

# Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті

ФИЗИКА

Физика кафедрасы

## Арнайы салыстырмалылық теориясының элементтері.

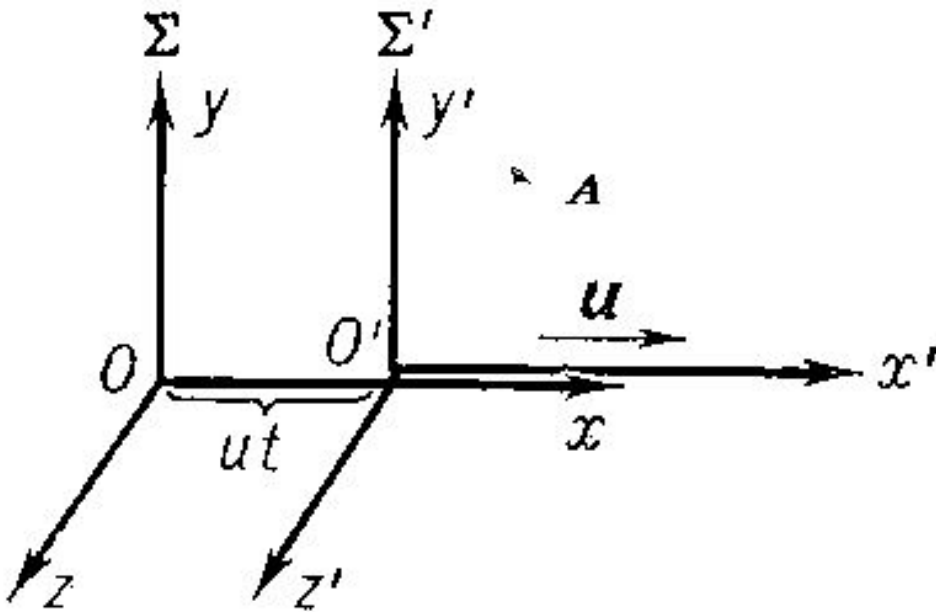


*Құрастырушылар:  
Салькеева А.К.*

## №5 Лекция жоспары

1. Арнайы салыстырмалылық теориясының элементтері.
2. Эйнштейн постулаттары.
3. Лоренц түрлендірулері.
4. Түрлендірулер инварианттары.
5. Жылдамдықтарды қосудың релятивтік заңы.
6. Импульс пен энергияны релятивтік түрлендіру

# Галилей түрлендіруі



$$x = x' + ut$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

$K \rightarrow K'$ 

$$\begin{cases} x' = x - vt, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = t, \end{cases}$$

 $K' \rightarrow K$ 

$$\begin{cases} x = x' + vt, \\ y = y', \\ z = z', \\ t = t', \end{cases}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt} + u$$

