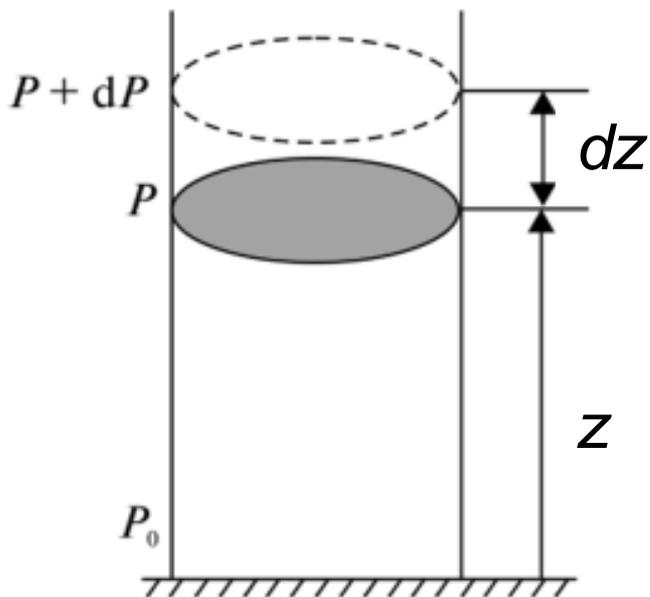


Распределение Больцмана

- **Распределение Больцмана**
- **Опыт Перрена**
- **Распределение Максвелла–Больцмана**

Распределение Больцмана

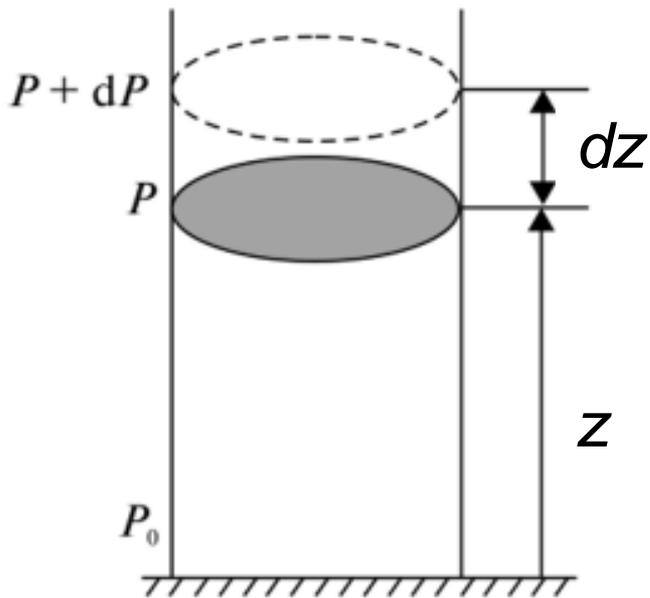


Если молекулы идеального газа, находятся при температуре T в потенциальном поле, то вероятность $dP_B(x, y, z)$, с которой молекула газа, обладающая потенциальной энергией $U(x, y, z)$, имеет координаты в интервале значений $(x, x+dx)$, $(y, y+dy)$, $(z, z+dz)$ описывается распределением Больцмана.

$$dP_B(x, y, z) = A \exp\left(-\frac{U(x, y, z)}{k_B T}\right) dx dy dz$$

Константа A находится из условия нормировки распределения.

