

Семинар 3: Энтропия и уравнение состояния идеального газа

Парфеньев

Владимир

parfenius@gmail.com

Russian Academy of Sciences

L.D.Landau
INSTITUTE FOR
THEORETICAL
PHYSICS



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

01 Февраля 2017

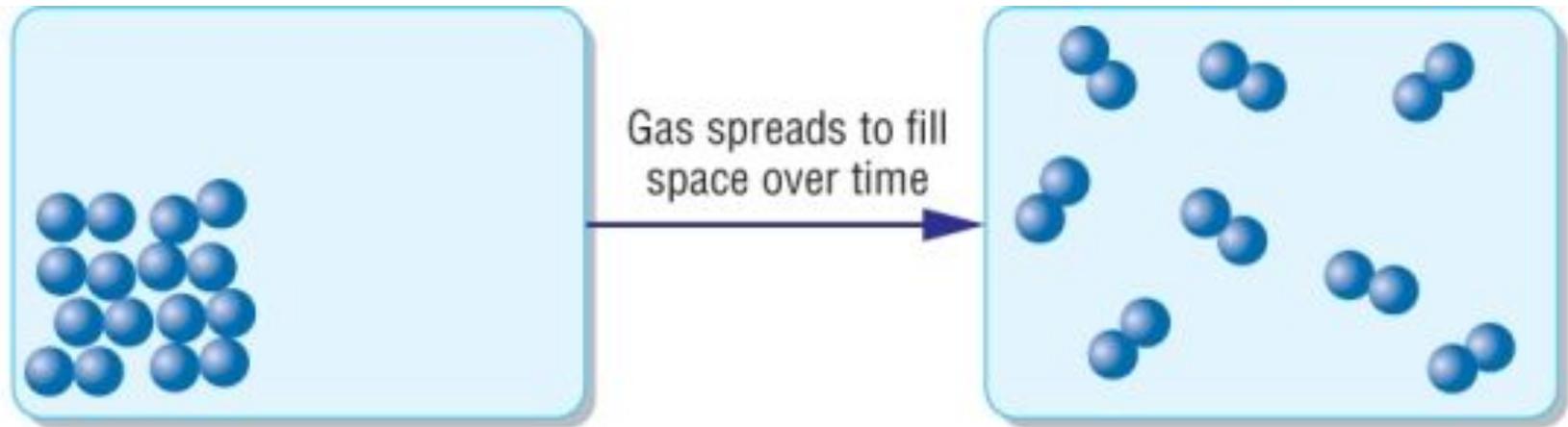
План семинара

- ▣ Энтропия идеального газа
- ▣ Теорема о равномерном распределении
- ▣ Уравнение состояния
- ▣ Основы воздухоплавания
- ▣ Погодные явления

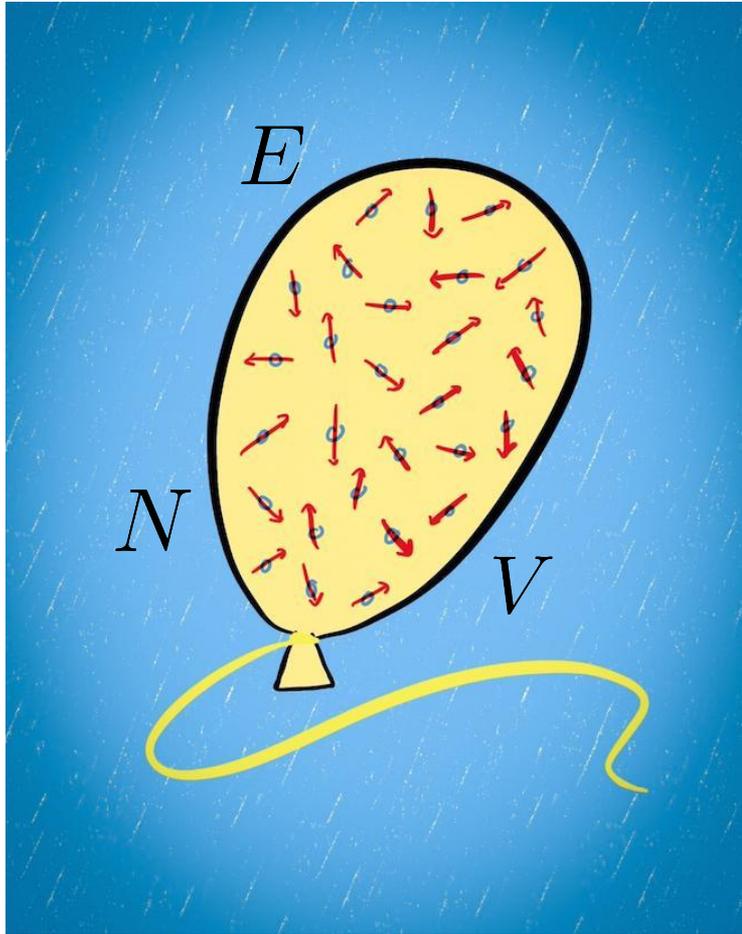
План семинара

- ▣ Энтропия идеального газа
- ▣ Теорема о равномерном распределении
- ▣ Уравнение состояния
- ▣ Основы воздухоплавания
- ▣ Погодные явления