– К жүйеде

$$v_x = v'_x + u$$

$$v_y = v'_y$$

$$v_z = v'_z$$

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$$

-классикалық  
жылдамдықтарды қосу  
ережесі

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv'}{dt} + \frac{du}{dt}$$

$$u = \text{const}$$

$$a = a'$$

$$\frac{du}{dt} = 0$$

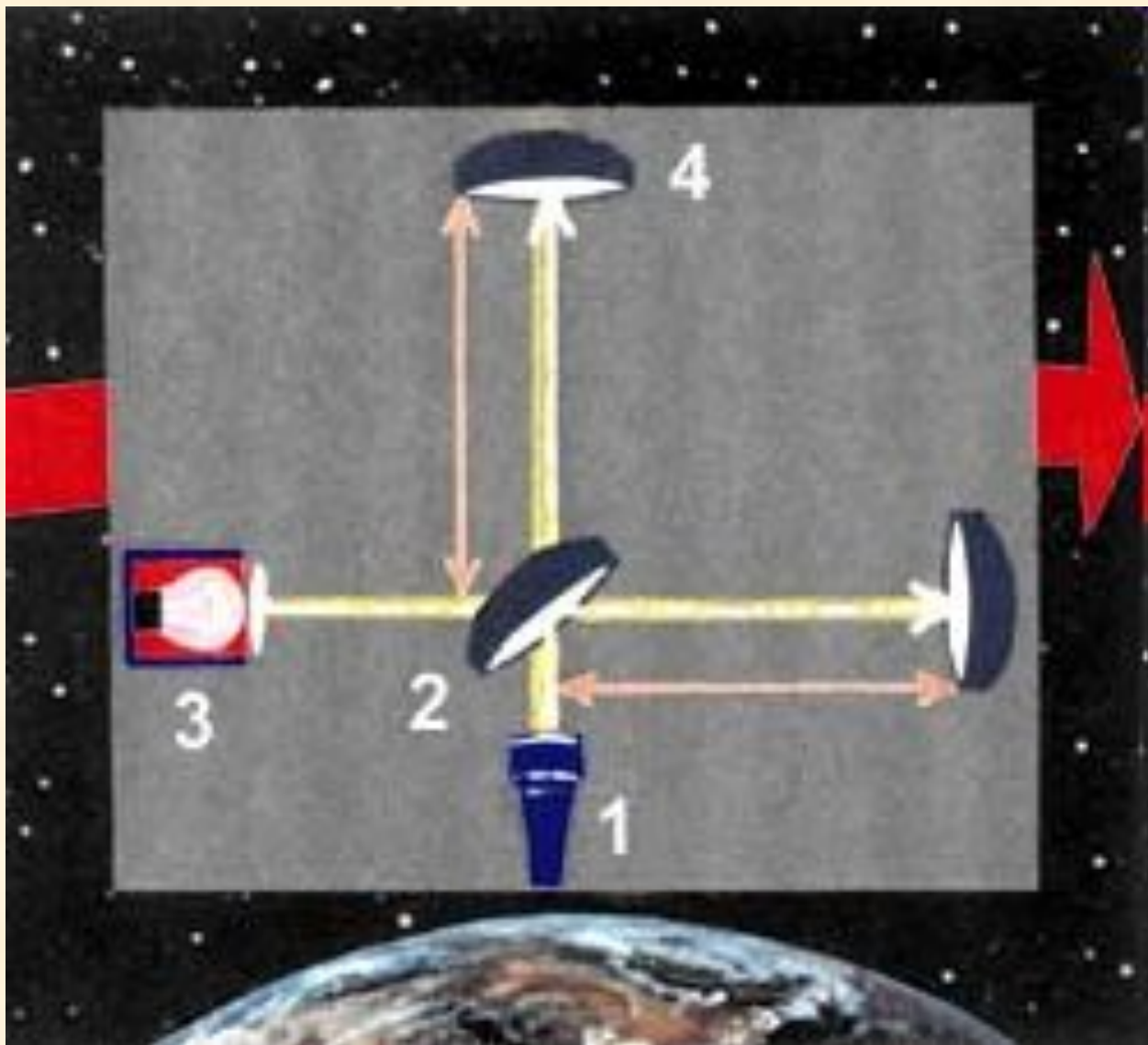
$$F = ma$$

$$F = F'$$

# Галилей салыстырмалы принциптері

1. Механикалық заңдары барлық инерцилық жүйелерде бірдей өтеді. Бұл жүйелер өзара инвариантты (бірдей).
