

Методы получения низких температур

- 1) Холодильная машина
- 2) Адиабатическое расширение
с совершением работы
- 3) Дросселирование
- 4) Адиабатическое размагничивание
- 5) Лазерное охлаждение

Методы получения низких температур

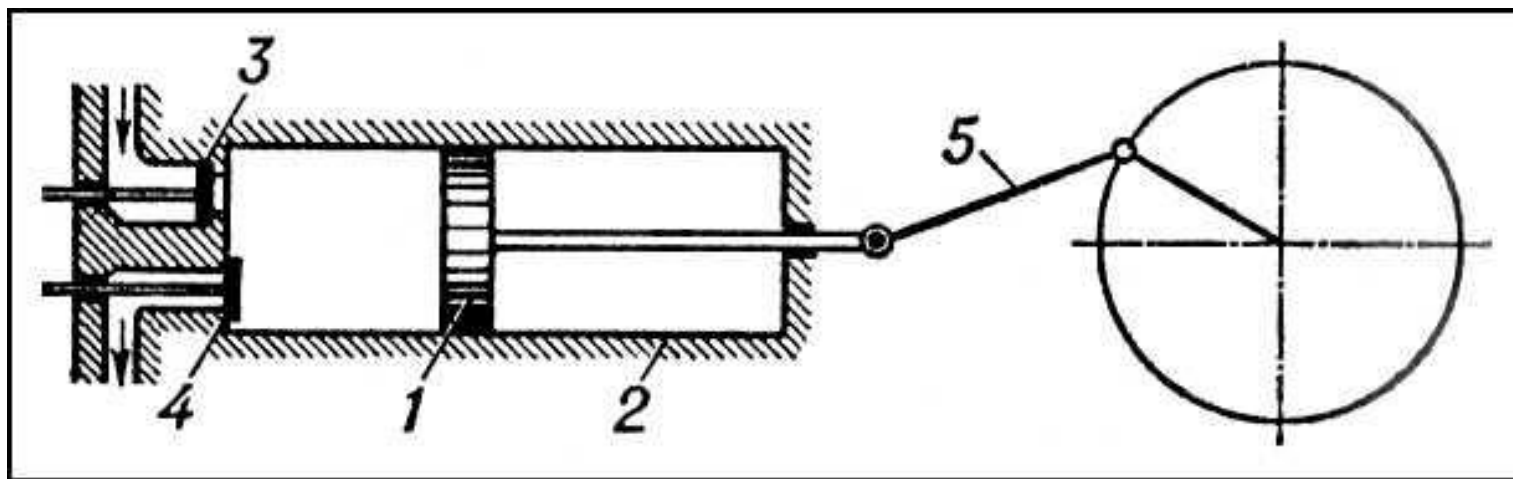
- Сначала газ изотермически сжимается до давления в несколько сотен атмосфер при доступной температуре (например, комнатной).
- После этого он расширяется либо в процессе Джоуля — Томсона, либо адиабатически. В обоих случаях газ охлаждается.
- Далее он используется для охлаждения следующей порции газа, сжатого до большего давления.
- Таким образом, следующая исходная порция сжатого газа имеет более низкую температуру, чем в предыдущем акте охлаждения. Поэтому после расширения этой порции газа либо в процессе Джоуля — Томсона, либо адиабатически температура полученного газа более низка, чем в предыдущем цикле. И т. д. В конце концов температура понижается до необходимого значения.

