

# Семинар 3: Энтропия и уравнение состояния идеального газа

Парфеньев

Владимир

[parfenius@gmail.com](mailto:parfenius@gmail.com)

Russian Academy of Sciences

*L.D.Landau*  
INSTITUTE FOR  
THEORETICAL  
PHYSICS



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

01 Февраля 2017

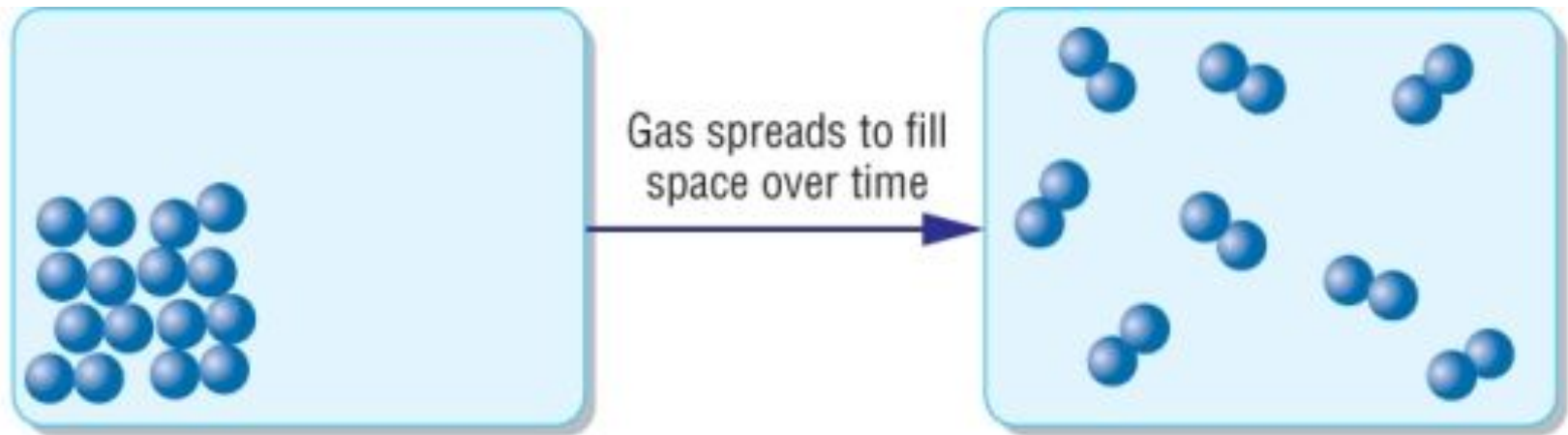
# План семинара

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

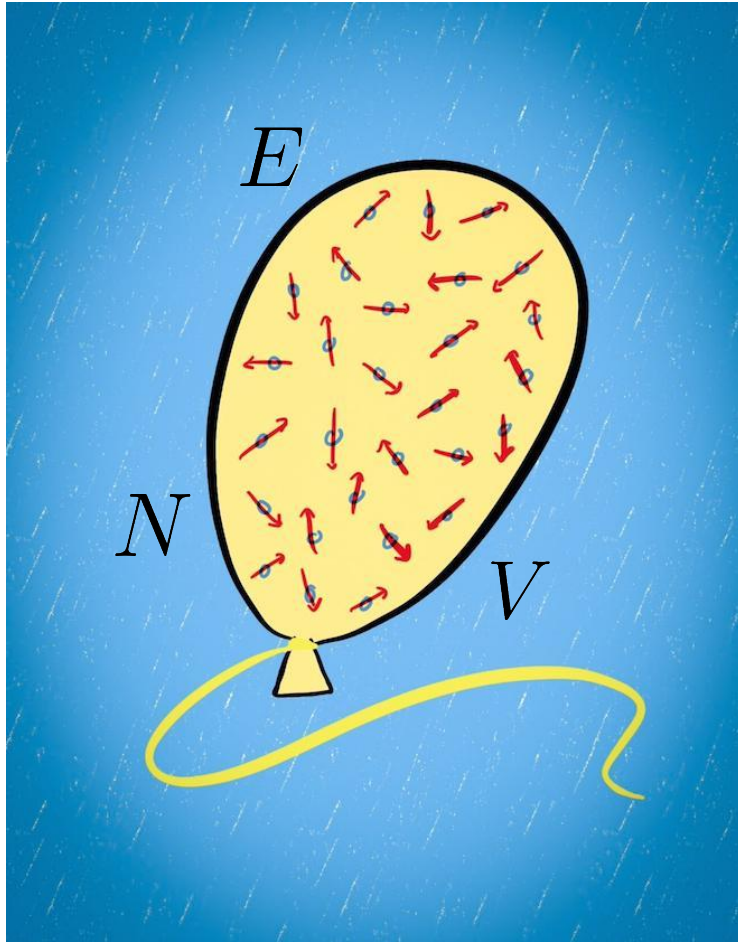
# План семинара

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

# Энтропия – мера беспорядка



# Идеальный газ

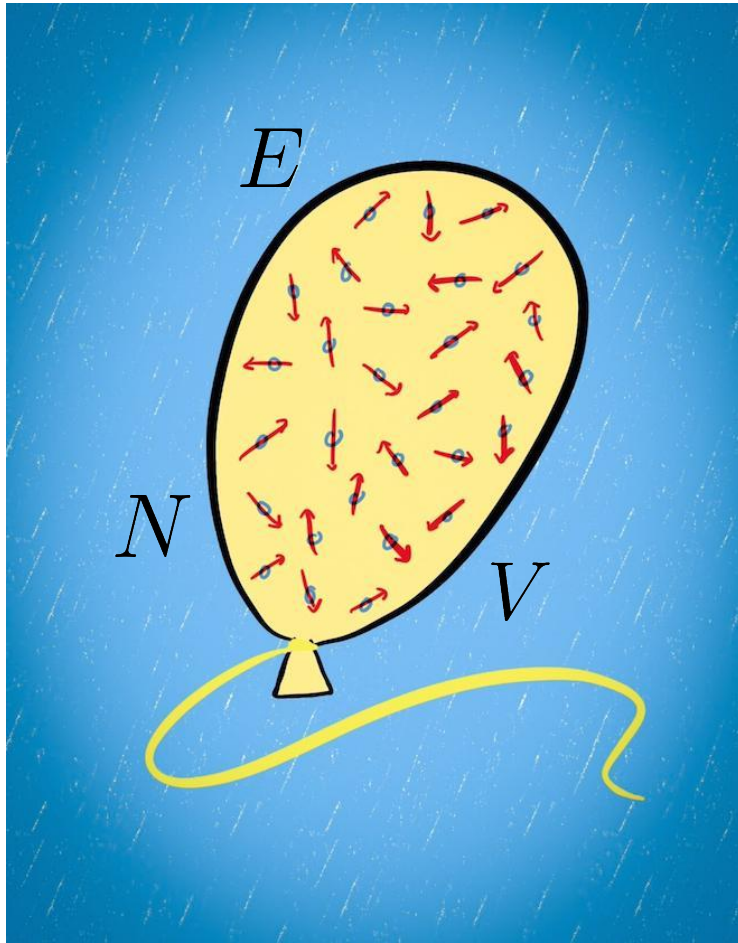


$$S = \ln \Delta\Gamma$$