2. Барлық инерциялық санақ жүйесінде механика заңдарының тұжырымдау бірдей орындалады.

# Жарық жылдамдығын өлшеу

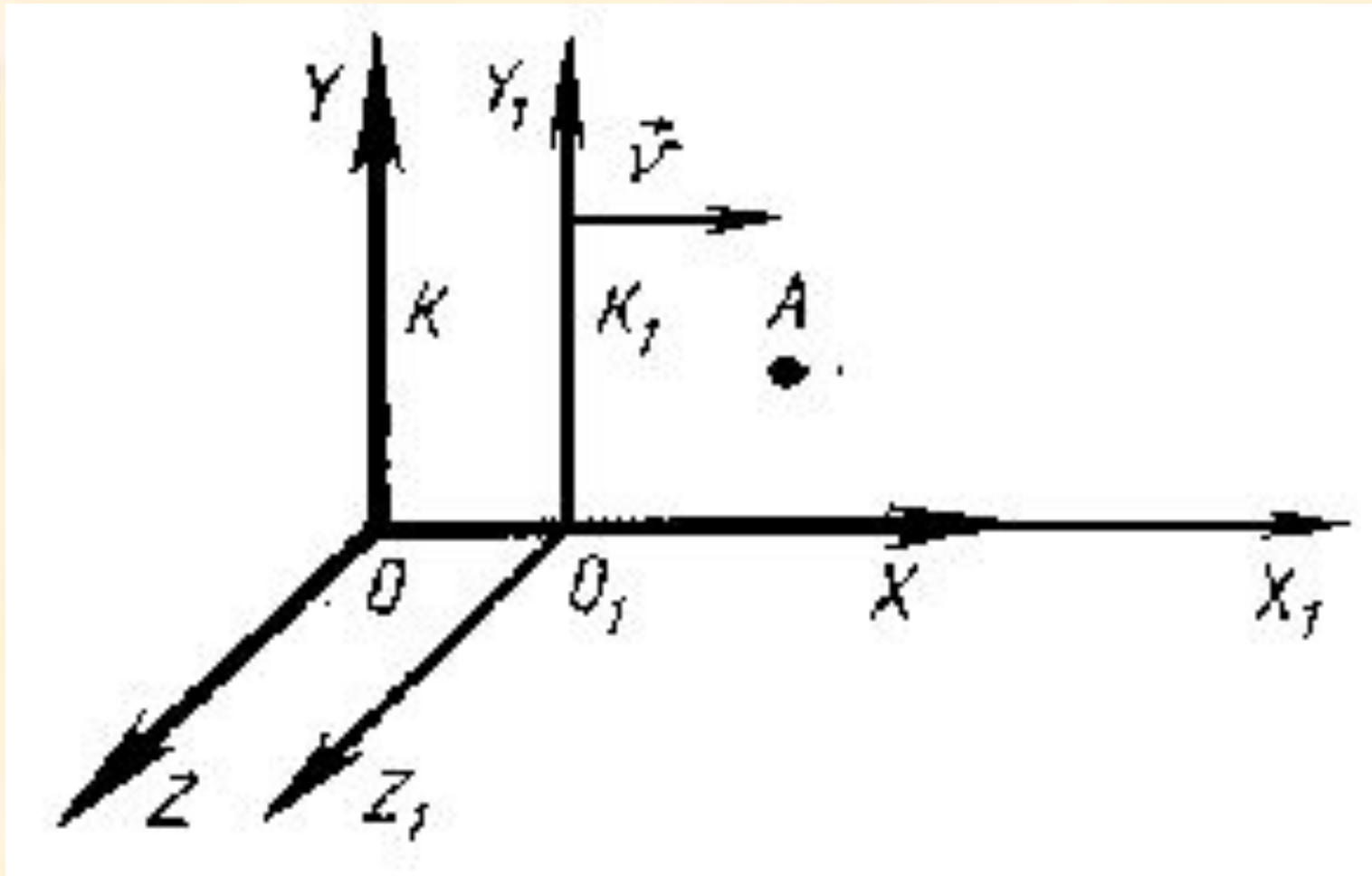




# Релятивтік теория. Эйнштейн постулаттары

1. Табиғаттың заңдары барлық инерцилы жүйелерде бірдей өтеді.
2. Вакуумдағы жарық жылдамдығы жарық көзінің немесе бақылаушының қозғалыс жылдамдығына тәуелді емес. Ол барлық инерциялы жүйелерде бірдей болады.