Распределение Больцмана



- Вероятность нахождения частицы в фазовом объеме (распределение Гиббса)

$$dP = A \exp\{-E/KT\} d\Gamma$$

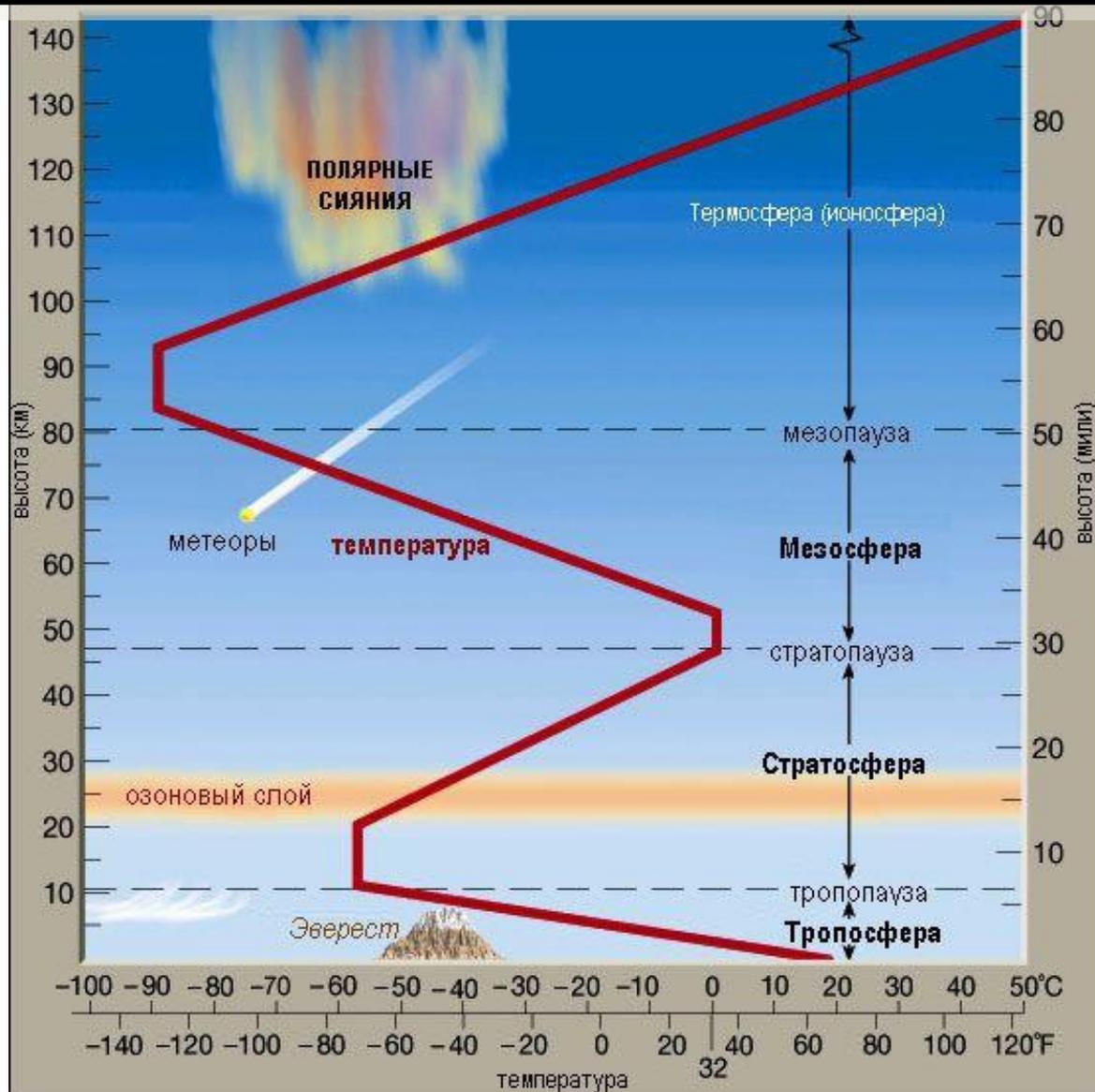
- Рассмотрим идеальный газ, находящийся в термодинамическом равновесии при некоторой температуре T .