Энтропия – мера беспорядка



Идеальный газ

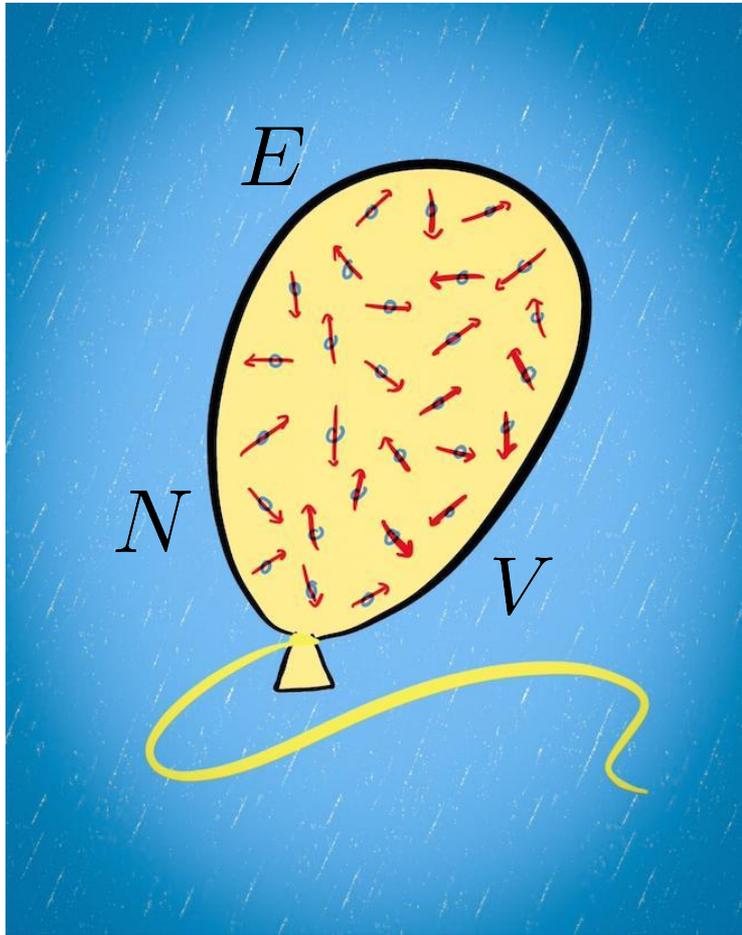


$$S = \ln \Delta\Gamma$$

обеспечивает
аддитивность

число
микросостояний

Идеальный газ



$$S = \ln \Delta\Gamma$$

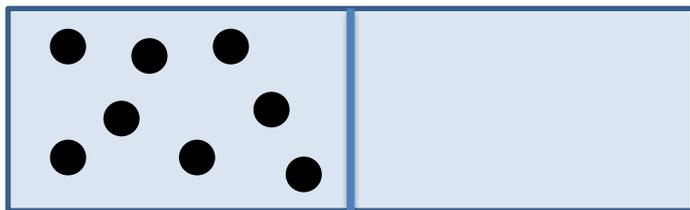
обеспечивает
аддитивность

число
микросостояний

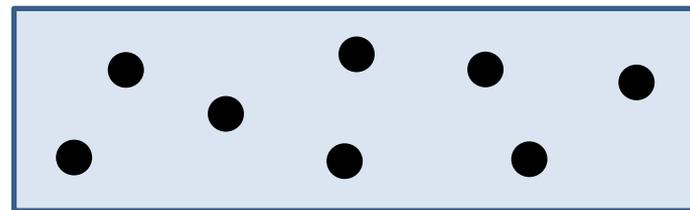
$$S(E, N, V) = N \ln \frac{V E^{3/2}}{N^{5/2}}$$

Вопрос?

Пусть объем идеального газа, состоящего из N атомов, удваивается при условии, что его энергия не изменяется (расширение газа в пустоту). Каково в этом случае будет изменение энтропии идеального газа?



(было
)



(стало
)

Основные соотношения

$$S(E, N, V) = N \ln \left[\frac{V}{N} \left(\frac{E}{N} \right)^{3/2} \right]$$

$$\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial E} \right)_V$$

$$P = T \left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_E$$

$$E = \frac{3}{2} NT$$

$$PV = NT$$

План семинара

- ▣ Энтропия идеального газа
- ▣ Теорема о равнораспределении
- ▣ Уравнение состояния
- ▣ Основы воздухоплавания
- ▣ Погодные явления

Одноатомный газ

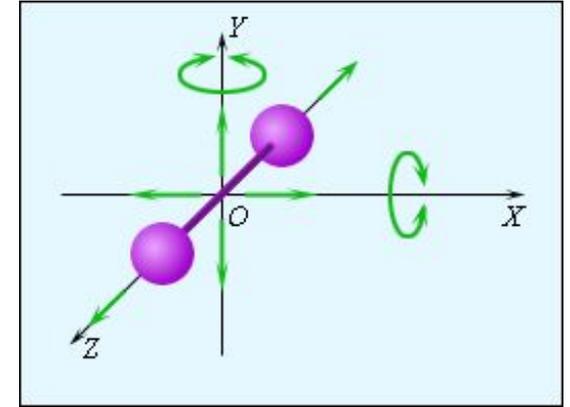
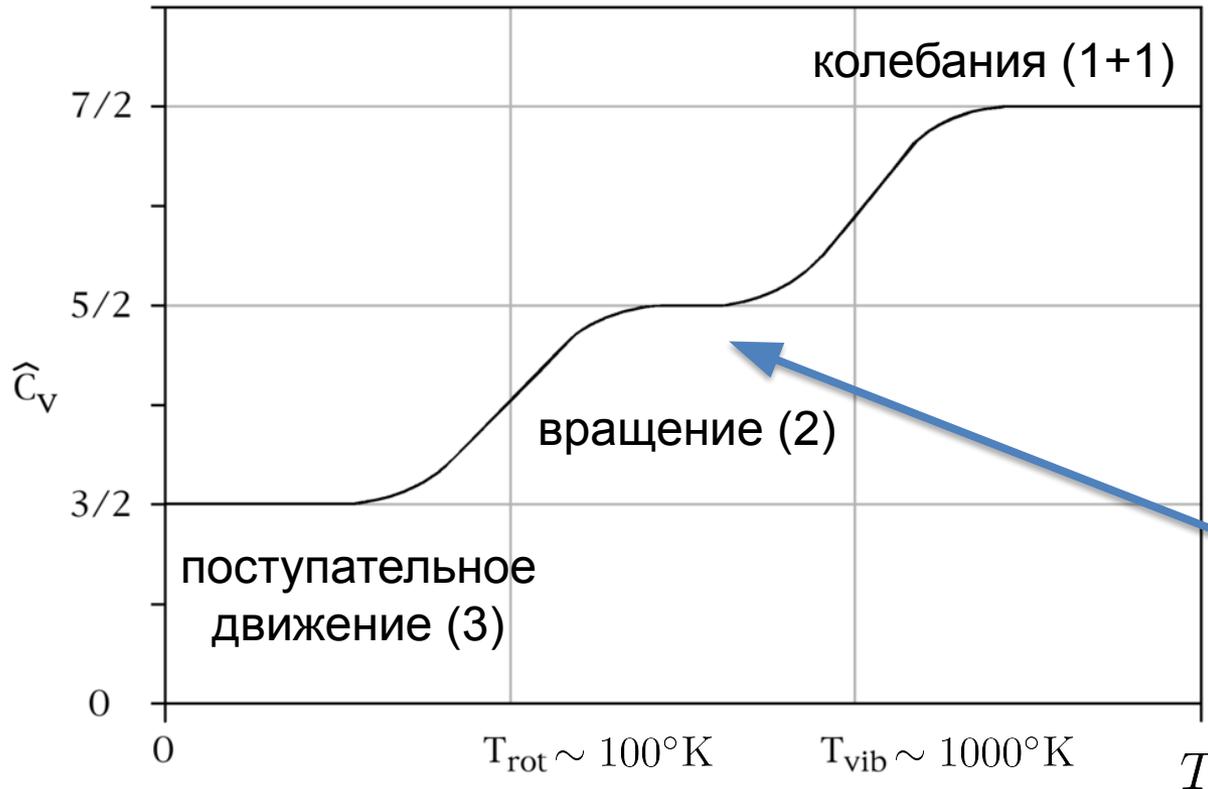
$$E = \frac{3}{2}NT \quad \longrightarrow \quad \frac{E}{N} = \frac{3}{2}kT$$