# Лоренц түрлендіруі



$K(x, y, z, t)$

$K'(x', y', z', t')$

$$v = \text{const}$$

$$x = ct \qquad x' = ct'$$

$$x' - x = c(t' - t)$$

$$x \neq x' \qquad t \neq t'$$

$$K \rightarrow K'$$

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$K' \rightarrow K$$

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

# Лоренц түрлендіруінің салдары

**K** жүйесі

$$\tau = t_2 - t_1$$

$$\tau' = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

**K'** жүйесі

$$\tau' = t'_2 - t'_1$$

$$t'_1 = \frac{t_1 - vx/c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

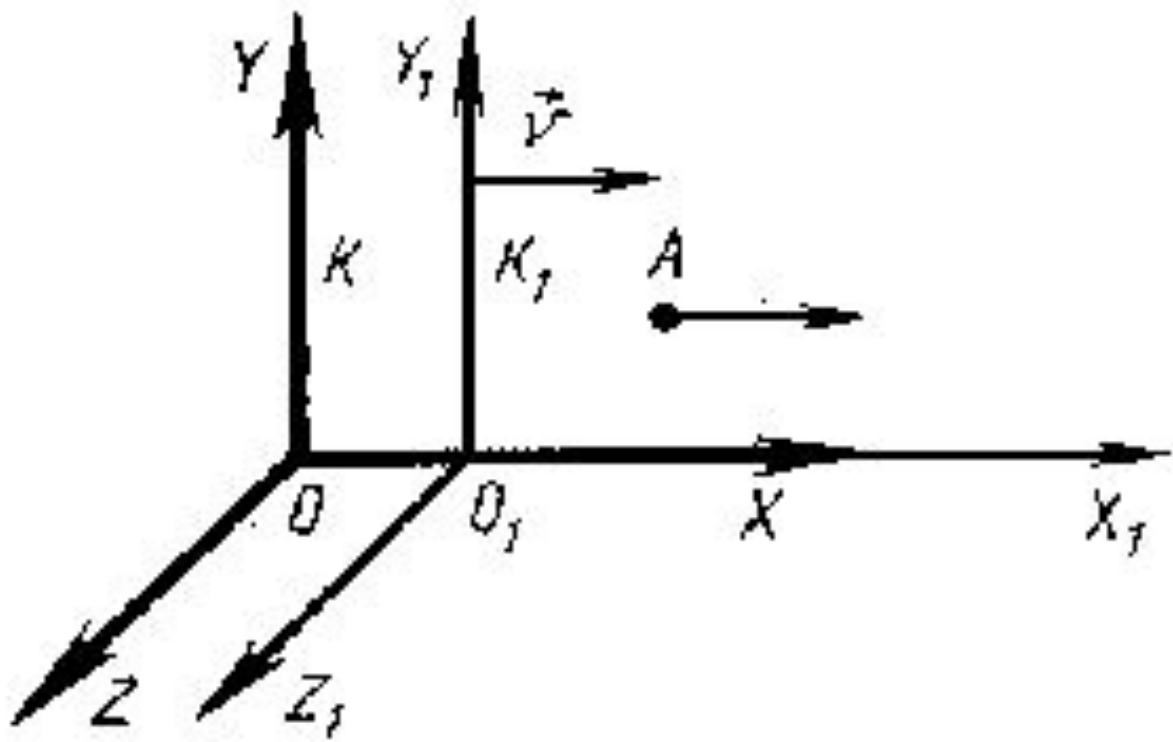
$$t'_2 = \frac{t_2 - vx/c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$v \rightarrow c$$

$$\lambda' > \lambda$$

$$\lambda = \lambda' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



$$K \rightarrow U$$

$$K' \rightarrow U'$$

$$K \rightarrow K'$$

$$K' \rightarrow K$$

$$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{vu}{c^2}}$$

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}}$$



## Жылдамдықтарды қосу релятивистік заңы

$$u = u' + v$$

Егер  $u' = c$

$$u = \frac{c + v}{1 + \frac{vc}{c^2}} = \frac{c + v}{1 + \frac{v}{c}} = \frac{c + v}{\frac{c + v}{c}} = c$$

$$u = c$$

## Релятивтік динамиканың заңдары

$$v \rightarrow c$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$p = mv$$

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E_0 = mc^2$$

– ТЫНЫШТЫҚ ЭНЕРГИЯСЫ

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E_k = mc^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

# №5 Дәріс      Статистикалық физика және термодинамика

## Лекция жоспары

1. Молекула – кинетикалық теорияның негіздері
2. Температураның молекула-кинетикалық мағынасы.
3. Идеал газ молекулаларының орташа кинетикалық энергиясы.
4. Термодинамикалық параметрлер. Тепе-теңдік күйлері мен процестері, олардың термодинамикалық диаграммаларда бейнелеу.
5. Газ заңдары. Идеал газ күйінің теңдеуі.