- Будем считать поле силы тяжести однородным.

$$n(z) = n(0) \cdot \exp\left(-\frac{mgz}{k_B T}\right) \quad U(z) = mgz$$

- Средняя энергия

Изменение температуры с высотой



Изменение атмосферного давления с высотой

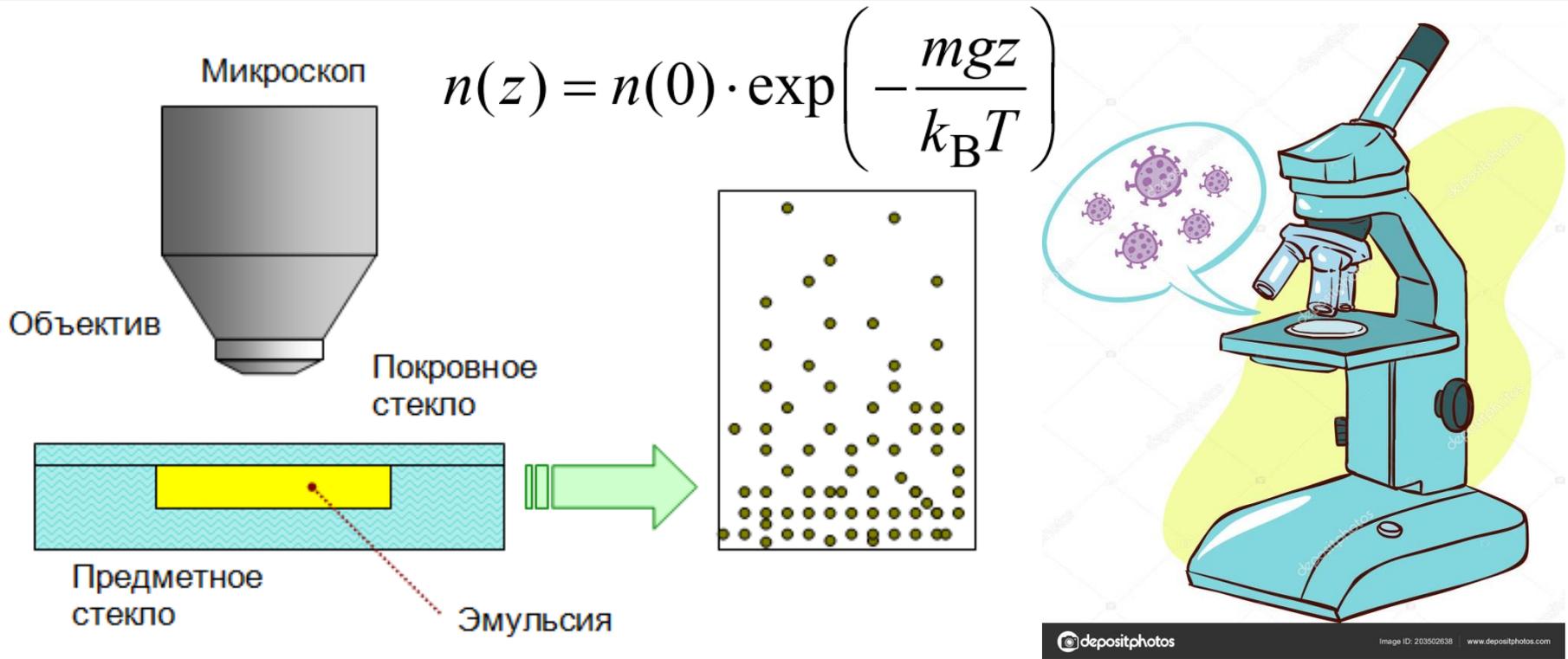


На 100 м подъема давление падает на 10 мм рт.ст.