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

В **тепловом равновесии** на каждую степень свободы приходится энергия $kT/2$.

Одноатомный газ – три поступательных степени свободы.

Двухатомный газ

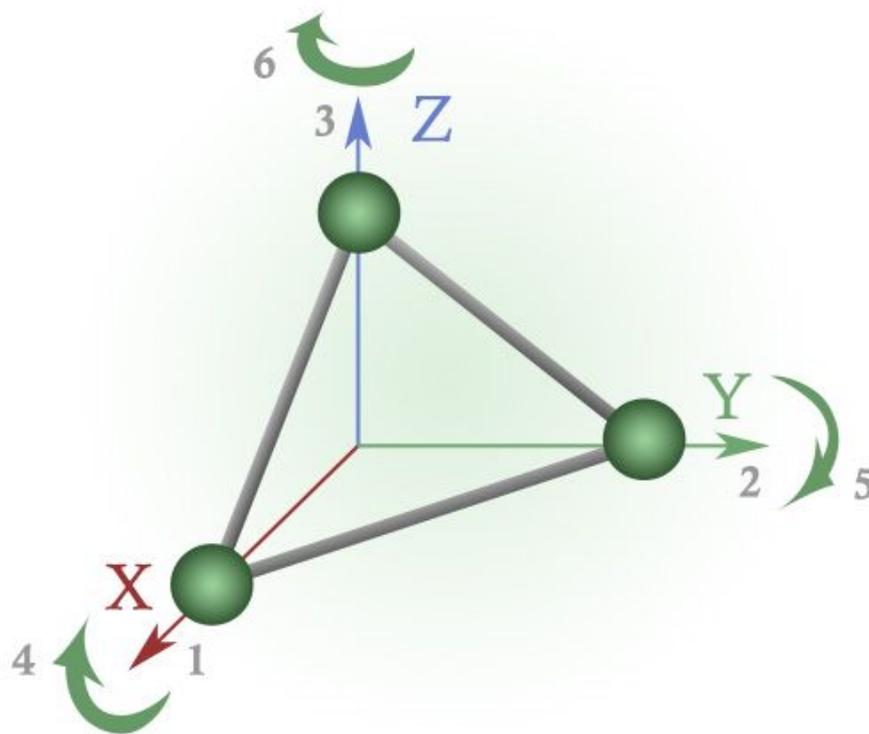


$$E = \frac{5}{2} NkT$$

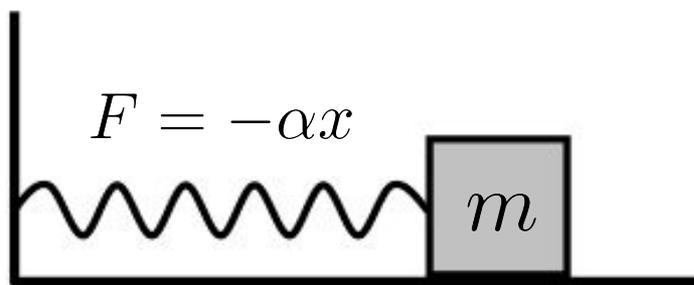
Воздух главным образом состоит из азота и кислорода – двухатомный газ.

Вопрос?

Как энергия многоатомного газа зависит от температуры окружающей среды? Какие степени свободы при этом ϵ



Вопрос?