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$M = m_0 N_A \quad m_0 - \text{бір молекуланың массасы}$$

1 кг/моль

$$V_\mu = \frac{V}{\nu}$$

# Газдың қысымы

$$N \quad \frac{1}{3}N$$

$$N_x = N_y = N_z = \frac{N}{3}$$



Молекулалардың соқтығу кезінде ыдыс қабырғаларына өздерінің импульсін береді

$$\Delta m v = m v - (-m v) = 2m v$$

$$F dt = 2m v \qquad dt = \frac{2\Delta x}{v}$$

$$F = \frac{2m v}{dt} = \frac{2m v}{2\Delta x / v} = \frac{m v^2}{\Delta x}$$

$$F = \frac{1}{3} \left( \frac{m v_1^2}{\Delta x} + \frac{m v_2^2}{\Delta x} + \dots + \frac{m v_N^2}{\Delta x} \right)$$

$$F = \frac{1}{3} \frac{mN}{\boxtimes} \left( \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N} \right)$$

$$\left( \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N} \right) = \langle v^2 \rangle$$

$$F = \frac{1}{3} \frac{mN \langle v^2 \rangle}{\boxtimes} \qquad S = \boxtimes^2$$



$$\frac{F}{S} = P$$

$$\frac{F}{S} = \frac{1}{3} \frac{mN}{\boxtimes S} \langle v^2 \rangle = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m \langle v^2 \rangle$$

$$\frac{N}{V} = n$$

$$P = \frac{1}{3} nm \langle v^2 \rangle$$

$$P = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle$$

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m \langle v^2 \rangle}{2}$$

$$\frac{m \langle v^2 \rangle}{2} = E_k$$

$$P = \frac{2}{3} n E_k$$

$$n_0 = \frac{N_A}{V}$$

$$P = \frac{2}{3} \frac{N_A}{V} E_k$$

$$PV = RT$$

$$T = \frac{PV}{R} = \frac{2 N_A V}{3 VR} E_k = \frac{2 N_A}{3 R} E_k$$

$$E_k = \frac{3 R}{2 N_A} T \quad \frac{R}{N_A} = k$$

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Джс / К}$$

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

$P, V, T$

$$T = t + 273,15$$

$$\frac{PV}{T} = b = \text{const}$$

$$PV_M = RT$$

$$R = 8,31 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{К)}$$

$$P \frac{mV_M}{M} = \frac{m}{M} RT$$

$$\frac{mV_M}{M} = V$$

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

$$PV = \frac{m}{M} N_A \frac{R}{N_A} T = N \frac{R}{N_A} T$$

$$N = (m / M) N_A \quad k = \frac{R}{N_A}$$

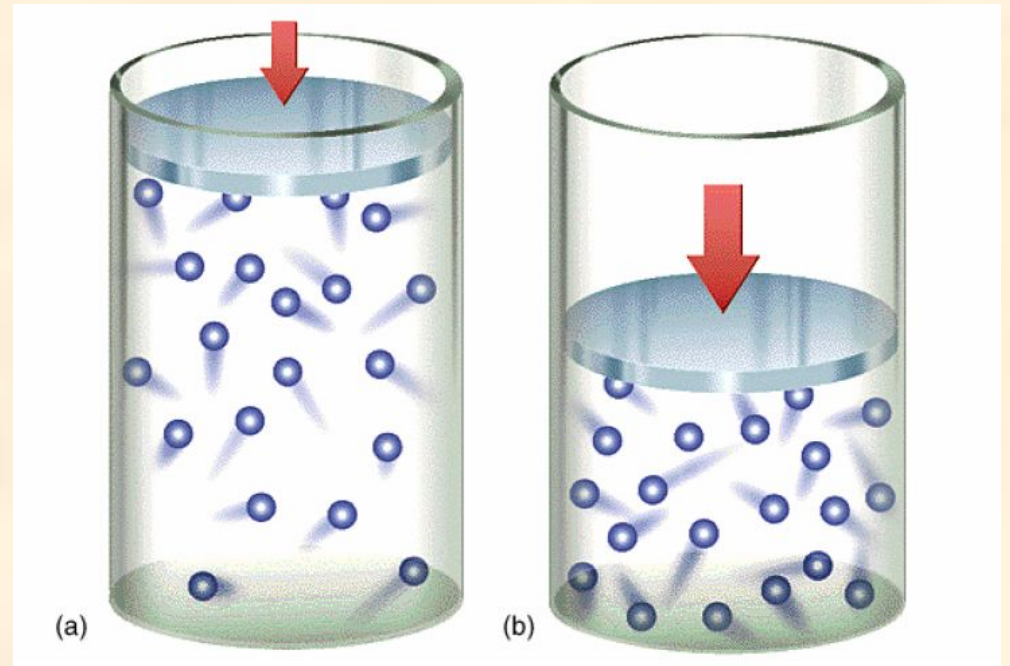
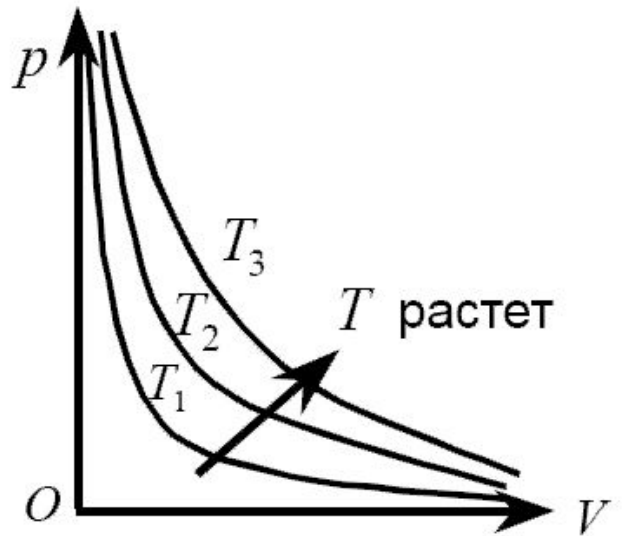
$$PV = NkT \quad N / V = n$$