Адиабатическое расширение

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

При увеличении объема газа происходит его **ОХЛАЖДЕНИЕ**

Поршневой детандер

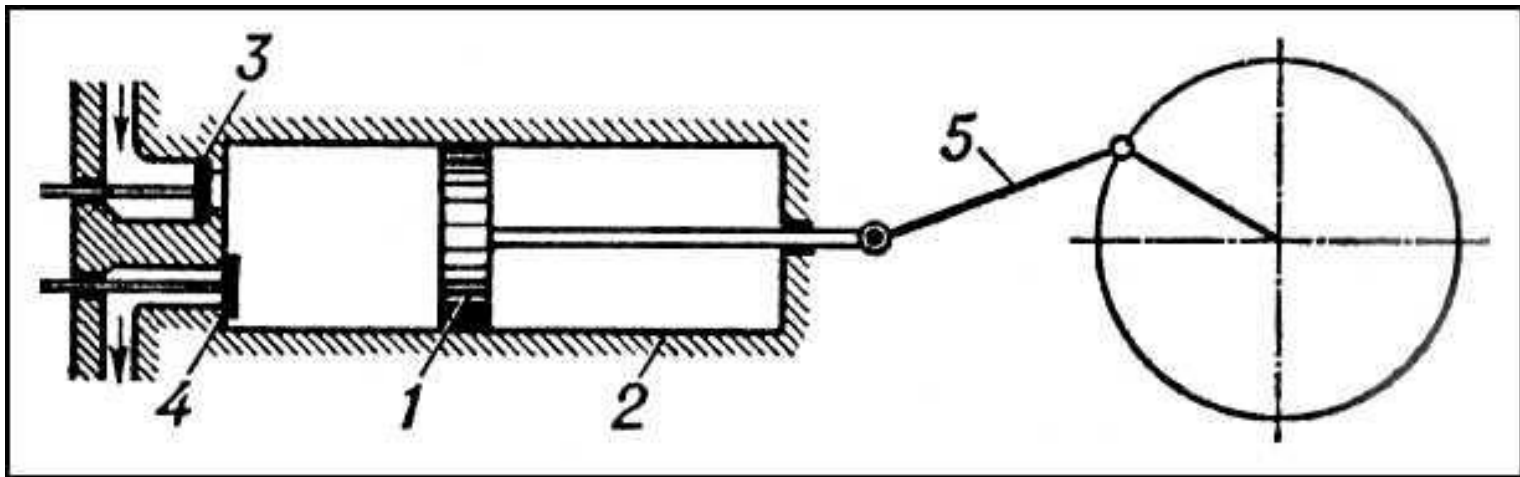


1 — поршень; 2 — цилиндр; 3 — впускной клапан; 4 — выпускной клапан;
5 — кривошипно-шатунный механизм

Адиабатическое расширение

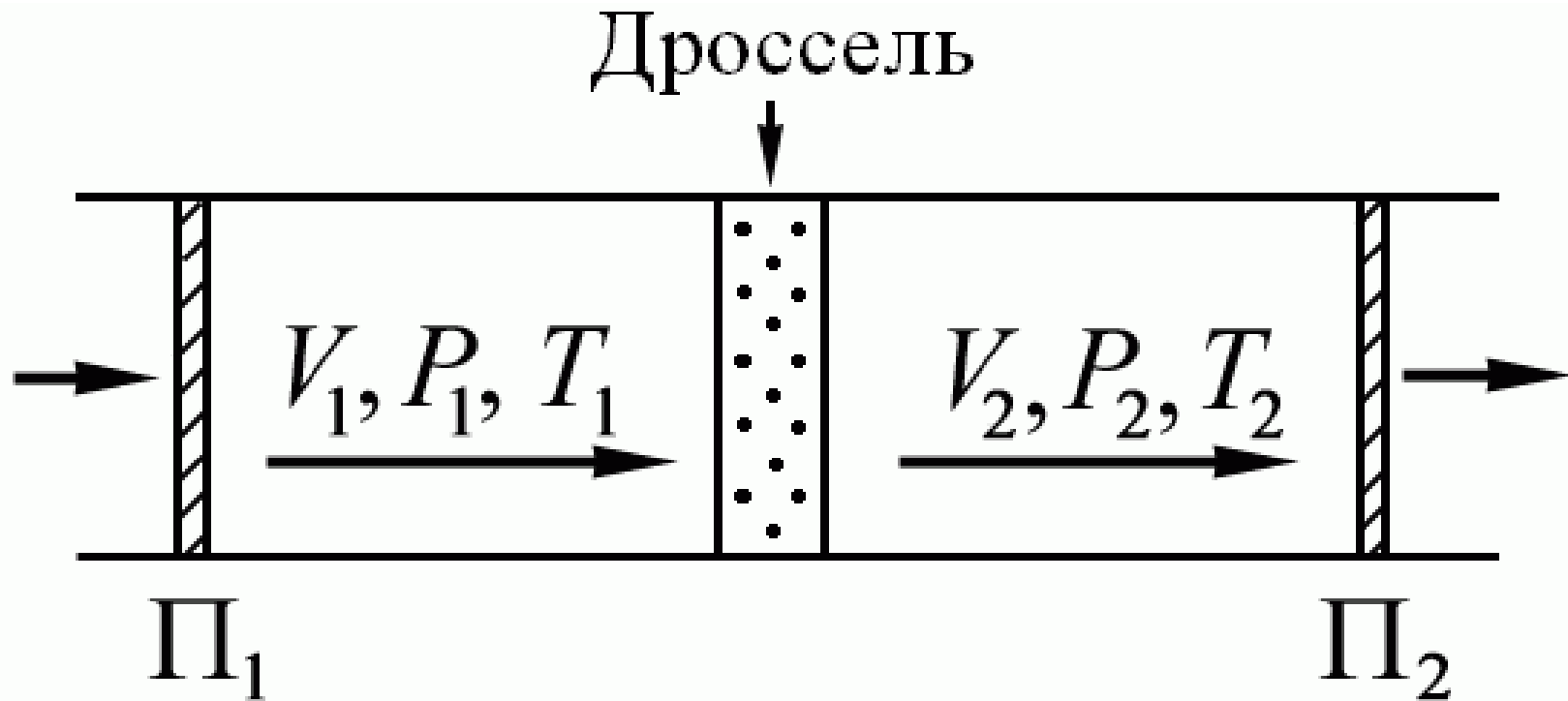
При увеличении объема газа происходит его **ОХЛАЖДЕНИЕ**