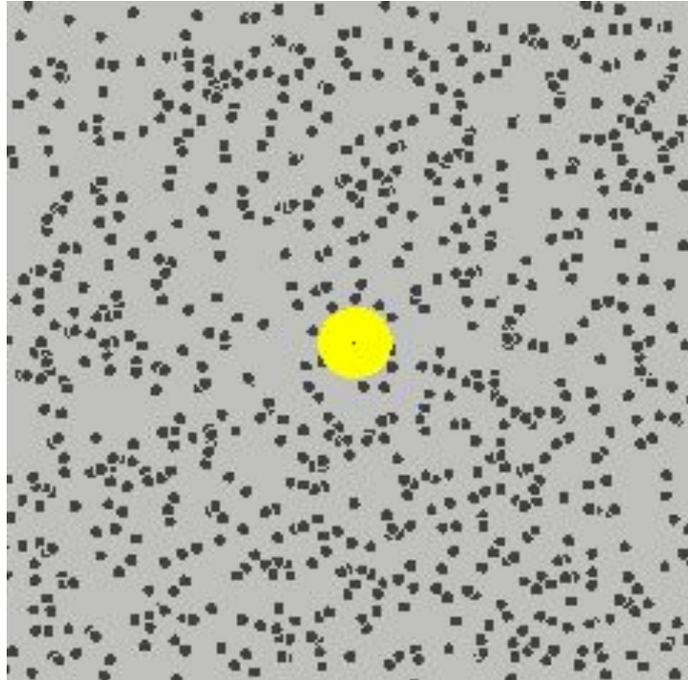


$$\langle x^2 \rangle = ?$$

T

Груз на пружинке с жесткостью α находится в термостате с температурой T . Определить среднеквадратичное отклонение груза от положения равновесия. Трением пренебречь.

Броуновское движение

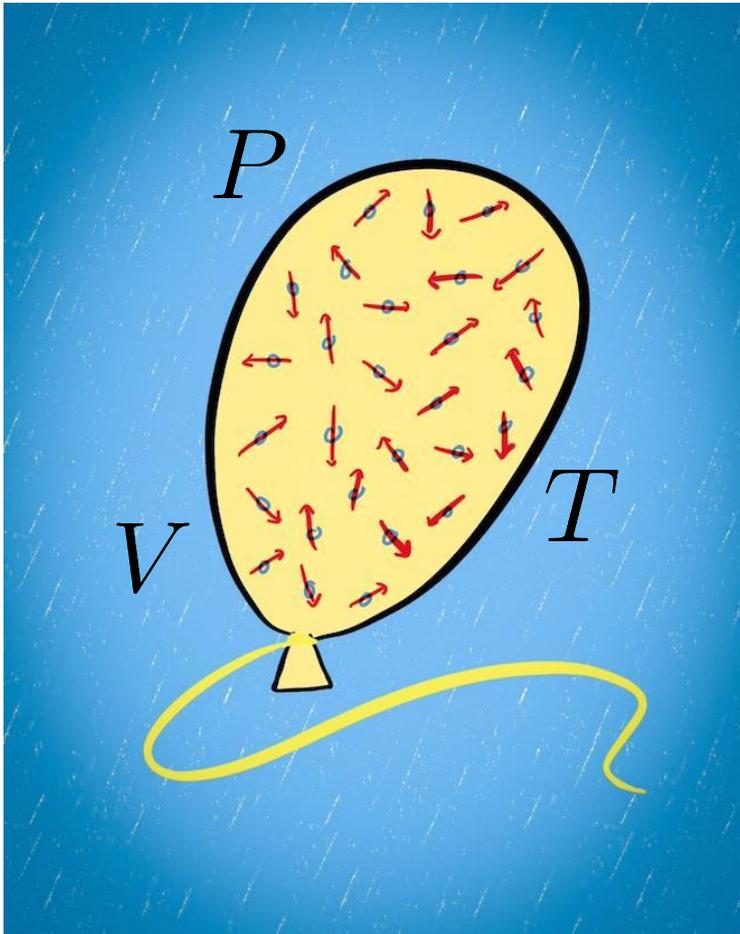


Беспорядочное движение микроскопических видимых взвешенных в жидкости или газе частиц твёрдого вещества, вызываемое тепловым движением частиц жидкости или газа.

План семинара

- Энтропия идеального газа
- Теорема о равномерном распределении
- **Уравнение состояния**
- Основы воздухоплавания
- Погодные явления