$$P = nkT$$

# Газ заңдары

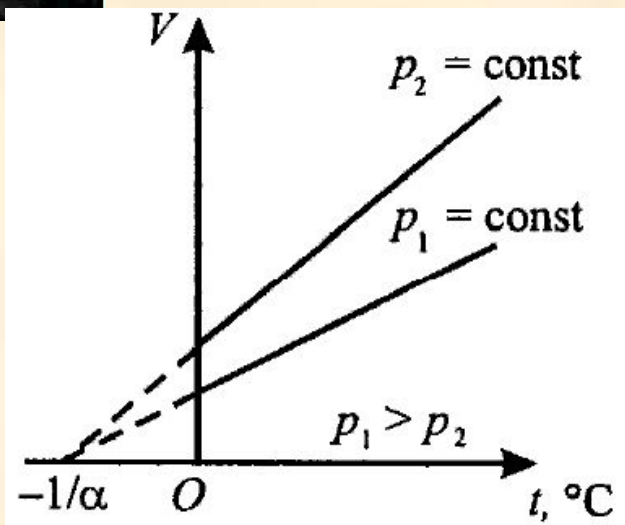
## Бойль – Мариотт заңы

$$pV = \text{const}$$



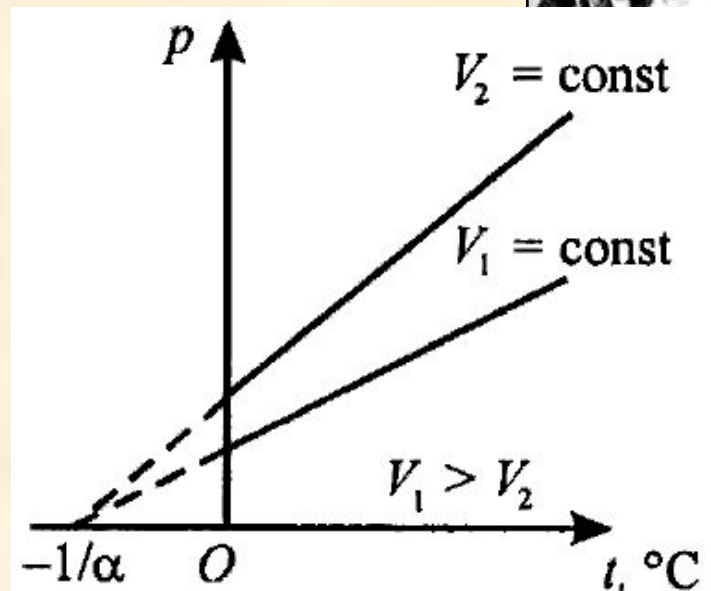


# Газ заңдары



Гей-Люссак заңы

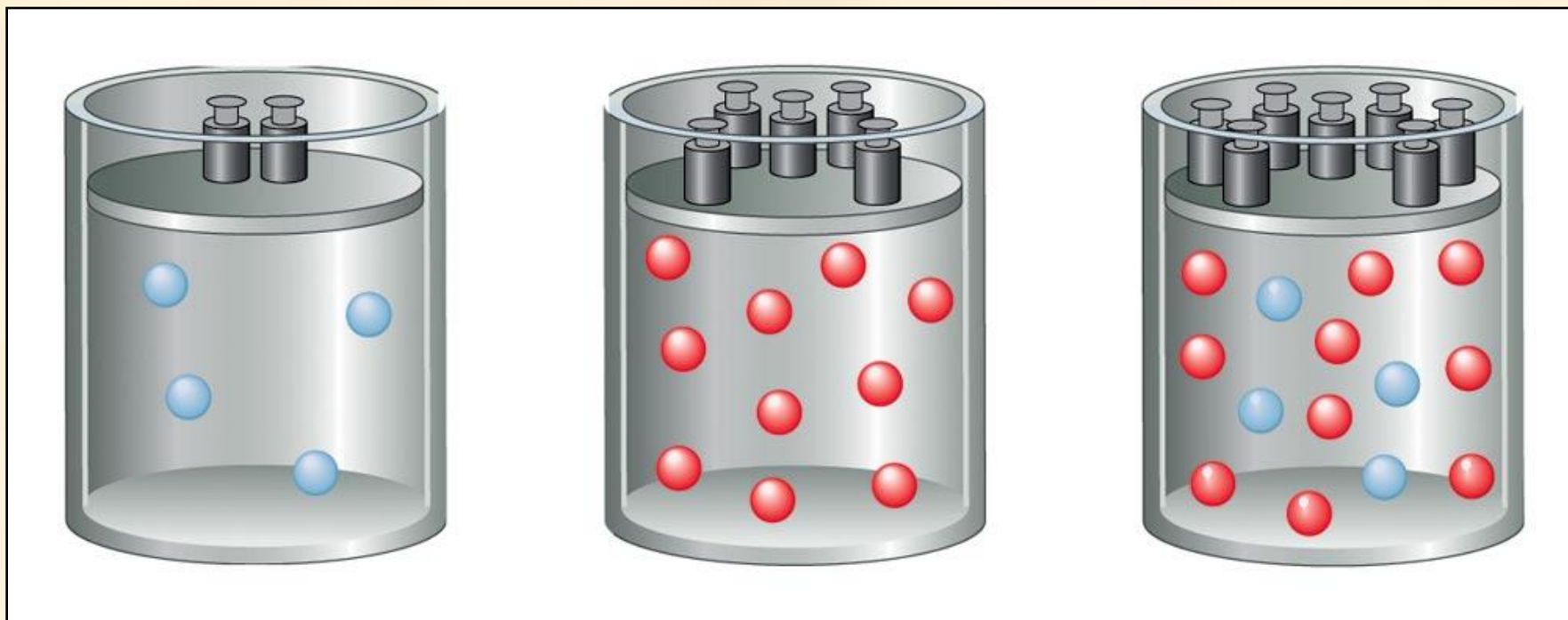
$$\frac{V}{T} = \text{const}$$



Шарль заңы

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$

**Дальтон заңы:** газ қоспасының қысымы әрбір газдың жеке-жеке өндірілген парциалдық қысымдарының қосындысына тең.

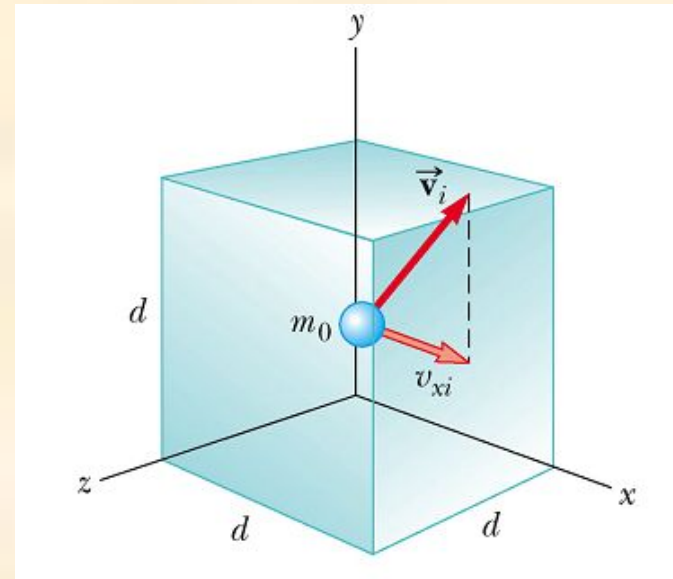


$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$



## Орташа квадраттық жылдамдық:

$$\bar{v}_{кв} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_i v_i^2}{N}}$$



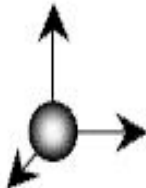
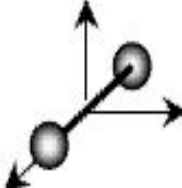
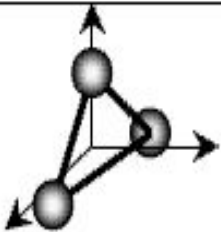
Молекулалардың  
ілгерілемелі  
қозғалысының орташа  
кинетикалық энергиясы