Поршневой детандер



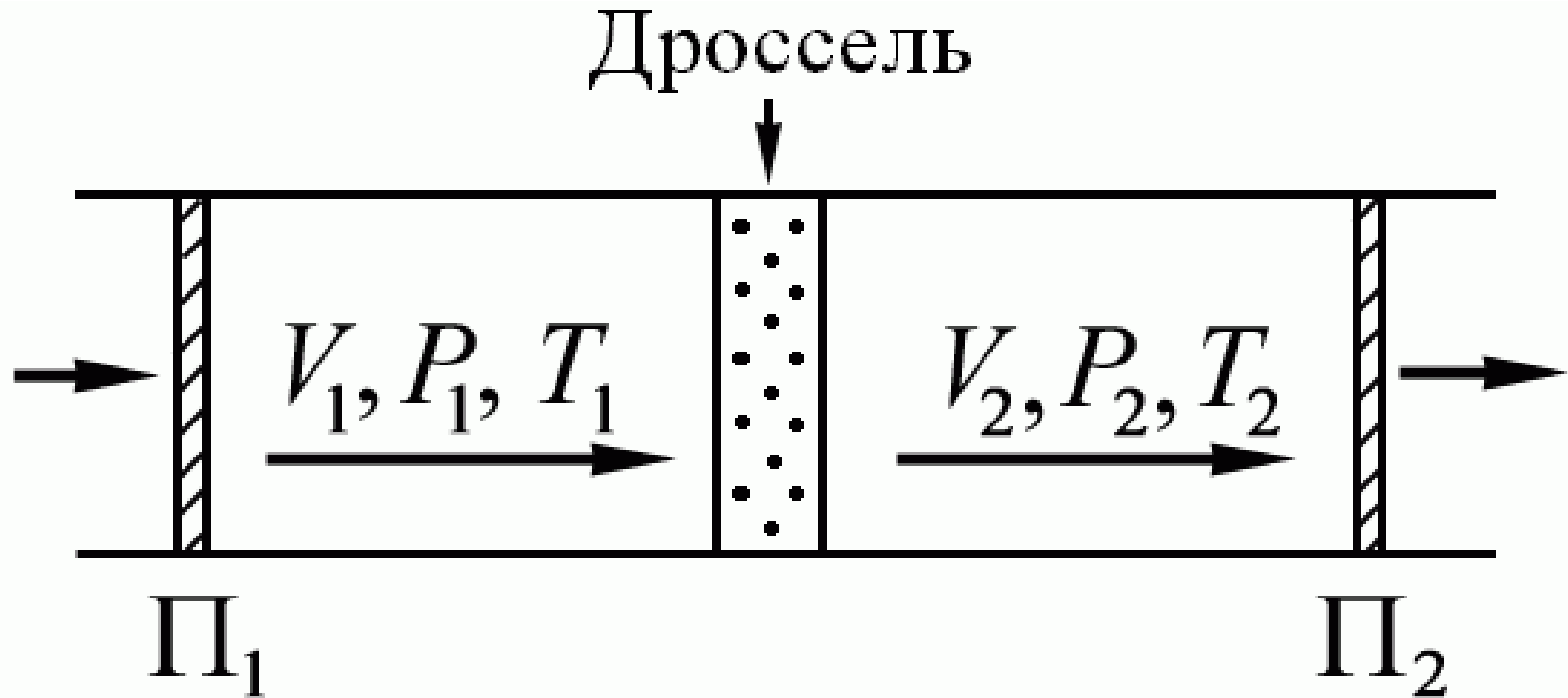
$$-\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