обеспечивает  
аддитивность

число  
микросостояний

# Идеальный газ



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

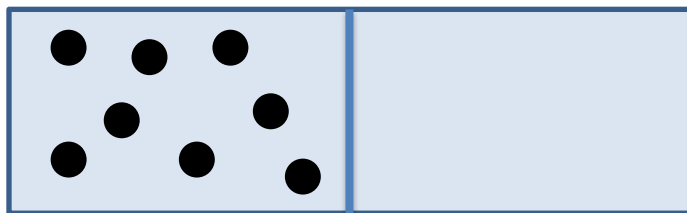
обеспечивает  
аддитивность

число  
микросостояний

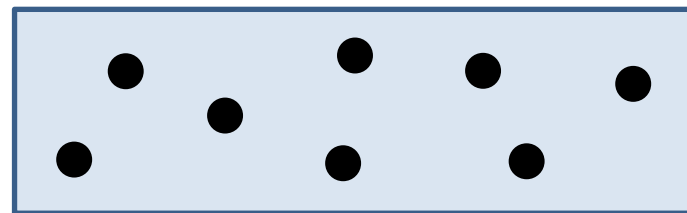
$$S(E, N, V) = N \ln \frac{V E^{3/2}}{N^{5/2}}$$

# 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 равномерном распределении
- ▣ Уравнение состояния
- ▣ Основы воздухоплавания
- ▣ Погодные явления

# Одноатомный газ

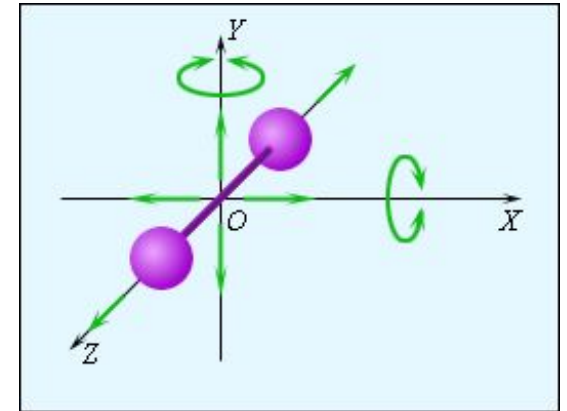
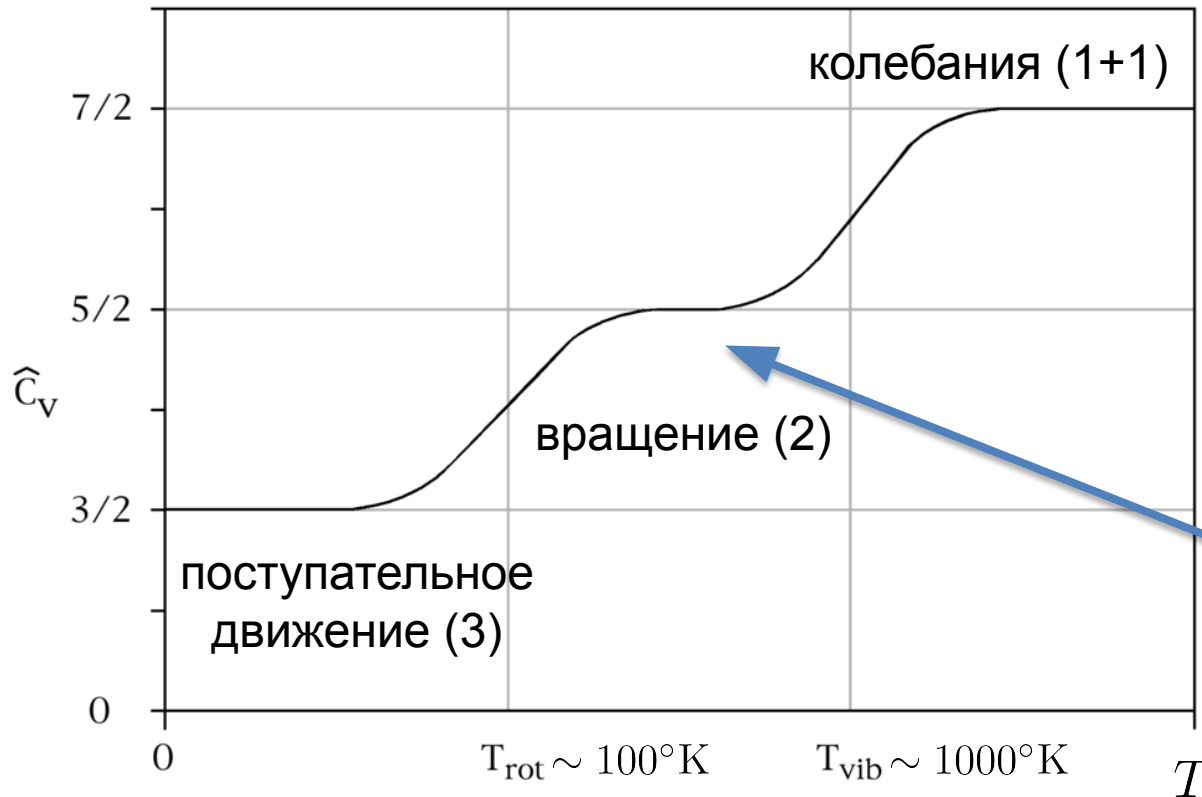
$$E = \frac{3}{2}NT \quad \longrightarrow \quad \frac{E}{N} = \frac{3}{2}kT$$