Молекуланың орташа  
квадраттық  
жылдамдығы

$$\bar{E} = \frac{m_0}{2} \bar{v}_{кв}^2 = \frac{3kT}{2}$$

$$v_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

# Идеал газ молекуласының еркіндік дәрежесі

Еркіндік дәреже саны	Біратомды газ	Екіатомды газ	Көпатомды газ
			
Ілгерлемелі	3	3	3
Айналмалы	—	2	3
Барлығы	3	5	6

## Идеал газдың ішкі энергиясы

$$E = \frac{1}{2} kT$$

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

$$\langle E \rangle = \frac{i}{2} kT$$

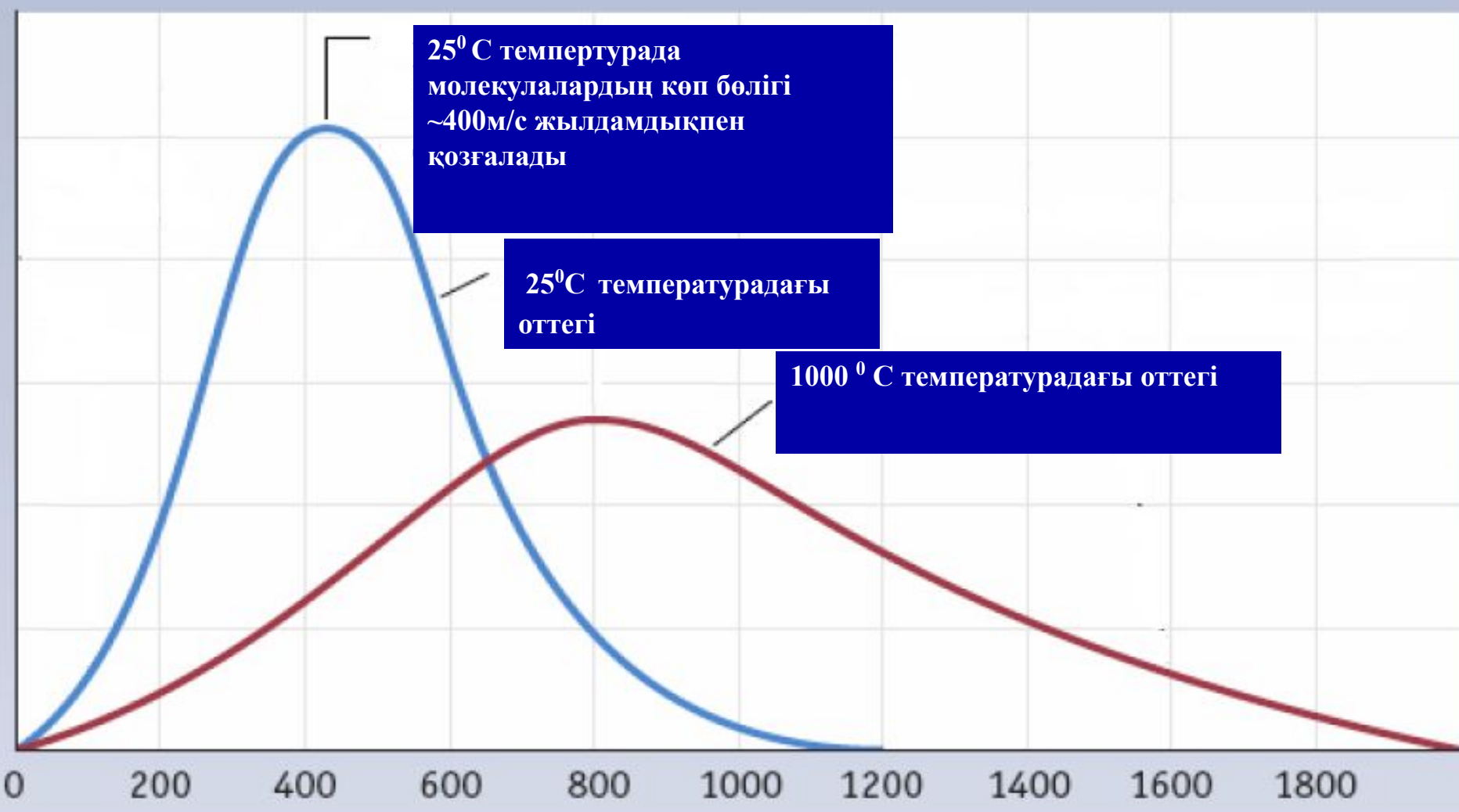
$$E_p = 0$$

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$$

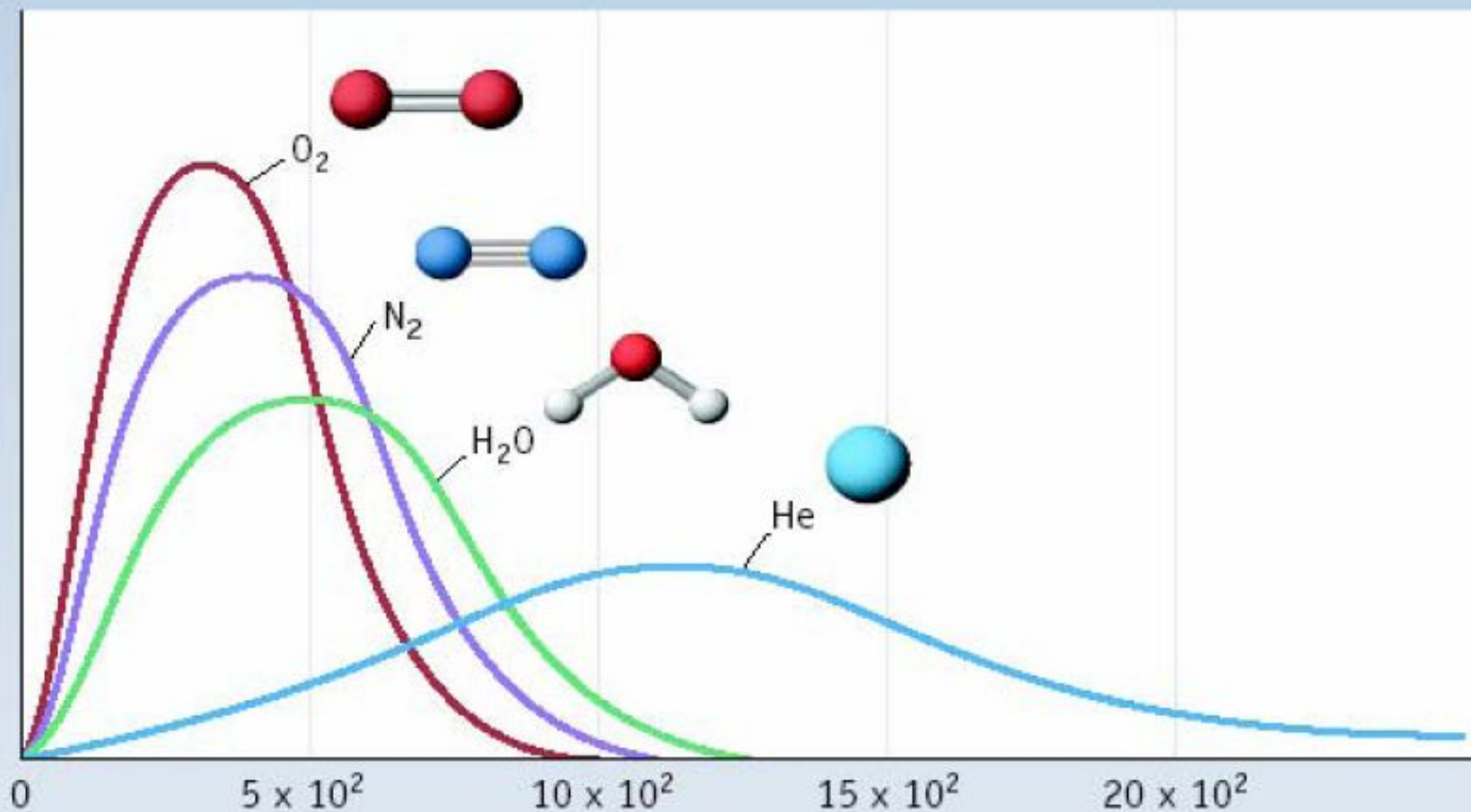
$$U \sim T$$

Идеал газдың ішкі энергиясы жеке-жеке молекулалардың кинетикалық энергиясынан құралады. Ішкі энергия күй функциясы боп табылады, оның өзгеруі жүйенің бастапқы және соңғы күйлеріне ғана тәуелді.

# Максвелл таралуы



# Орташа молекула массасының төмендеуінен орташа жылдамдық көбейеді



# Максвелл таралуы функциясы

$$f(v) = \frac{dN}{Ndv}$$