Эффект Джоуля — Томсона



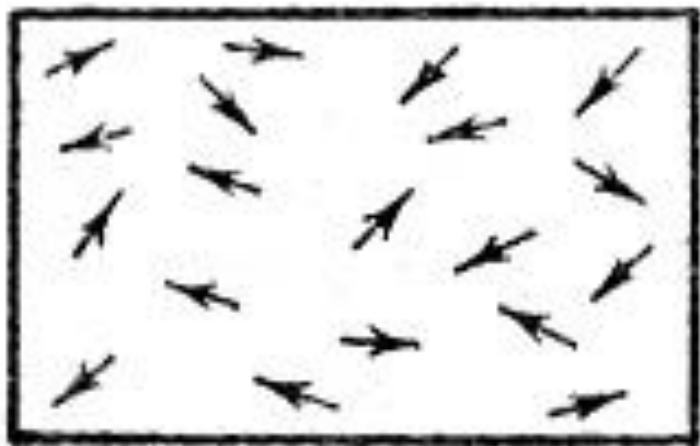
1. Между газами в объемах V_1 и V_2 отсутствует прямой теплообмен через пористую перегородку, которая делается из материала с достаточно низкой теплопроводностью.
2. Вся система теплоизолирована.

Эффект Джоуля — Томсона

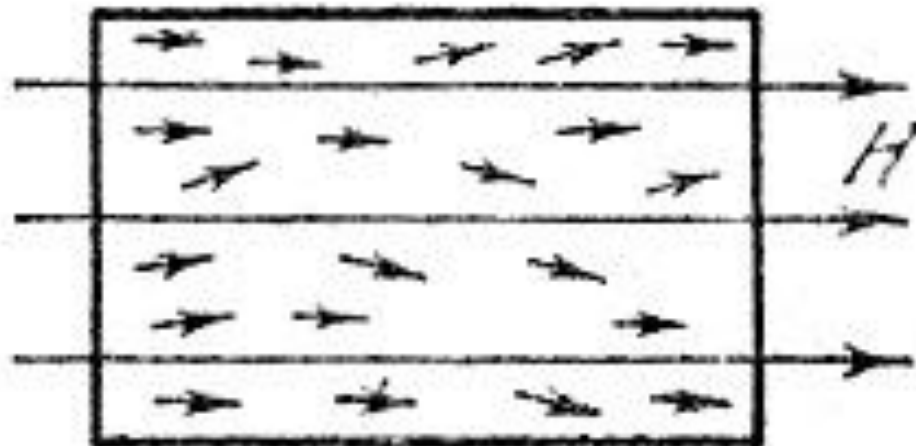


- Эффект Джоуля — Томсона проходит при постоянной энтальпии ($H=U+pV=\text{const}$).

Адиабатическое размагничивание



а)

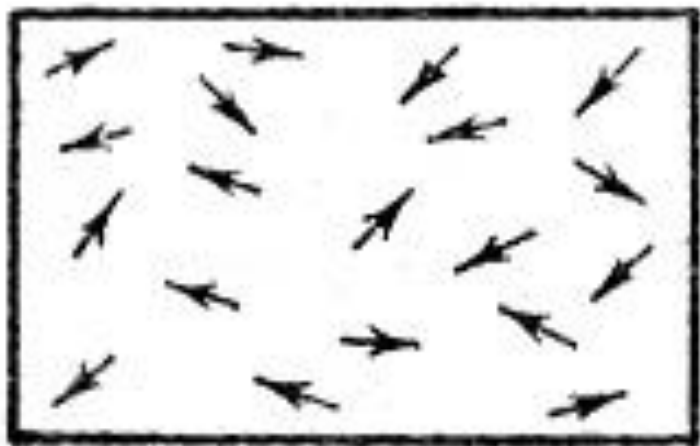


б)

