



7-MAVZU. MOLEKULYAR FIZIKA VA TERMODINAMIKA

1. Tizimning makroskopik xususiyatlarini o'rganishda statistik va termodinamik usullar.
2. Ideal gaz qonunlari.
3. Ideal gazning holat tenglamasi.
4. Molekulyar kinetik nazariyaning asosiy tenglamasi.
5. Ideal gaz molekularining tezlik va energiya bo'yicha taqsimoti.
6. Potensial kuchlar ta'sirida ideal gaz molekularining taqsimoti.
7. Gaz molekularining o'rtacha to'qnashishlari soni va o'rtacha erkin yugurish yo'li.
8. Muvozanatda bo'lmagan tizimlarda ko'chish hodisalari.

Bu mavzuda biz molekulyar kinetik nazariya va termodinamika asoslarini o'rganamiz. Ma'lum bir tuzimning holatini (yoki mavjud bo'lishini) tushunish uchun, masalan idishdagi gazni, mikroskopik yoki makroskopik nuqtai nazardan yondashishimiz mumkin. Mikroskopik yondashuv bilan, tizimni tashkil etuvchi ko'plab atom va molekularni o'rganamiz, u kinetik nazariya asosida tushuntiriladi. Makroskopik qarashda esa, biz bevosita o'z sezgi organlarimiz orqali his qilgan holda, o'lchashlarni amalga oshirishimiz mumkin. Jarayonlarni makroskopik kattaliklar yordamida o'rganishni termodinamika tushuntiradi.

1. Tizimning makroskopik xususiyatlarini o'rganishda statistik va termodinamik usullar.

Molekulyar fizika – barcha jismlar doimo tartibsiz harakatda bo'lgan atom yoki molekulalardan iboratdir, degan molekulyar-kinetik tushunchalarga asoslangan, moddalarning tuzilishi va xususiyatlarini o'rganuvchi fizikaning bo'limidir.

Juda ko'p miqdordagi molekularning o'zaro ta'siri, holatiga bog'liq qonunlar – **statistik usullar** orqali o'rganiladi. U tizimni to'la xarakterlovchi fizikaviy kattaliklarning statistik qonuniyatlari va o'rtacha qiymatlariga asoslanadi.

Termodinamika – termodinamik muvozanat holatlarida va bu holatlarga o'zaro o'tish jarayonlarida bo'lgan makroskopik tizimning umumiy xususiyatlarini o'rganadi. Shu jarayonlar asosini belgilaydigan mikrojarayonlarni termodinamika o'rganmaydi va shu bilan statistik usuldan farq qiladi.

Termodinamik tizim – makroskopik jismlar majmuasidan iborat bo'lib, bu jismlar doimo o'zaro ta'sirlashadilar va nafaqat o'zaro, balki tashqi muhit bilan ham energiya almashib turadilar.

Temperatura – moddaning isitilganlik darajasini ko'rsatuvchi fizikaviy kattalikdir va makroskopik tizimning termodinamik muvozanat holatini xarakterlaydi.

Termodinamik temperatura shkalasi reper nuqta bilan aniqlanadi – bu suvning gaz, suyuqlik va qattik fazaviy holati bilan bog‘liq uchlik nuqtasidir. Termodinamik temperatura shkalasida bu reper nuqta $273,15K$ ga tengdir.

Kelvin suvning uchlik nuqtasi termodinamik temperaturasining $1/273,15$ qismiga tengdir. Selsiy gradusi ikki asosiy reper nuqtada: muzning erishi va suvning qaynashi. Selsiy gradusi va Kelvin birliklari quyidagicha bog‘langan:

$$T = 273,15 + t,$$

$T = 0$ Kelvinning nol qiymatiga tengdir.

Solishtirma hajm v – birlik massa hajmidir. Jism birjinsli bo‘lganda uning zichligi o‘zgarmas bo‘ladi, ya’ni $\rho = const$. Bu holda,

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Termodinamik tizimda holat parametrlaridan biri o‘zgarishi bilan bog‘liq har qanday o‘zgarishlar **termodinamik jarayon** deb ataladi.

Agarda holat parametrlari vaqt bo‘yicha o‘zgarmas bo‘lsa, makroskopik tizim termodinamik muvozanat holatida, deb hisoblanadi.

