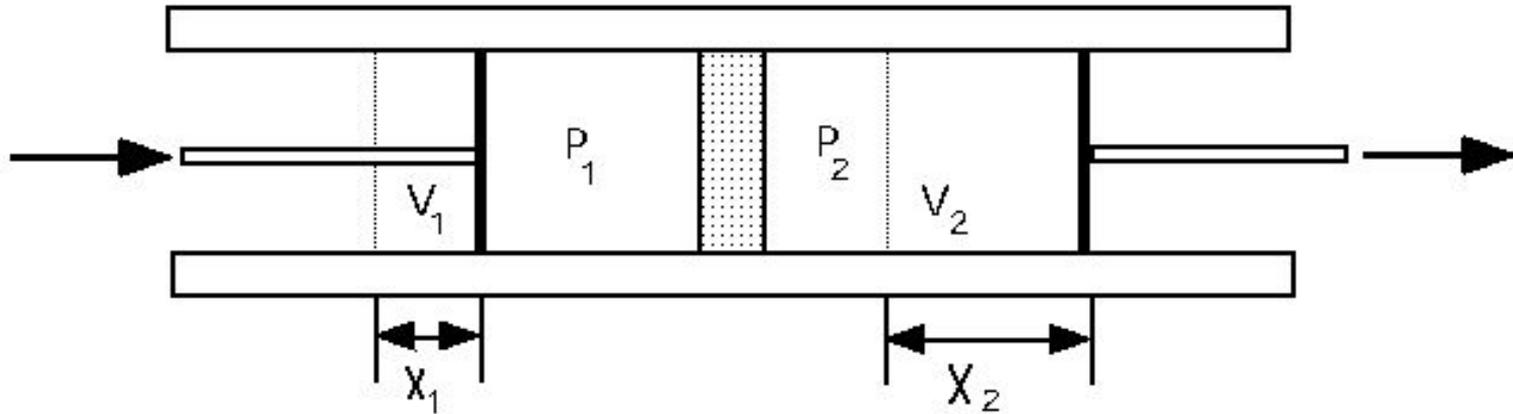


Пётр Леонидович
Капица
(1894 - 1984)

Турбодетандер



ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА



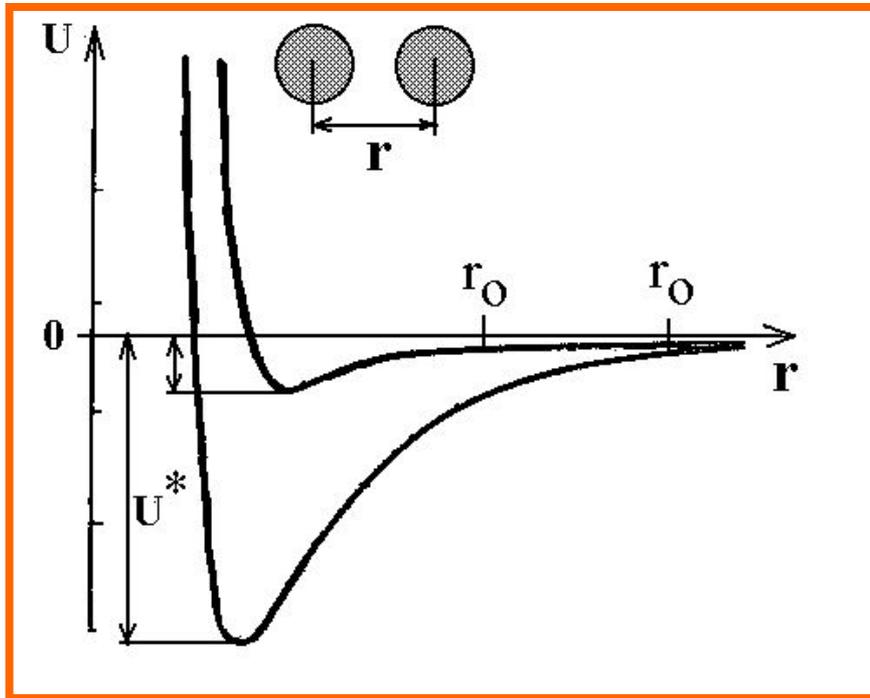
$$\Delta U = A \rightarrow U_2 - U_1 = p_1 V_1 - p_2 V_2$$