Уравнение Менделеева-Клапейрона



$$PV = NkT$$

$$N = \nu N_A, \quad N_A = 6.02 \times 10^{23}$$

число
молей

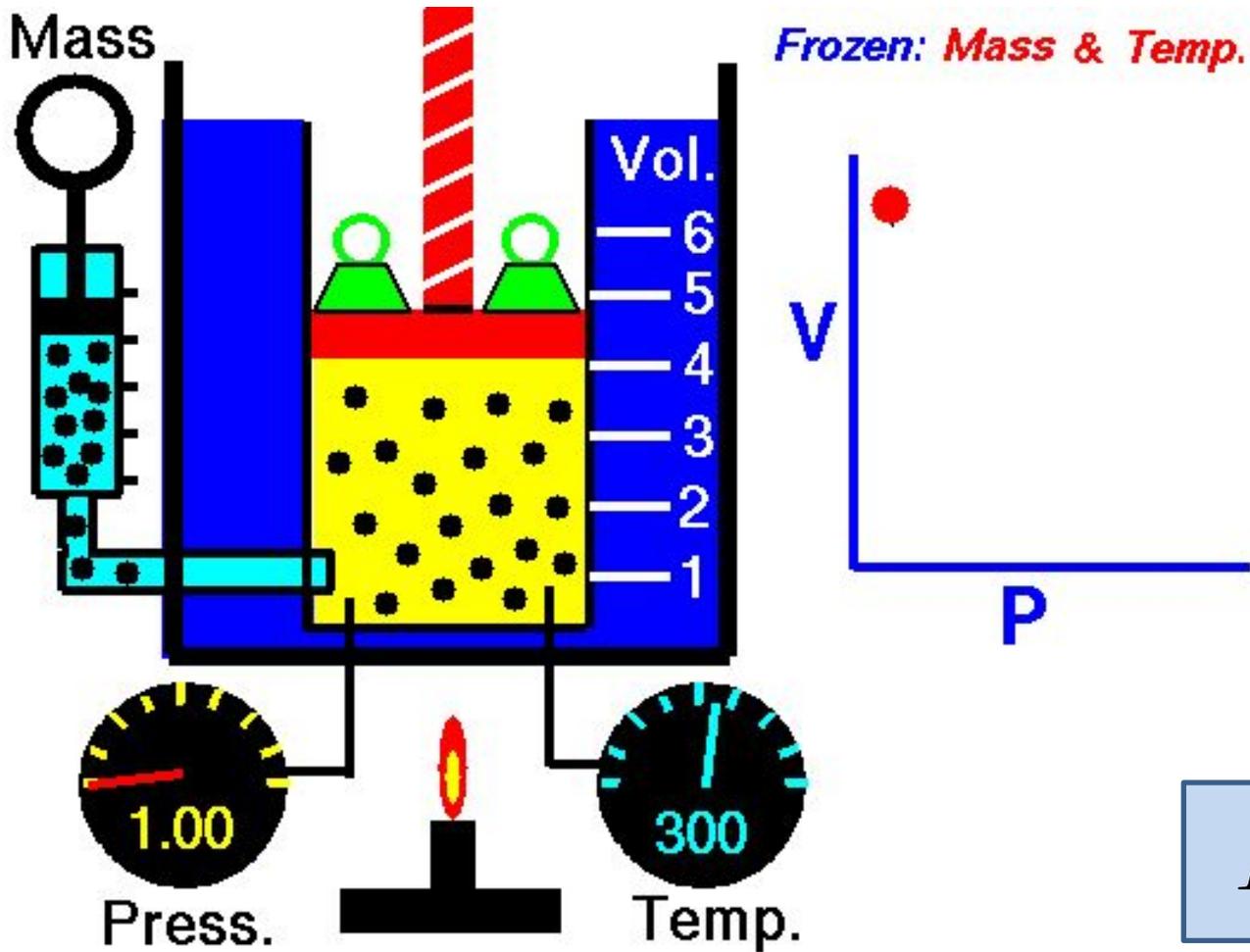
число Авогадро

$$R = N_A k = 8.3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

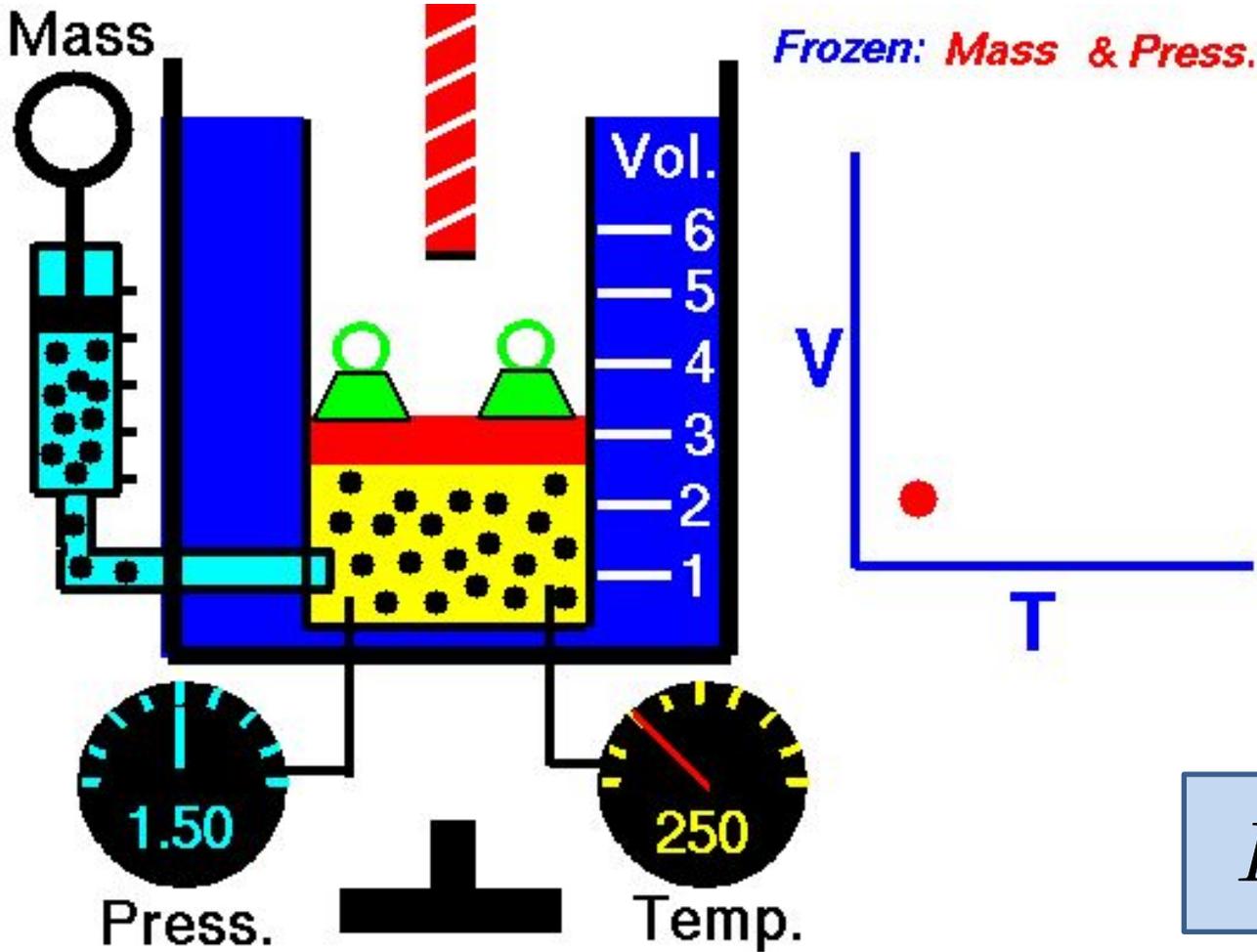