2. Ideal gaz qonunlari

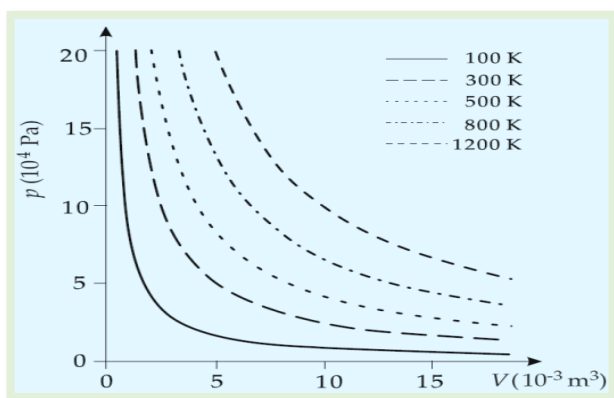
Molekulyar - kinetik nazariyada ideal gaz quyidagi xususiyatlarga ega bo‘ladi:

- gaz molekulalarining xususiy hajmi gaz egallagan idish hajmiga nisbatan juda kichikdir;
- gaz molekulalari orasida o‘zaro ta’sir kuchlari mavjud emas;
- gaz molekulalarining o‘zaro va idish devorlari bilan to‘qnashishi mutlaq elastikdir.

Tizim parametrlaridan biri o‘zgarmas bo‘lganida, qolganlari o‘zaro bog‘lanish hosil qiladigan jarayonlar *izojarayonlar* deb ataladi. Molekulyar fizikada 5 xil: **1) izotermik; 2) izobarik; 3) izoxorik; 4) adiabatik; 5) politropik** izojarayonlar. **Izotermik jarayon. Boyle - Mariott qonuni** ($T = const$). Berilgan massali gaz uchun, temperatura o‘zgarmas bo‘lganida, gaz bosimining uning hajmiga ko‘paytmasi o‘zgarmas kattalikdir:

$$PV = const, \quad T = const, \quad m = const \quad (7.1)$$

Temperatura o‘zgarmas bo‘lganida, modda xususiyatini tavsiflovchi P va V kattaliklar orasidagi bog‘lanishni tasvirlovchi egri chiziq *izoterma* deb ataladi (*1-rasm*)



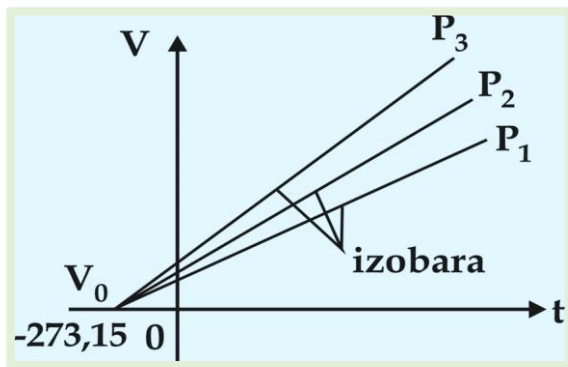
1- rasm. P, V tekisligida izotermaning xususiyatlari

Termodinamik jarayon sodir bo'ladigan temperatura qiymati ortishi bilan izotermni tasvirlovchi giperbola yuqoriga siljiydi.

Izoterma tenglamasi: $P_1V_1 = P_2V_2$ (7.2)

Izobarik jarayon. Gey - Lyussak qonuni ($P = \text{const}$). Berilgan massali gaz hajmi, bosim o'zgaras bo'lganida, temperaturaga bog'liq ravishda to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgaradi (2- rasm):

$$V = V_0(1 + \alpha t), \quad P = \text{const}, \quad m = \text{const} \quad (7.3)$$



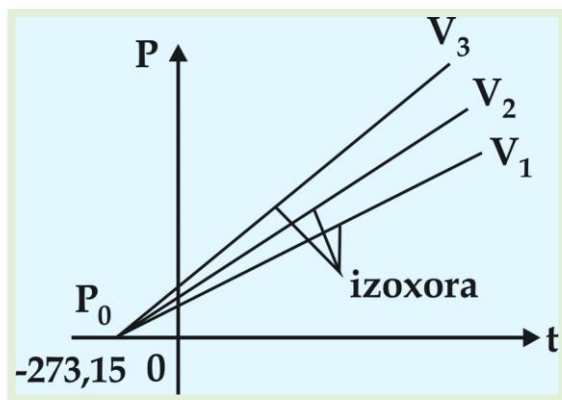
2- rasm. (V, t) tekisligidagi izobaralar majmuasi $P_3 > P_2 > P_1$

Izobara tenglamasi: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ (7.4)

Izoxorik jarayon. Sharl qonuni ($V = \text{const}$). Berilgan massali gaz bosimi, uning hajmi o'zgaras bo'lganida, temperaturaga bog'liq ravishda to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgaradi (3 - rasm):

$$P = P_0(1 + \alpha t), \quad V = \text{const}, \quad m = \text{const} \quad (7.5)$$