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

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

Одноатомный газ – три поступательных степени свободы.

# Двухатомный газ

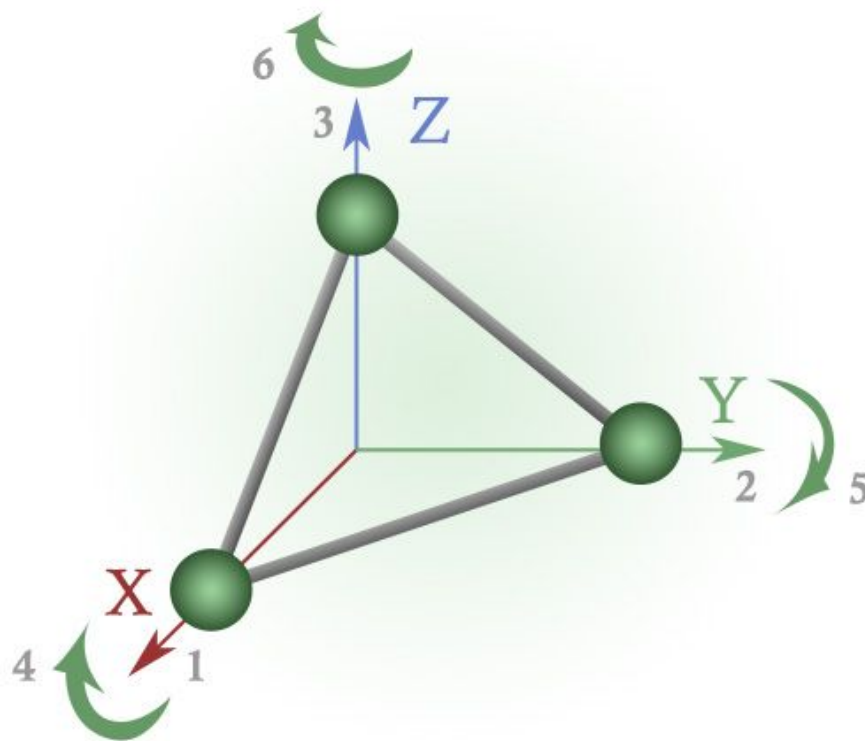


$$E = \frac{5}{2} NkT$$

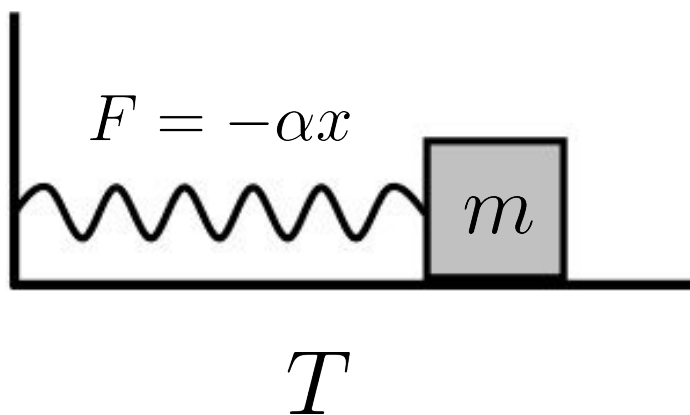
Воздух главным образом состоит из азота и кислорода – двухатомный газ.