универсальная газовая
постоянная

$$PV = \nu RT$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона

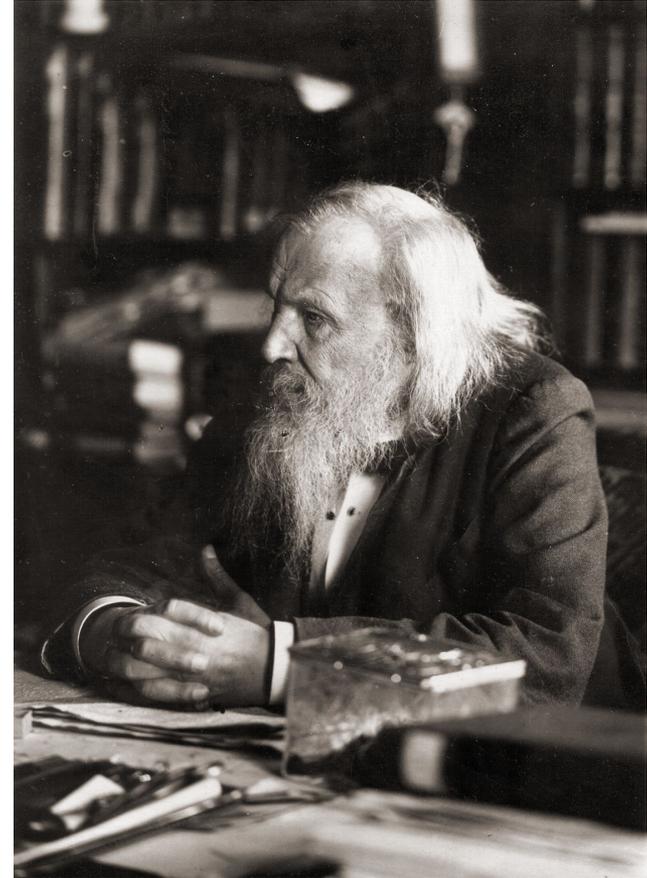


Уравнение Менделеева-Клапейрона



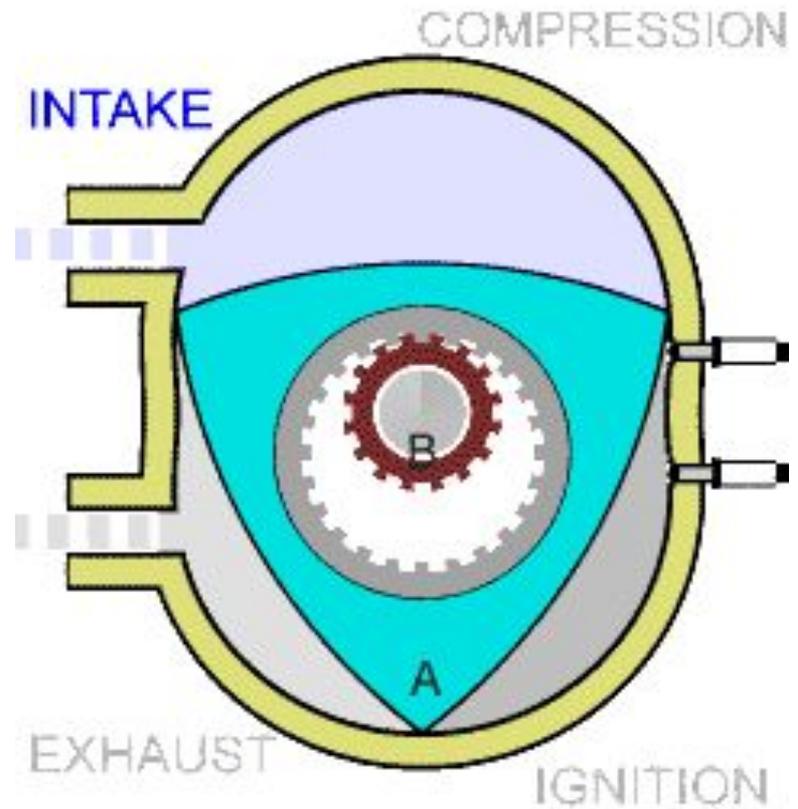
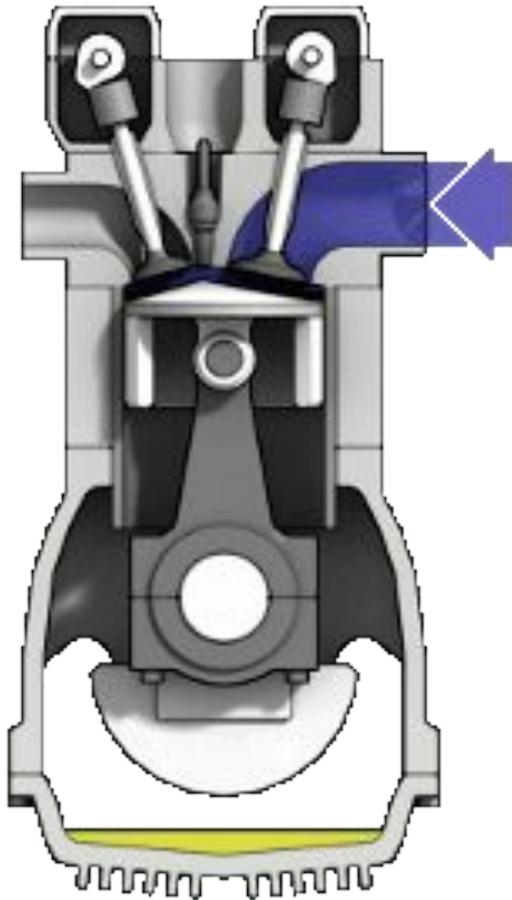
$$PV = \nu RT$$

Вопрос?