$$U_1 + p_1 V_1 = U_2 + p_2 V_2 \text{ или } H_1 = H_2$$

ИЗОЭНТАЛЬПИЧЕСКИЙ процесс

Для идеального газа $dH = M c_p dT \rightarrow dT = 0$

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛЕКУЛ В РЕАЛЬНЫХ ГАЗАХ



Уравнение
состояния
Ван-дер-Ваальса

$$(p + a/V^2)(V - b) = RT$$

**ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА
В РЕАЛЬНЫХ ГАЗАХ
СО СЛАБО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ
МОЛЕКУЛАМИ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ**

Уравнение состояния: $p(V - b) = RT$

$$pV = RT + pb \rightarrow \Delta U = p_1 V_1 - p_2 V_2 = R(T_1 - T_2) + b(p_1 - p_2)$$

$$\Delta T \text{ - мало} \rightarrow \Delta U \approx b(p_1 - p_2)$$

$$p_1 > p_2 \rightarrow \Delta U > 0$$

При расширении газ **НАГРЕВАЕТСЯ**

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ эффект Джоуля - Томсона

ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА В РЕАЛЬНЫХ ГАЗАХ С СИЛЬНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ МОЛЕКУЛАМИ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ

Уравнение состояния: $(p + a/V^2)V = RT$

$$pV = RT - a/V \rightarrow \Delta U = R(T_1 - T_2) + a(1/V_2 - 1/V_1)$$

$$\Delta T - \text{мало} \rightarrow \Delta U \approx a(1/V_2 - 1/V_1)$$

$$V_1 < V_2 \rightarrow \Delta U < 0$$

При расширении газ **ОХЛАЖДАЕТСЯ**

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ эффект Джоуля - Томсона

ИНВЕРСИЯ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА

Максимальная
температура
инверсии

$$(T_{и})_{\max} = 2a/Rb$$

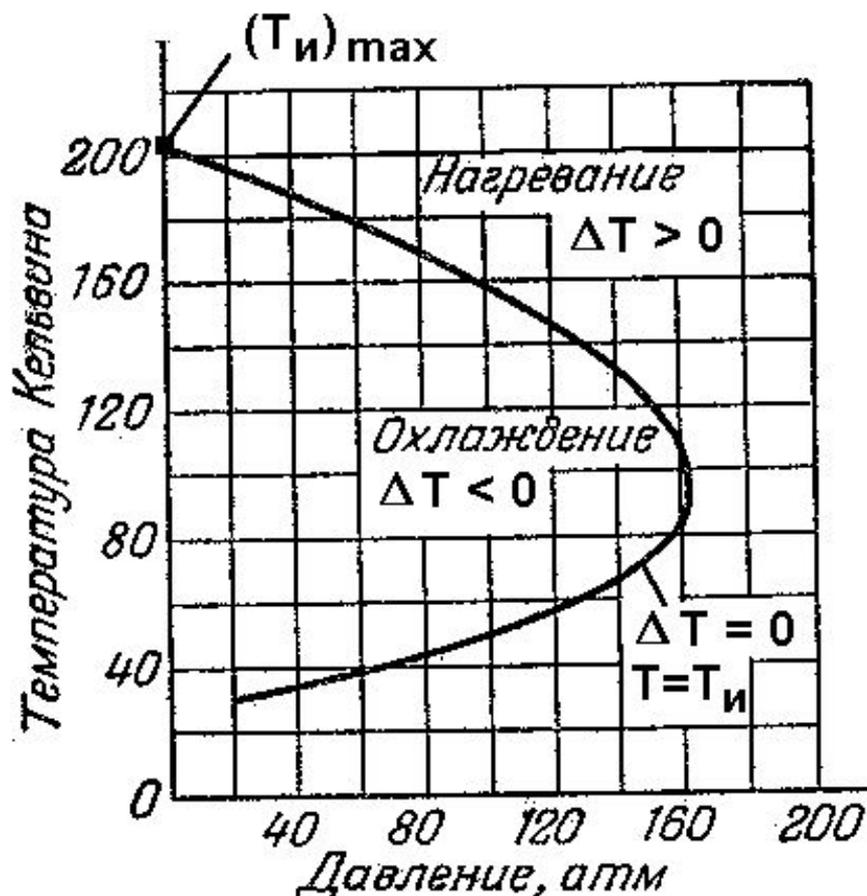
Положительный
эффект при
 $T_1 < (T_{и})_{\max}$