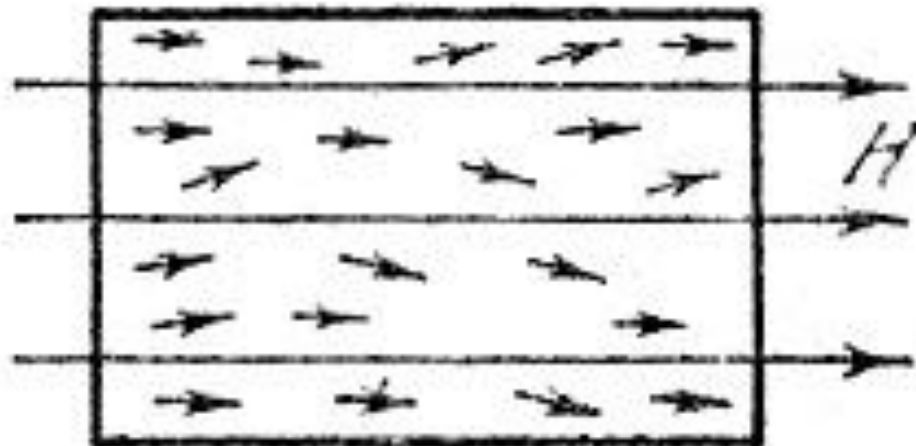
Для получения сверхнизких температур используют метод адиабатного размагничивания парамагнитных солей. Он основан на зависимости энтропии парамагнитной соли от напряженности магнитного поля.

Атомы парамагнитного вещества обладают магнитными моментами. В обычных условиях эти магнитные моменты ориентированы беспорядочно из-за теплового движения, в котором участвуют молекулы соли:

Адиабатическое размагничивание



а)



б)

Если такую соль поместить в сильное магнитное поле, то магнитные моменты будут ориентироваться вдоль поля. Этот процесс называется намагничиванием.

Следовательно, магнитное поле приводит к тому, что степень беспорядка (магнитного) уменьшается. Поэтому уменьшается и связанная с ним энтропия

Адиабатическое размагничивание

Парамагнитную соль охлаждают жидким гелием до $\sim 1\text{K}$ и намагничивают.

После этого намагниченную, охлажденную соль изолируют от жидкого гелия и адиабатно размагничивают, удаляя из магнитного поля.

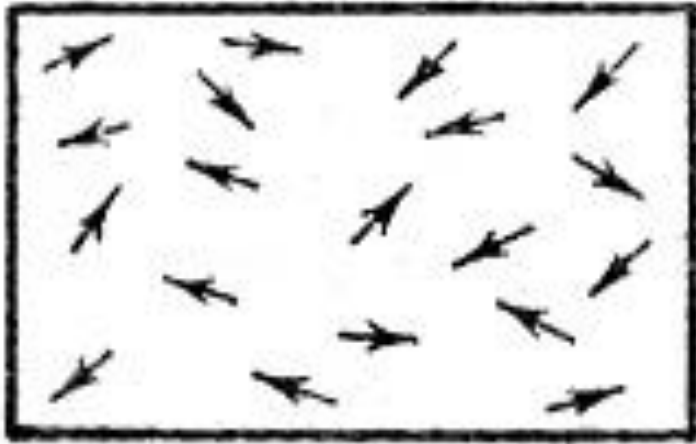
При адиабатическом процессе:

$$\Delta S = \Delta S_T + \Delta S_M = 0$$

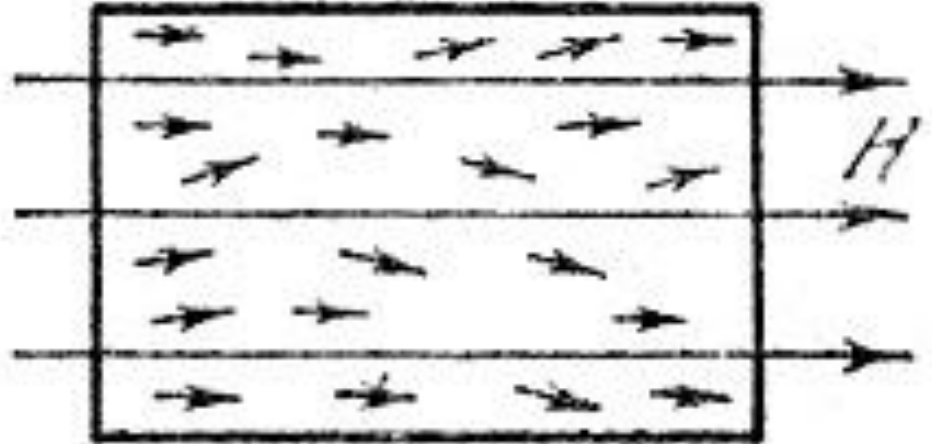
где ΔS_T – изменение энтропии, обусловленное тепловым движением молекул (температурой),

ΔS_M – изменение энтропии, обусловленное магнитными свойствами.