# Вопрос?

Как энергия многоатомного газа зависит от температуры окружающей среды? Какие степени свободы при этом  $\epsilon$



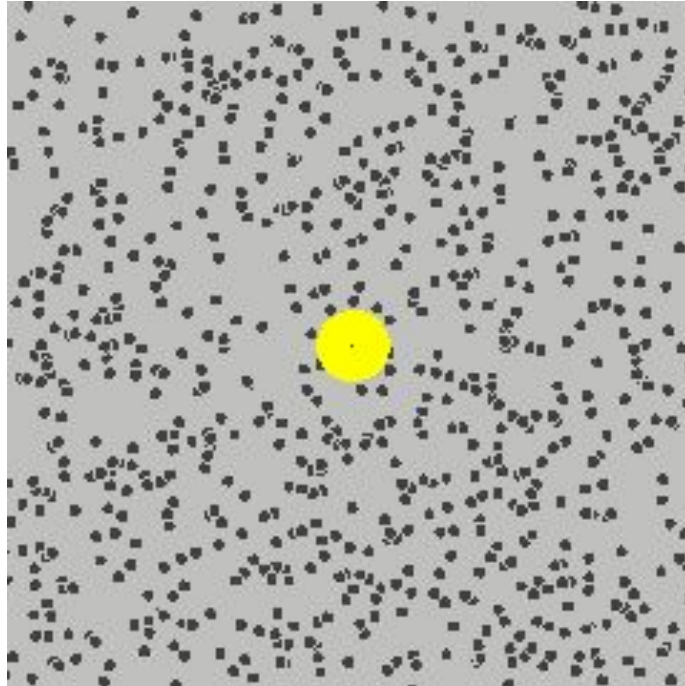
# Вопрос?



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

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

# Броуновское движение

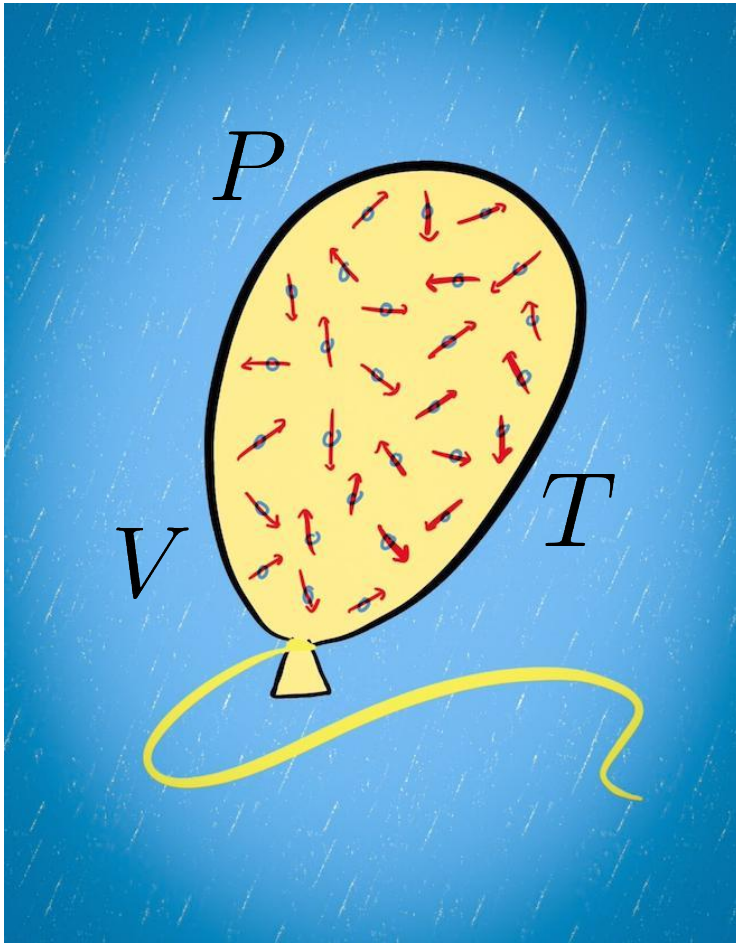


Беспорядочное движение микроскопических видимых взвешенных в жидкости или газе частиц твёрдого вещества, вызываемое тепловым движением частиц жидкости или газа.

# 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

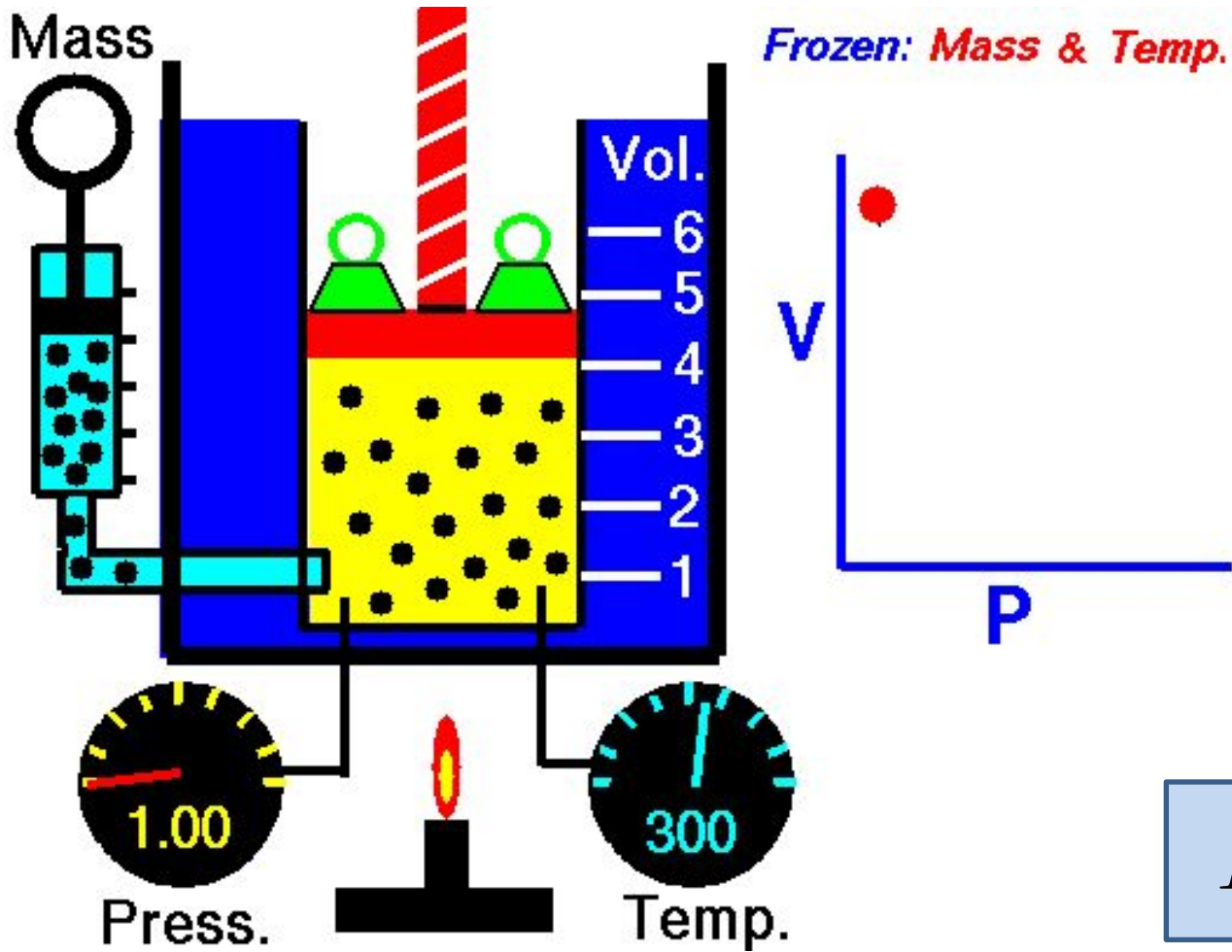
$$R = N_A k = 8.3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