$H_2 \rightarrow 202 \text{ K}$

$N_2 \rightarrow 621 \text{ K}$

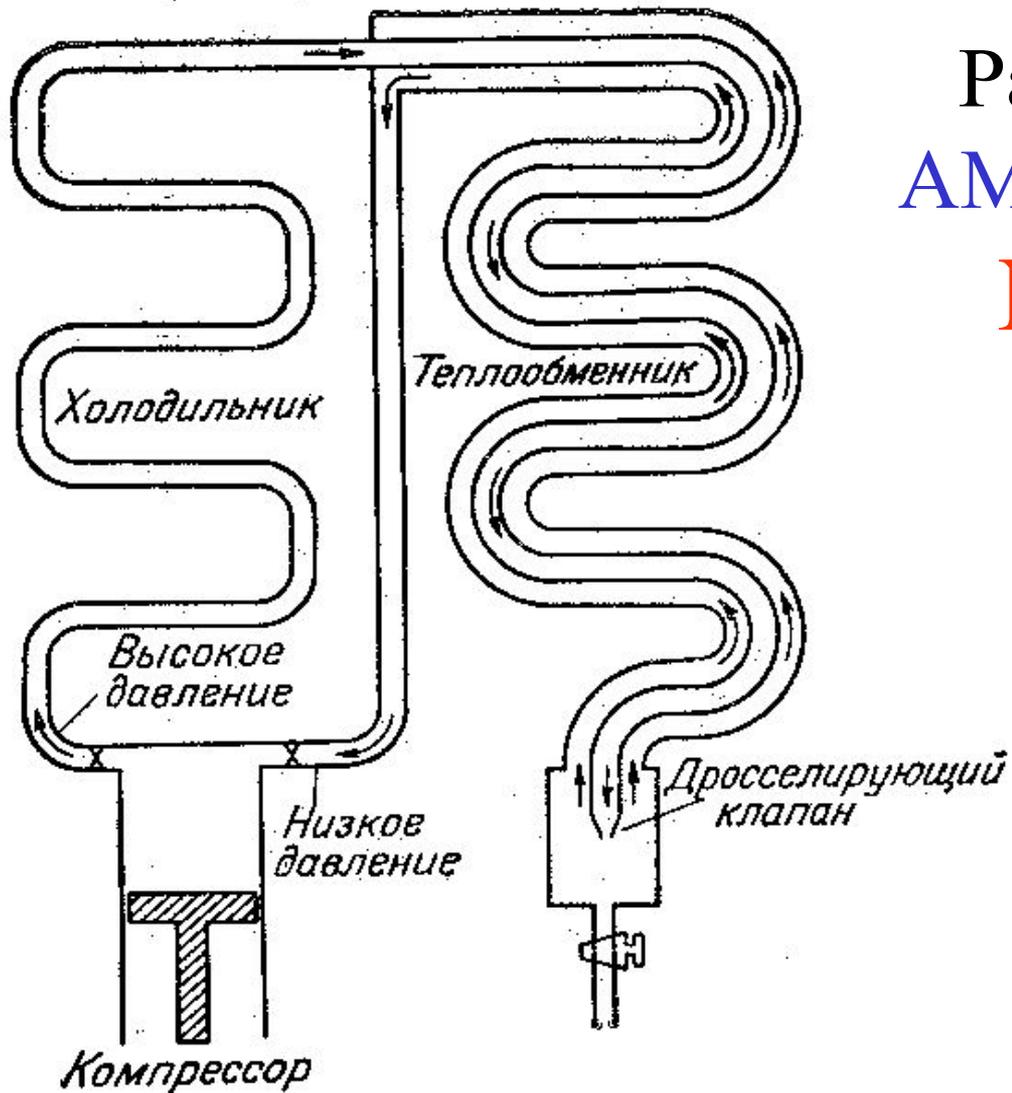
$O_2 \rightarrow 764 \text{ K}$

$CO_2 \rightarrow 1900 \text{ K}$