Адиабатическое размагничивание



а)



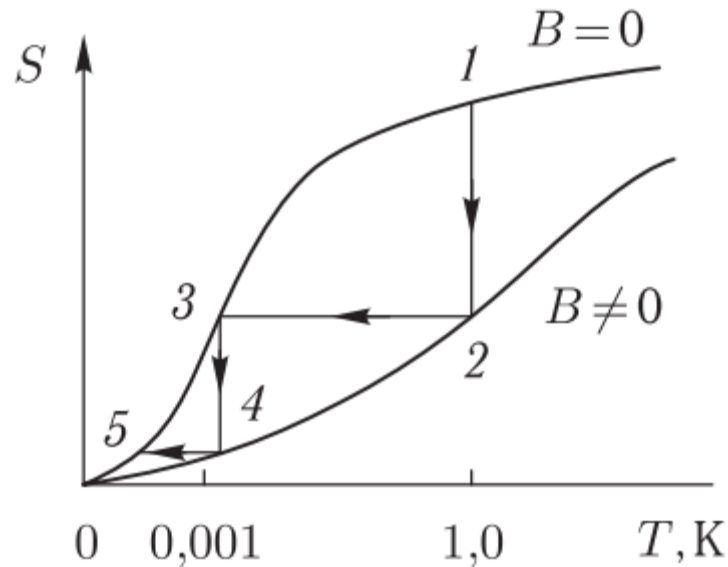
б)

При адиабатном размагничивании $\Delta S_M > 0$ – энтропия, обусловленная магнитными свойствами, возрастает, потому что магнитные моменты молекул в отсутствие магнитного поля ориентируются беспорядочно (рис.б,а).

Следовательно, при этом должна уменьшиться энтропия, связанная с тепловым движением (температурой) $\Delta S_T < 0$.

Поэтому температура парамагнитной соли уменьшится. Используя этот метод можно получить температуры $\sim 10^{-5}\text{К}$.