универсальная газовая  
постоянная

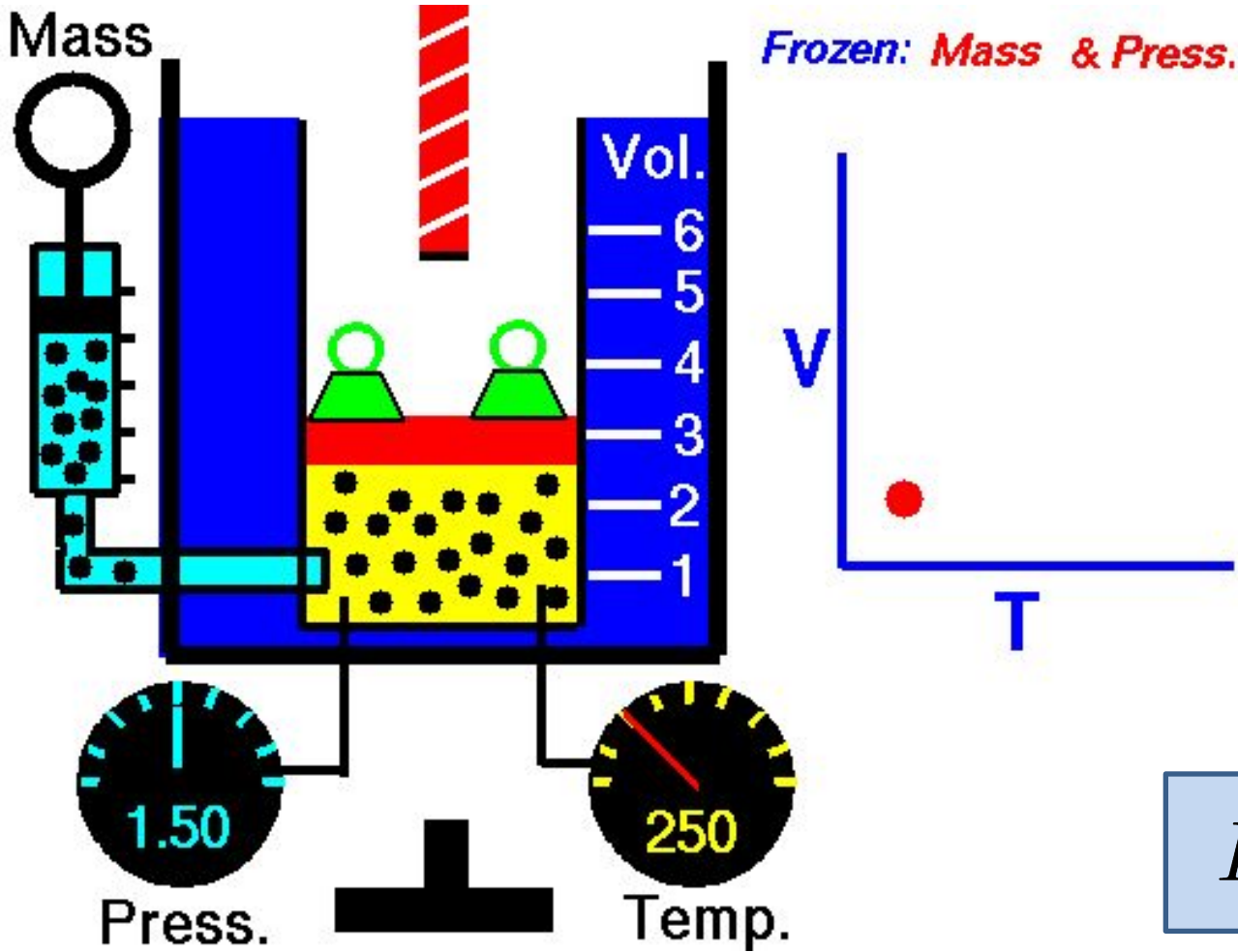
$$PV = \nu RT$$



# Уравнение Менделеева-Клапейрона

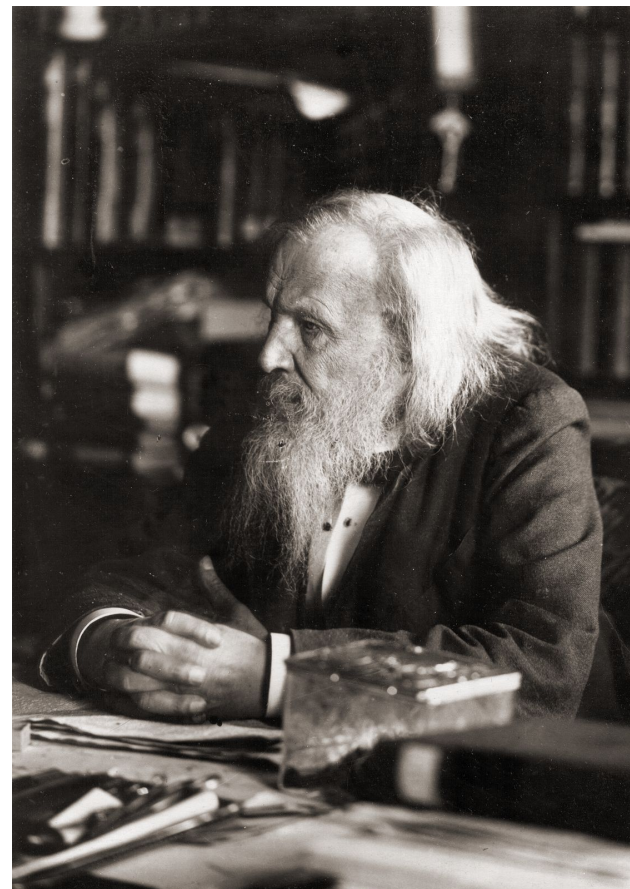