Температура инверсии
для водорода

СХЕМА ХОЛОДИЛЬНИКА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА



Раньше
АММИАК

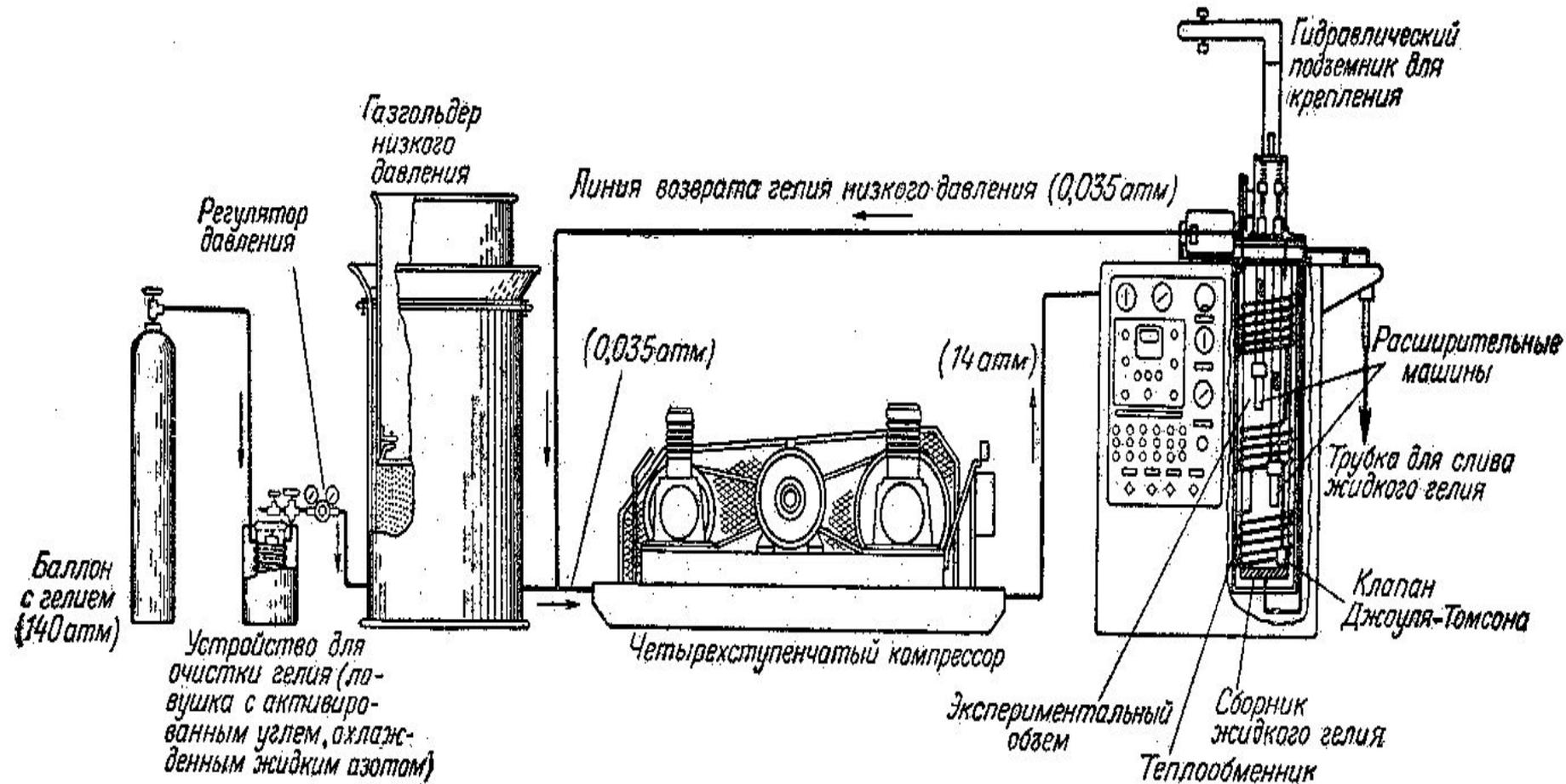


ФРЕОНЫ :



И Т. П.

ПРОМЫШЛЕННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СЖИЖЕНИЯ ГАЗОВ



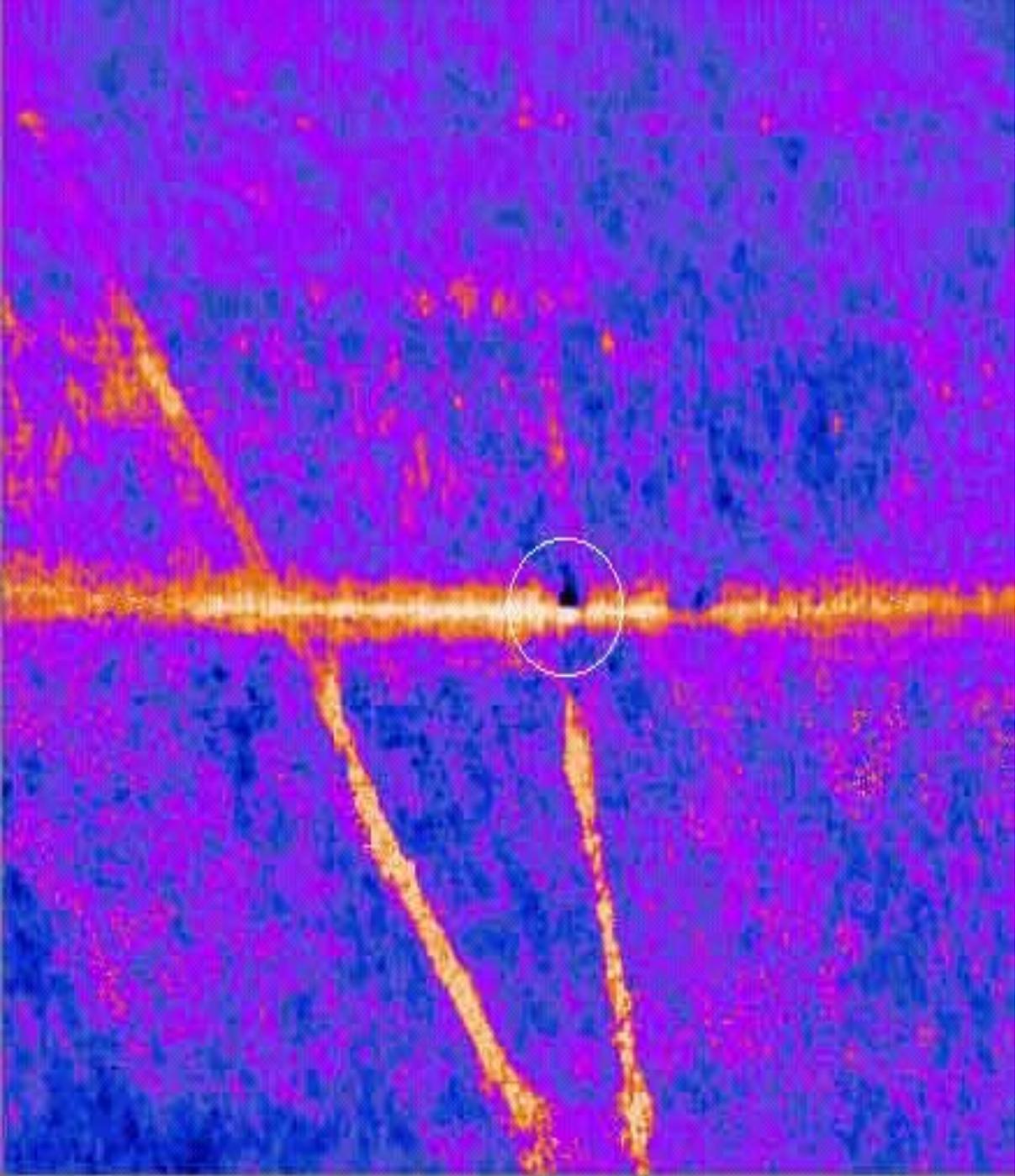
Диагностика ПОДЗЕМНЫХ ТЕПЛОВЫХ сетей

1,2,3

-

нарушения
ИЗОЛЯЦИИ





**Охлаждение
участка
газопровода
из-за
аварийной
утечки
газа**