Двигатели внутреннего сгорания

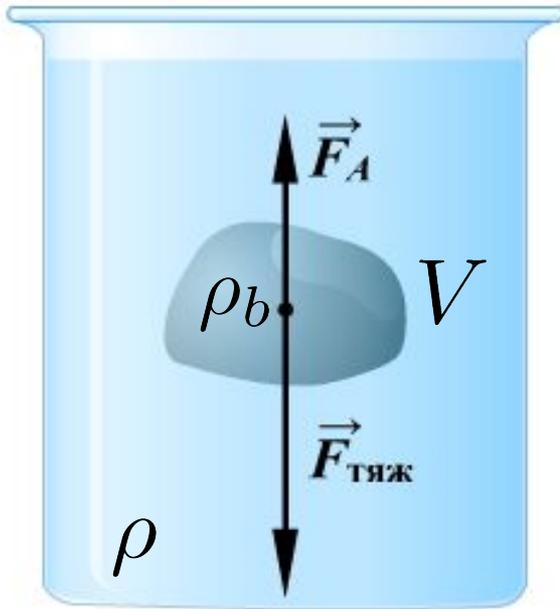
1



План семинара

- Энтропия идеального газа
- Теорема о равномерном распределении
- Уравнение состояния
- **Основы воздухоплавания**
- Погодные явления

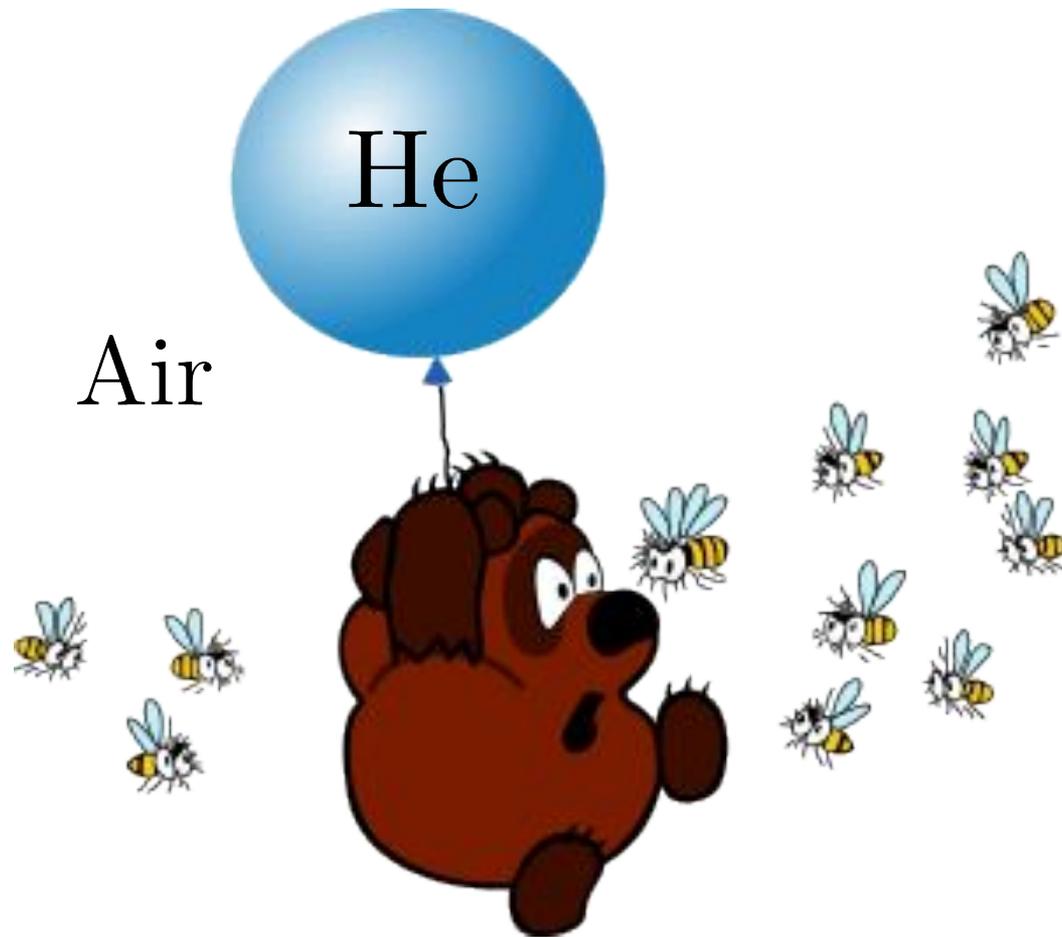
Закон Архимеда



$$F_A = \rho V g$$

$$F = mg = \rho_b V g$$

Закон Архимеда



Уравнение состояния

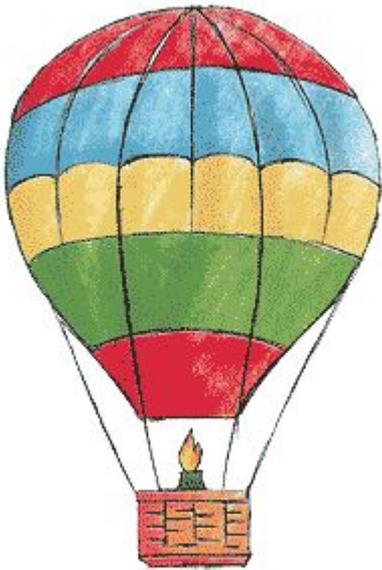
$$PV = \nu RT \quad \longrightarrow \quad P = \frac{\nu \mu}{V} \frac{R}{\mu} T = \rho \bar{R} T$$

$\mu = 29 \text{ g/mol}$ --- молярная масса
воздуха

Уравнение состояния

$$PV = \nu RT \quad \longrightarrow \quad P = \frac{\nu \mu}{V} \frac{R}{\mu} T = \rho \bar{R} T$$