Адиабатическое размагничивание

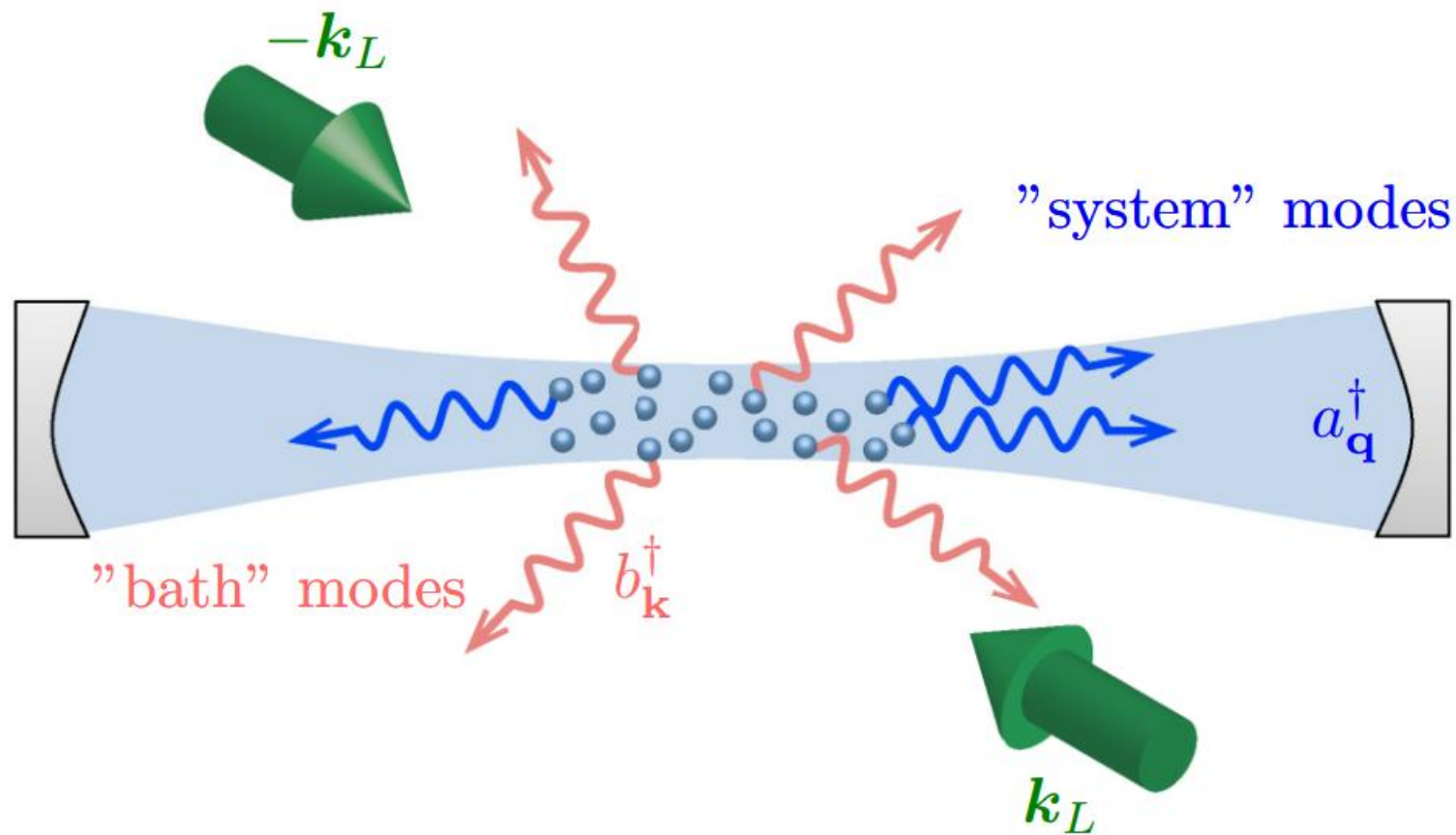


$$\Delta S = \Delta S_T + \Delta S_M = 0$$

где ΔS_T – изменение энтропии, обусловленное тепловым движением молекул (температурой),

ΔS_M – изменение энтропии, обусловленное магнитными свойствами.