Bu tenglamalardagi t – temperatura Selsiy shkalasi bo'yicha olingan. P_0 va $V_0 T = 0^\circ C$ bo'lgandagi gazning, mos ravishda bosimi va hajmidir, α - koeffitsiyent quyidagiga teng bo'lib, ideal gazning hajmiy kengayish koeffitsiyentini bildiradi:



3- rasm. (P, t) tekisligida izoxoralar majmuasi $V_3 > V_2 > V_1$

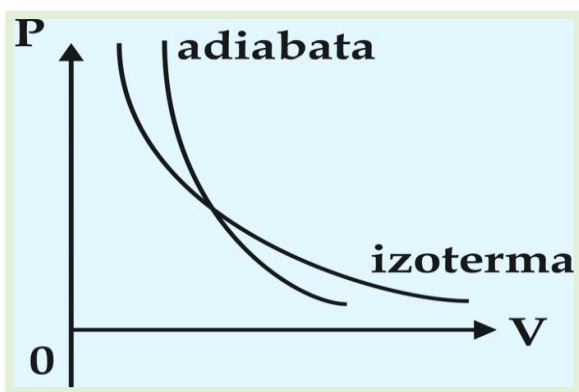
Izoxora tenglamasi: $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ (7.6)

Adiabatik jarayon. Adiabatik jarayon – termodinamik jarayon bo‘lib, atrof muhit bilan issiqlik almashmasdan kechadi..

Berilgan massali gaz uchun quyidagi munosabat o‘rinli bo‘ladi:

$$PV^\gamma = const$$

bu yerda γ – Puasson koeffitsiyenti deb ataladi. Bu bog‘lanish egri chiziqlari *adiabatalar* deb ataladi (4 - rasm).



4 - rasm. Adiabatik jarayonda bosimning hajmga bog‘liqlik grafigi

Politropik jarayon. Gaz issiqlik sig‘imi o‘zgarmasdan kechadigan jarayon politropik jarayon deb ataladi.. Politropik jarayon yuqorida keltirilgan jarayonlarning umumiy ko‘rinishi hisoblanadi.

Dalton qonuni. Ideal gazlar aralashmasi bosimi alohida gazlar partial bosimlarining yig‘indisiga teng bo‘ladi, ya’ni

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

bu yerda $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ – alohida gazlarning partial bosimlaridir.

Agar $P_{ar.} = P_1 + P_2$ bo‘lsa,

$$V_{ar.} = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \text{ bo‘ladi.}$$

Gazlar aralashmasi bosimi:

$$P_{ar.} = \frac{m_1 RT}{\mu_1 V} + \frac{m_2 RT}{\mu_2 V} = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right)$$

3. Ideal gazning holat tenglamasi

Ideal gaz qonunlariga asosan ma’lum massali gaz holati uning uchta termodinamik parametri bilan belgilanadi; P - bosim, V - hajm va T – temperatura.

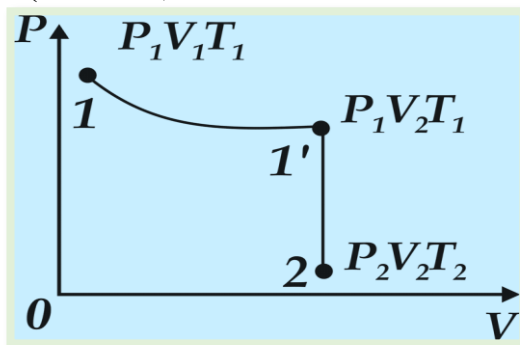
Bu parametrlar bir-biri bilan *holat tenglamasi* deb ataladigan aniq bog‘lanishga ega:

$$f(P, V, T) = 0$$

bu yerda uchta o‘zgaruvchilardan biri qolgan ikkitasining funksiyasidir.

Boyl - Mariott va Gey - Lyussak qonunlarini umumlashtirib fransuz fizigi Klapeyron ideal gazning holatlar tenglamasini keltirib chiqardi.

Masalan, ma'lum massali gaz T_1 temperaturada V_1 hajmni egallagan bo'lib, P_1 bosimga ega bo'lsin. Shu gaz boshqa holatda P_2, V_2, T_2 termodinamik parametrlarga ega bo'ladi (5 - rasm).



5 - rasm. Termodinamik tizimni izotermik jarayondan izoxorik jarayonga o'tishi

Gaz 1 - holatdan 2 - holatga ikki xil jarayon orqali o'tadi, deb hisoblaymiz: (1 - 1') – izotermik va (1' - 2) – izoxorik jarayonlar orqali.