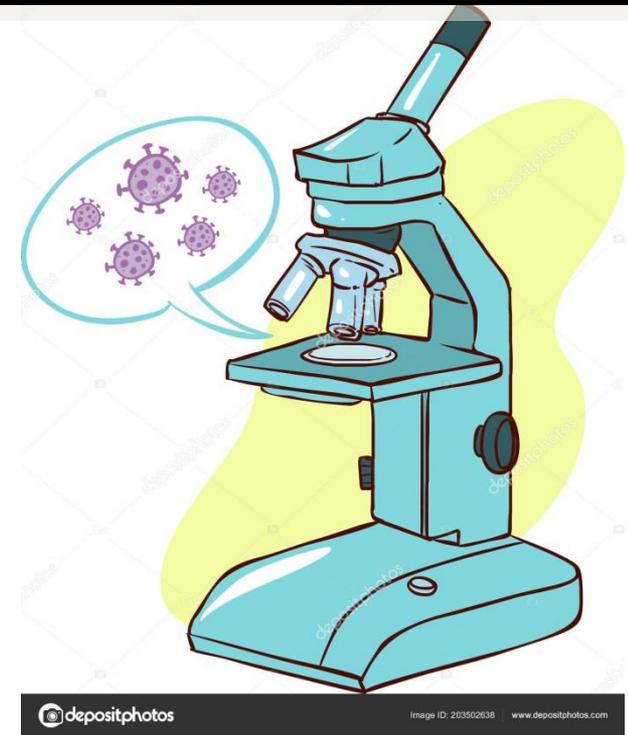
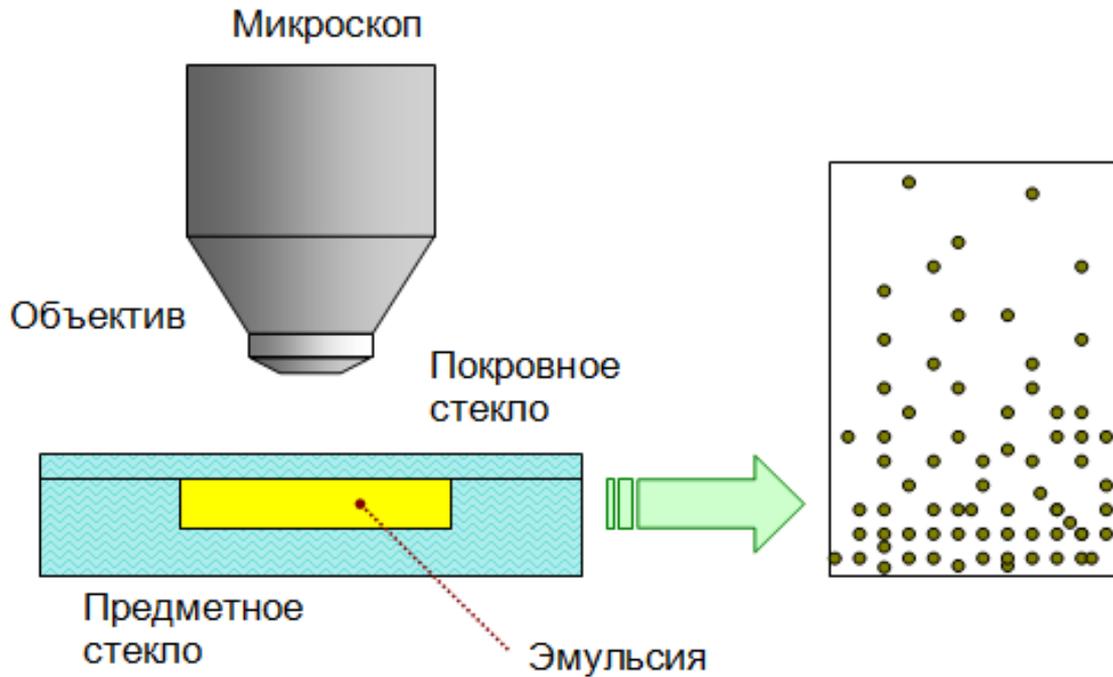
- С высоты 2000 м на 150 м подъема -10 мм рт.ст.;
- 6000 м на 200 м подъема – 10 мм.рт.ст.
- На высоте 10000 м атмосферное давление 217 мм рт.ст.
- На высоте 20000 м 51 мм рт.ст.