# Уравнение Менделеева-Клапейрона



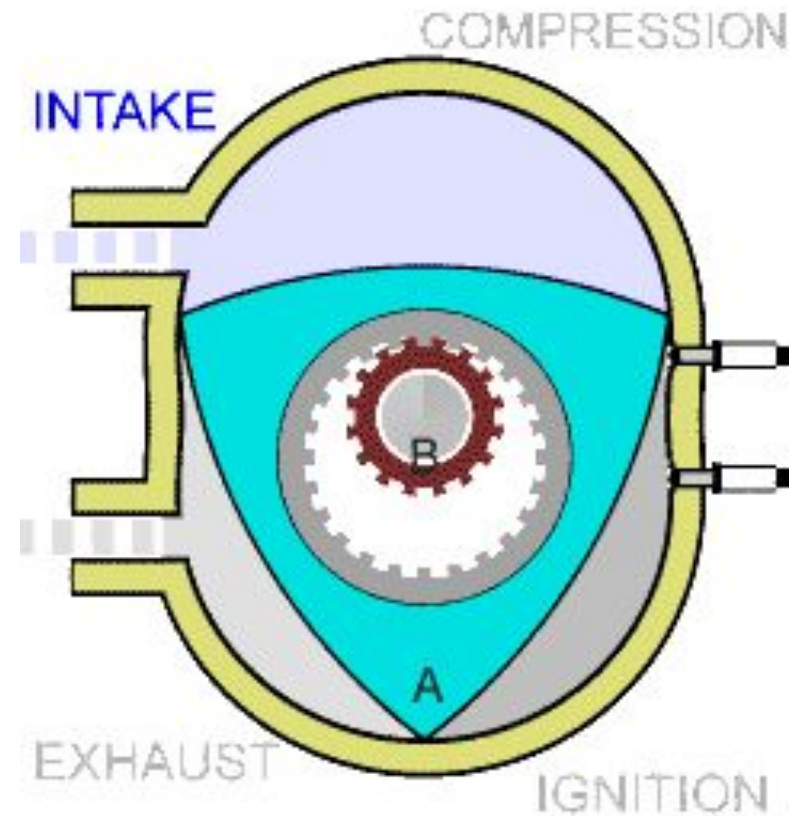
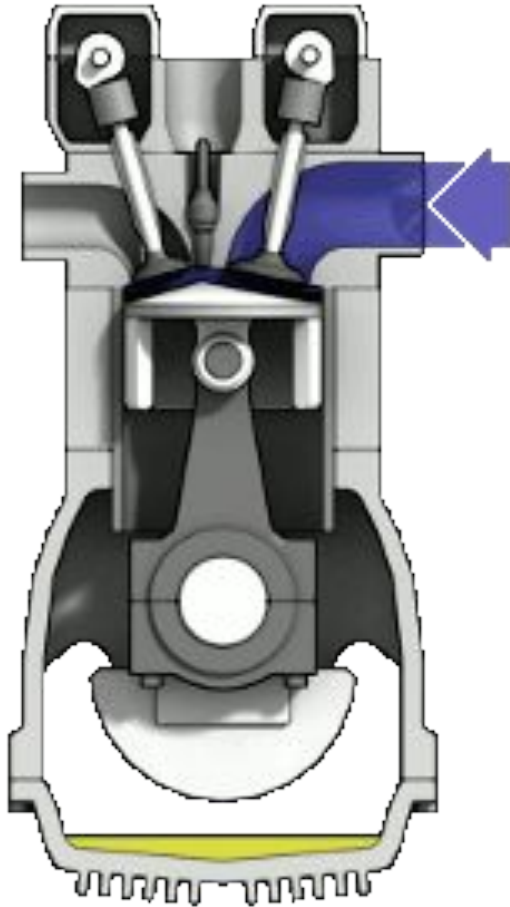
$$PV = \nu RT$$