Таралу функциясы – жылдамдығы  $v$  -  $v + dv$  аралықта жататын молекула санының бөлігі.

$$f(v) = A \cdot v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}$$

Молекулалардың жылдамдық бойынша таралы функциясы

$$\int_0^{\infty} f(v) dv = 1$$

Нормалау(қалыпқа келтіру) шарты

$$A = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2}$$

## Идеал газ күйін сипаттайтын жылдамдықтар

$$v_v = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$$

Ең үлкен ықтималдылық

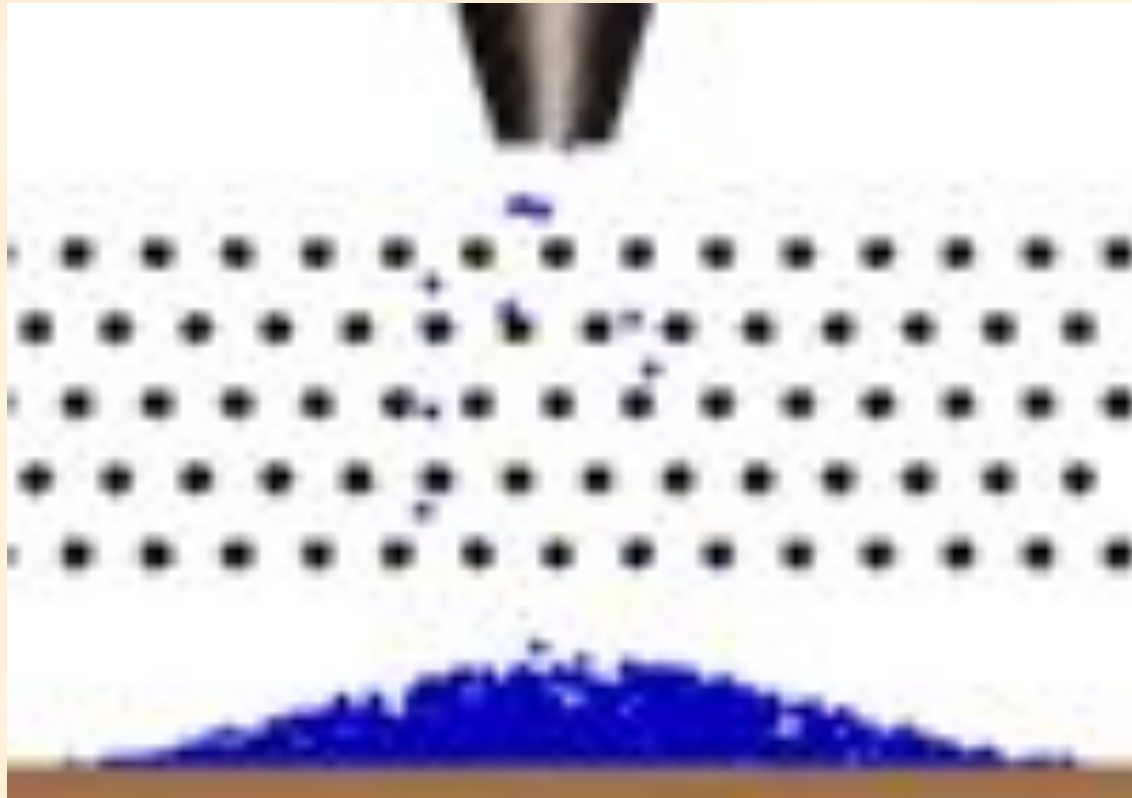
$$v_a = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$$

Орташа арифметикалық

$$v_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

Орташа квадраттық

Гальтон тақтасы молекулалардың жылдамдық бойынша таралуын сипаттайды (модельдейді)





# Барометрлік формула

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{m_0 gh}{kT}\right) = p_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right)$$

$$P = P_0 e^{-\frac{g\mu h}{RT}}$$

$$P = P_0 e^{-\frac{gmh}{kT}}$$

Биіктік өскенде, ауа қысымы  
экспоненциалды заң бойынша төмендейді