Опыт Перрена



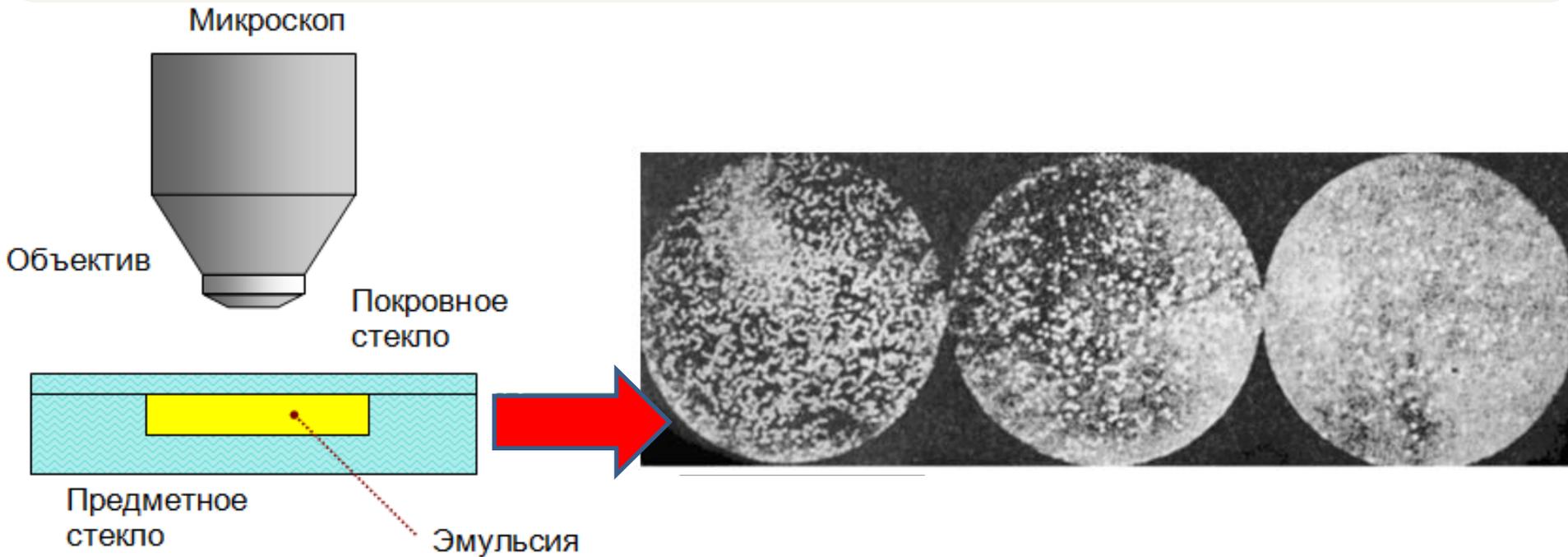
- **Эмульсия** представляла собой взвесь одинаковых сферических частиц специального древесного сока или смолы (гуммигута) в воде. Размер этих частиц (около 0,4 мкм) позволял наблюдать их в микроскоп.