# Вопрос?



# Двигатели внутреннего сгорания

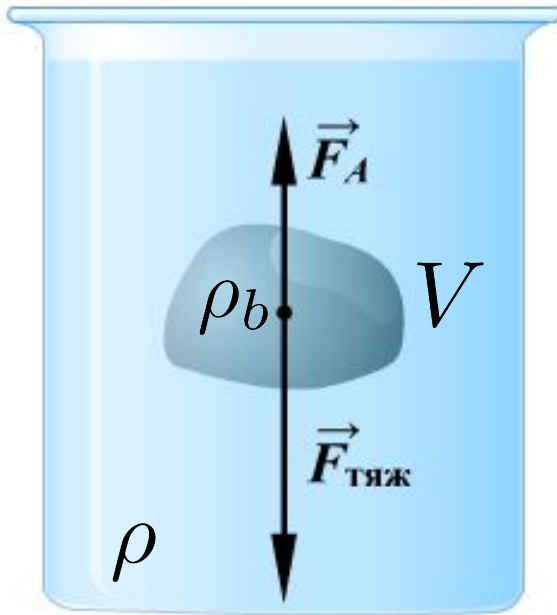
1



# План семинара

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

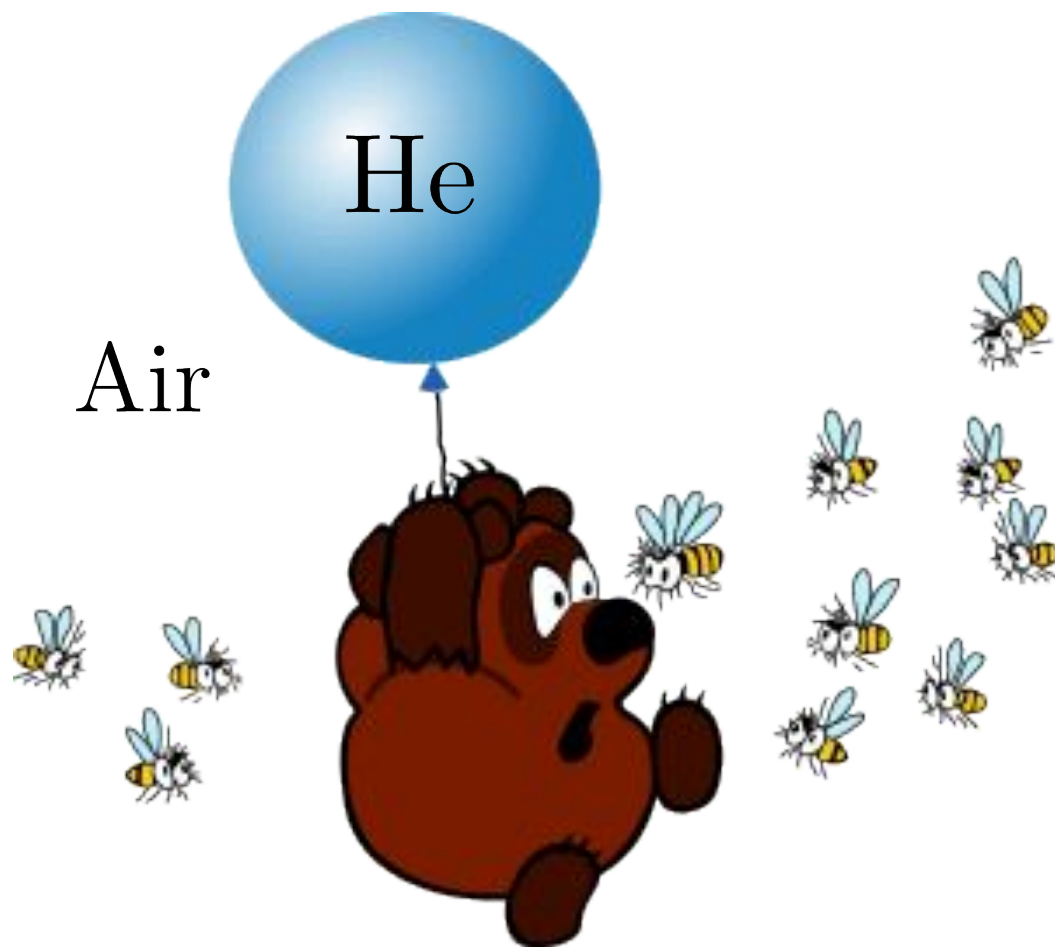
# Закон Архимеда



$$F_A = \rho V g$$

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

# Закон Архимеда



# Уравнение состояния

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

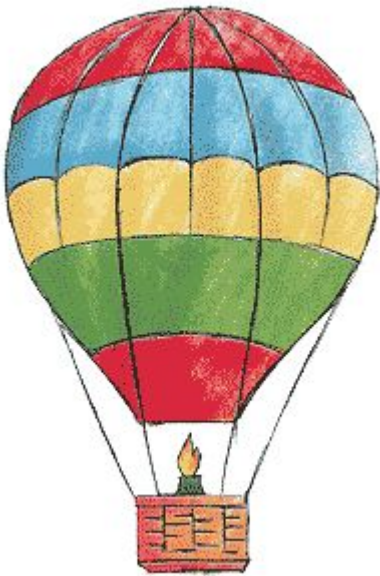
$\mu = 29 \text{ g/mol}$  --- молярная масса  
воздуха