$\mu = 29 \text{ g/mol}$ --- молярная масса воздуха



$$P_{in} = P_{out}$$

$$T_{in} > T_{out}$$



$$\rho_{in} < \rho_{out}$$

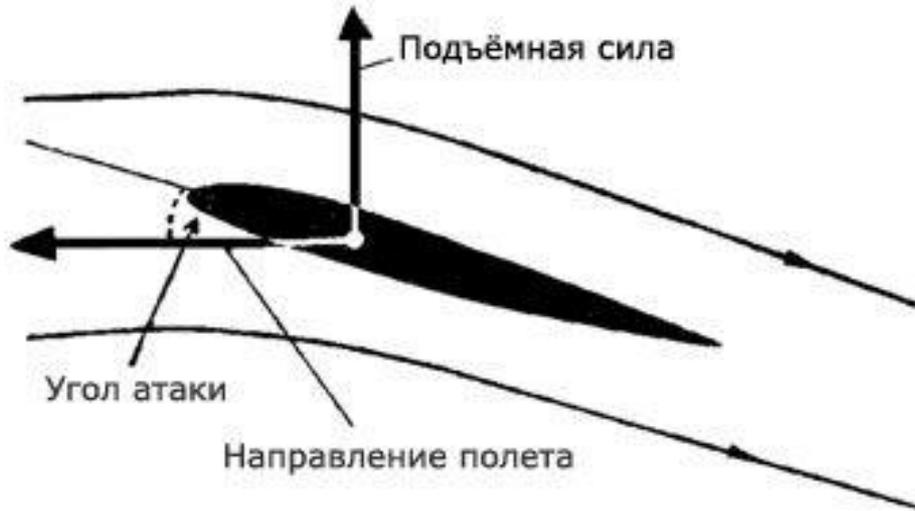
теплый воздух легче холодного --- поднимается вверх

Вопрос?

Объем воздушного шара равен $V = 230 \text{ м}^3$, масса оболочки $M = 145 \text{ кг}$. Шар наполнен горячим воздухом при нормальном атмосферном давлении. Какую температуру должен иметь воздух внутри оболочки, чтобы шар начал подниматься? Температура наружного воздуха $t_0 = 0 \text{ °С}$.



Самолет и ракета



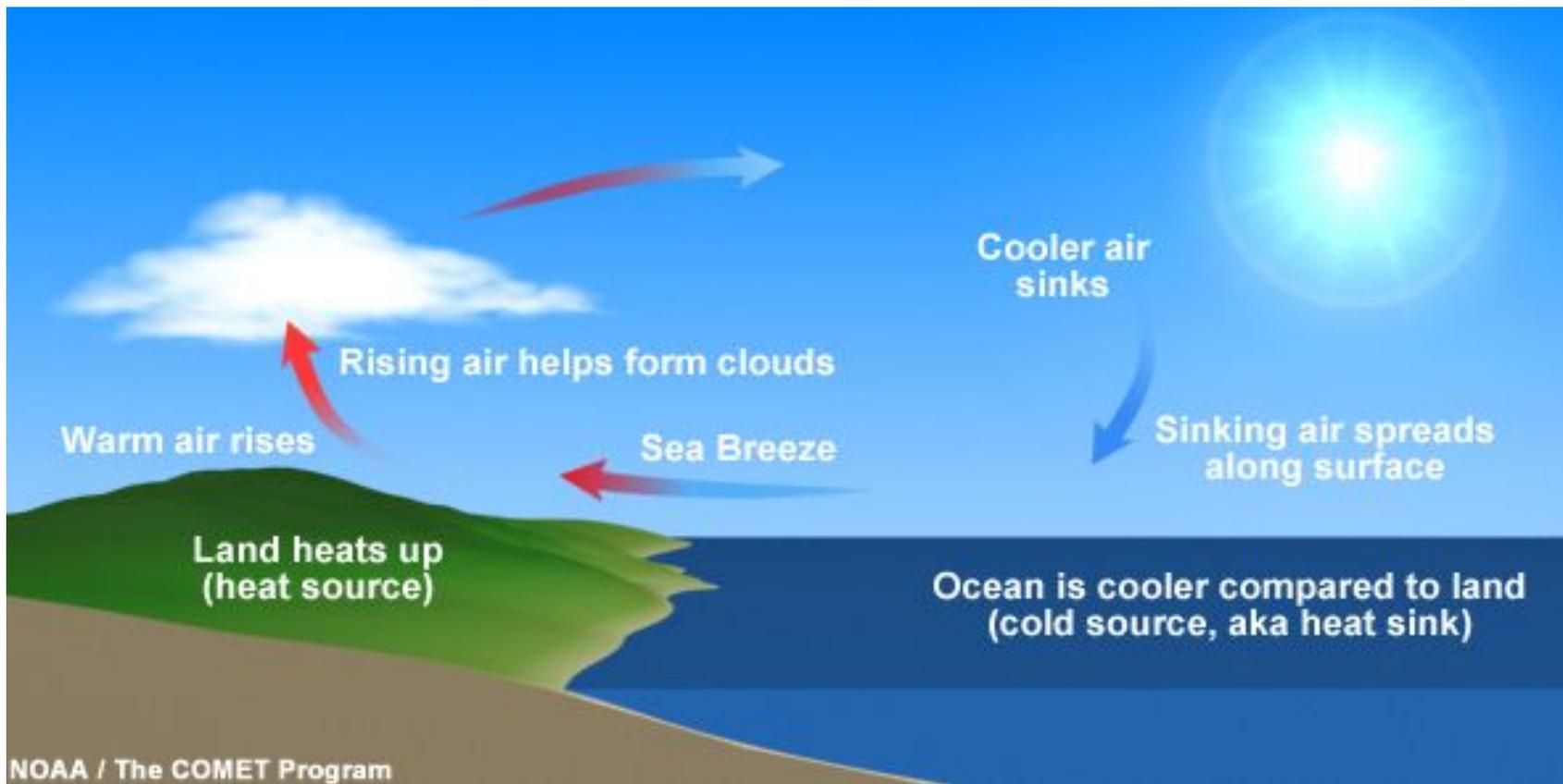
<https://geektimes.ru/post/279734/>



План семинара

- ▣ Энтропия идеального газа
- ▣ Теорема о равномерном распределении
- ▣ Уравнение состояния
- ▣ Основы воздухоплавания
- ▣ **Погодные явления**

Бриз



Облака и дождь

<https://www.youtube.com/watch?v=uPhjFqqnJbc>