Опыт Перрена



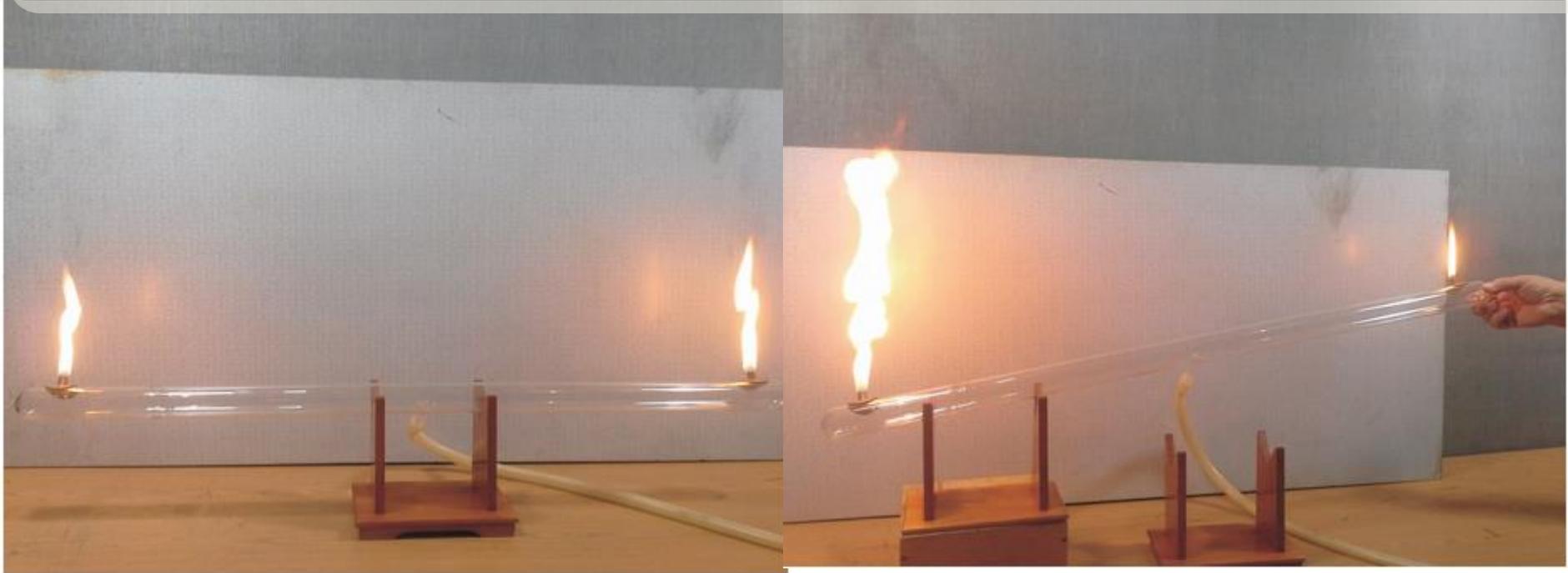
- Под микроскопом исследовалось броуновское движение частиц, которые распределялись по высоте подобно молекулам газа в поле тяготения.
- Микроскоп наводился на верхний слой эмульсии, делали через микроскоп мгновенную фотографию, подсчитывали число броуновских частиц на фотографии.

Опыт Перрена



Далее тубус микроскопа опускали на 0,01 мм, снова фотографировали и подсчитывали число броуновских частиц на фотографии. Оказалось, что на дне сосуда броуновских частиц больше, на поверхности эмульсии меньше, а в целом распределение броуновских частиц по высоте соответствует распределению Больцмана.

Распределение Больцмана



В середине запаянной с обоих концов стеклянной трубки есть боковой патрубков, через который в трубку под давлением несколько большим атмосферного поступает пропан C_3H_8 , имеющий молярную массу 44,1 г/моль.

Распределение Максвелла–Больцмана

- Распределения Максвелла и Больцмана взаимосвязаны и являются составными частями распределения Гиббса.
- Итак, закон Максвелла даёт распределение частиц по значениям кинетической энергии, а закон Больцмана – распределение частиц по значениям потенциальной энергии.
- Оба распределения можно объединить в единый **закон Максвелла-Больцмана**, согласно которому, число молекул в единице объёма, скорости которых лежат в пределах от v до $v \pm dv$ равно

$$dP = \frac{\exp [-(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2)/2mkT] \exp [-\varepsilon_{\Pi}(x, y, z)/kT] dp_x dp_y dp_z dx dy dz}{(2\pi mkT)^{3/2} \int \exp [-\varepsilon_{\Pi}(x, y, z)/kT] dx dy dz}$$