# 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



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

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



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

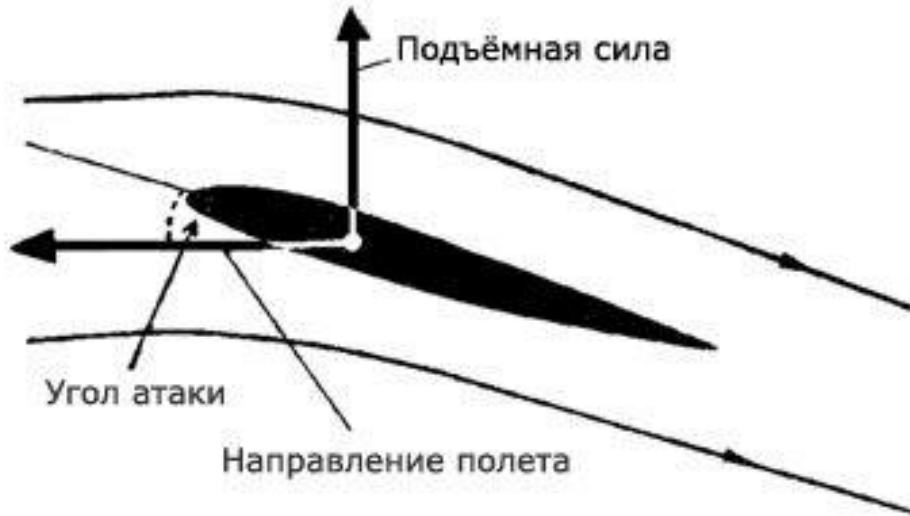
теплый воздух легче холодного --- поднимается вверх

# 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  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .



# Самолет и ракета



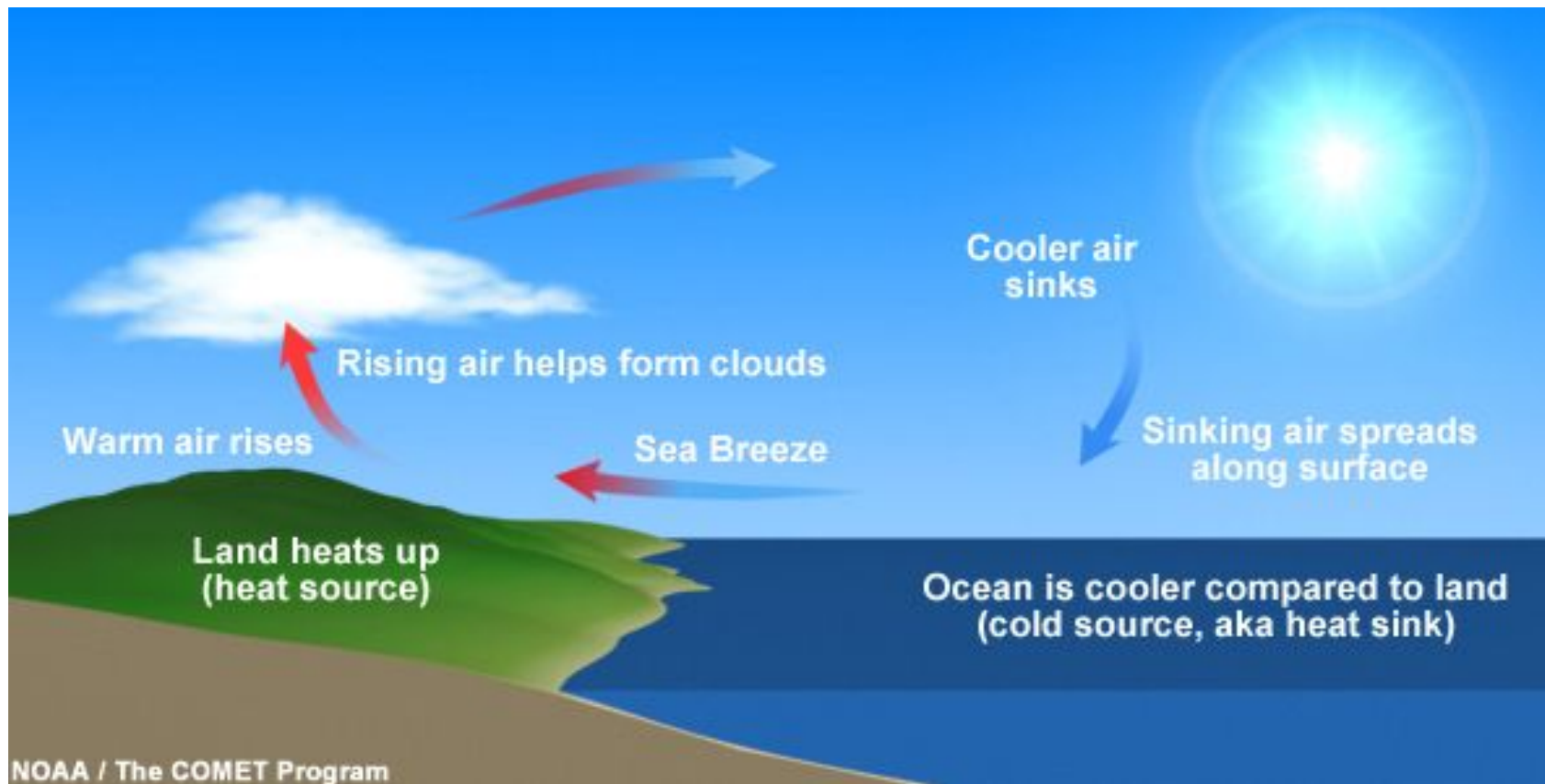
<https://geektimes.ru/post/279734/>



# 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>