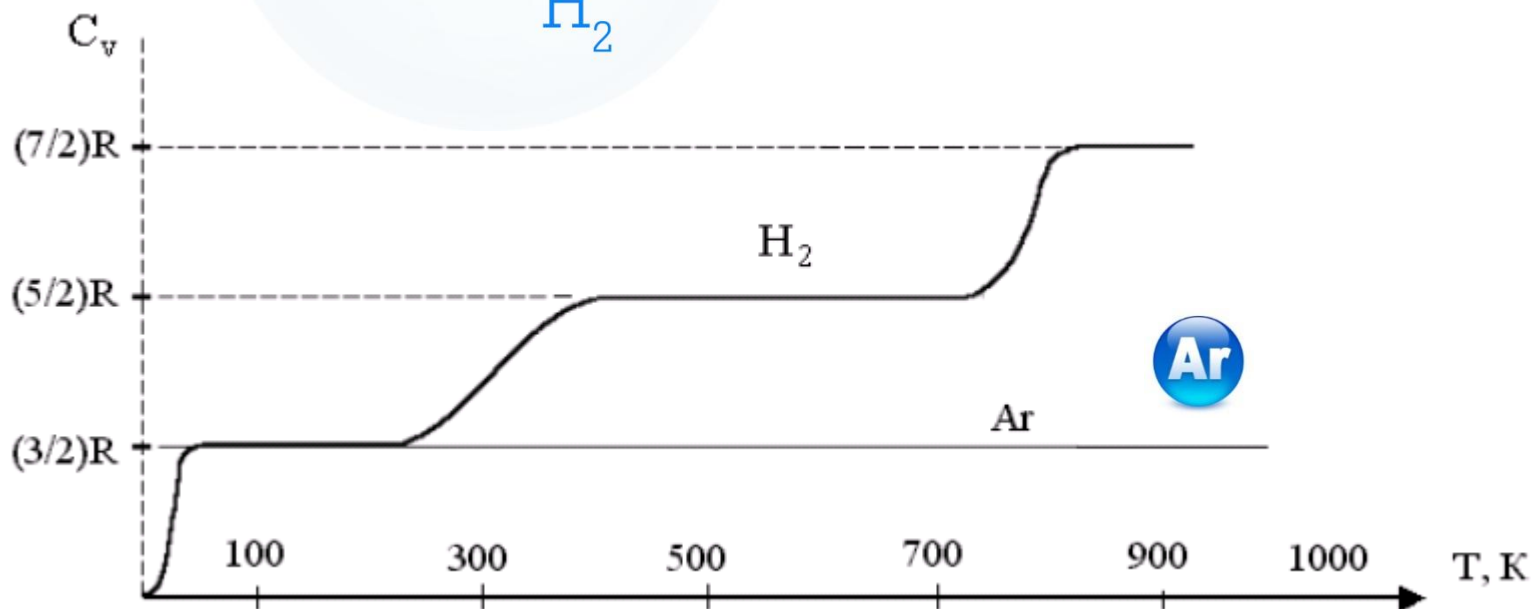
Лазерное охлаждение



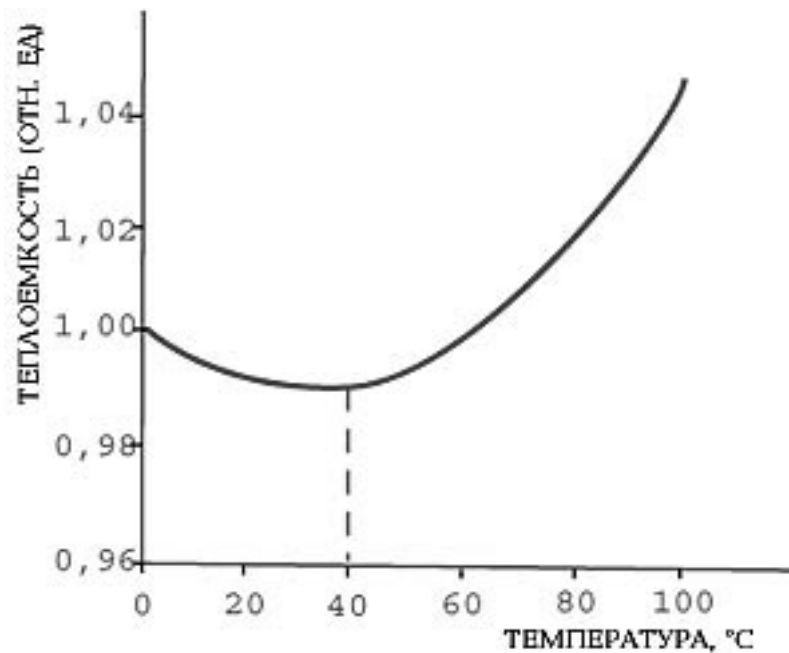
где ΔS_T – изменение энтропии, обусловленное тепловым движением молекул (температурой),

ΔS_M – изменение энтропии, обусловленное магнитными свойствами.

Зависимость теплоемкости газа от температуры

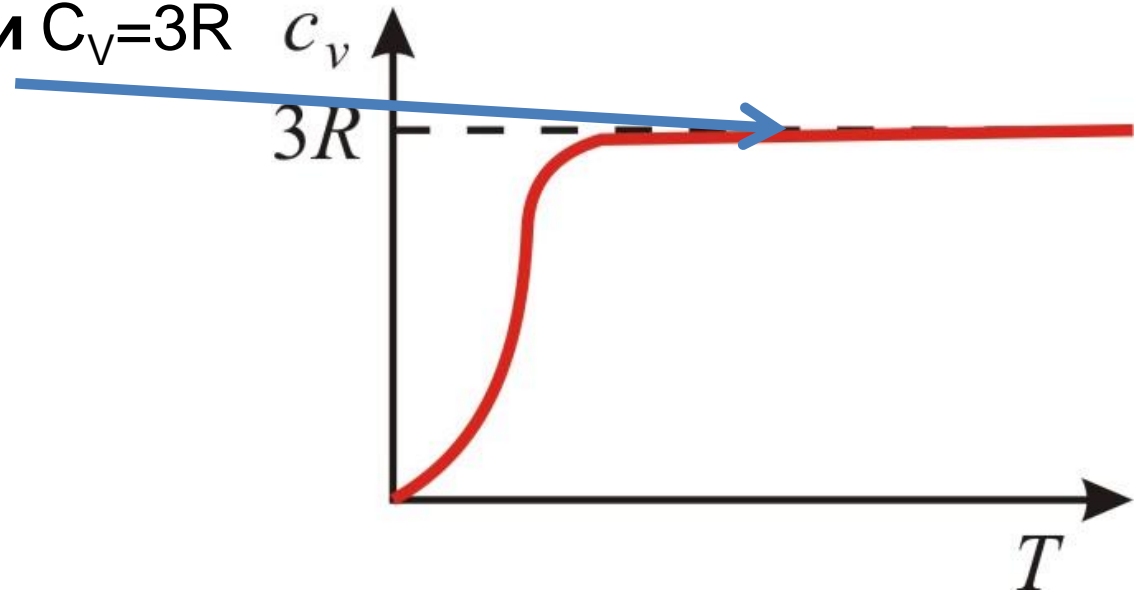


Теплоемкость воды



Теплоемкость твердых тел

Закон Дюлонга и Пти $C_V = 3R$



- Эксперименты показывают, что при приближении к $T = 0$ теплоемкость неметаллических твердых тел стремится к нулю по степенному закону $c_v \sim T^3$.