Boyl-Mariott va Gey-Lyussak qonunlariga asosan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$P_1 V_1 = P_1' V_2 \quad \frac{P_1'}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (7.7)$$

P_1' parametrni qisqartirsak,

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{ga ega bo'lamiz.}$$

1 - va 2 - holatlar ixtiyoriy olingani uchun, berilgan massali gaz uchun PV / T nisbat doimiy bo'ladi:

$$\frac{PV}{T} = R = const \quad (7.8)$$

bu ifoda **Klapeyron tenglamasi** deb ataladi. Bu yerda R – gaz doimiysidir .

Normal sharoitlardagi ($T_0 = 273,15K = 0^{\circ}C, P_0 = 101325Pa$) hajm quyidagicha ifodalanadi:

$$V_{\mu} = 22,41 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{mol}$$

Universal gaz doimiysi:

$$R = \frac{P_0 V_{\mu}}{T_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3}}{273} = 8,31 \frac{J}{grad \cdot mol}$$

Klapeyron va Avogadro tenglamalarini umumlashtirib, μ bir molyar hajm V_{μ} uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$PV_{\mu} = RT \quad (7.9)$$

Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi. Mendeleyev Boyl-Mariott, Gey-Lyussak va Sharl qonunlarini Avogadro qonuni bilan birlashtirdi. Bu qonunlarni birlashtiruvchi tenglama **Mendeleyev-Klapeyron tenglamasi** deyiladi va

quyidagicha ifodalanadi:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad (7.10)$$

(7.10) ifoda gaz holatini belgilovchi 5 ta fizik kattaliklarni bip-biri bilan bog'laydi, bular: bosim, hajm, temperatura, massa va molyar massa.

Моддамикдори: ν (mol) – massasi grammlarda son jihatdan nisbiy massaga teng bo'lgan modda miqdoridir.

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

Mol – Avogadro soniga (N_A) ega bo'lgan zarrachalar modda miqdori.

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ – Avogadro soni.

Molyar massa (μ) – bir mol moddaning massasidir: $\mu = \frac{m}{\nu}$

Masalalar yechishda elementlarning nisbiy molekulyar massasi M qiymati Mendeleev davriy jadvalidan olinadi va molyar massa μ quyidagi formuladan

topiladi:

$$\mu = M \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

Gazlar aralashmasi uchun Mendeleev-Klapeyron tenglamasi:

$$PV = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \frac{m_3}{\mu_3} \right) RT$$

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

ga teng bo'lgani uchun (7.9) ifodani quyidagi ko'rinishda qayta yozish mumkin:

$$P = \frac{RT}{V_m} = \frac{kN_A T}{V_m} = nkT$$

bu yerda kT – bitta molekulaning issiqlik harakati energiyasi, n – gaz molekulalarining konsentratsiyasidir.

Shunday qilib, gazlarning holat tenglamasi:

$$P = nkT \quad (7.11)$$

dan iborat va undan ko'rinib turibdiki, ideal gazning bosimi berilgan temperaturada gaz molekulalarining konsentratsiyasiga to'g'ri proporsional ekan.

Avogadro qonuni: Istalgan gazning bir moli, temperatura va bosim bir xil bo'lganda, bir xil hajmga ega bo'ladi.

Normalsharoitlarda 1 m^3 hajmni egallagan gaz molekulalari soni **Loshmidt soni** deb ataladi va quyidagiga teng bo'ladi:

$$N_L = \frac{P_0}{kT_0} = 2,68 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

4. Molekulyar-kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi

Gazning bosimi, hajmi va uning molekulalari lgarilanma harakatining kinetic energiyasi orasidagi bog'lanishni aniqlaydigan muhim tenglama hisoblanadi. Molekulyar - kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini keltirib chiqarish uchun, bir xil atomli ideal gazni olamiz.

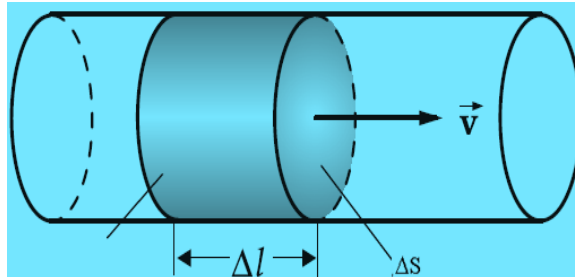
T temperaturada gaz joylashgan idish devoridan ΔS elementar yuzani ajratamiz va bu yuzaga ta'sir etayotgan bosimni hisoblashga harakat qilamiz (6- rasm).

Yuzaga perpendikulyar harakat qilayotgan molekulalar har bir urilganda yuzaga quyidagicha impuls beradi:

$$m_0 v - (-m_0 v) = 2m_0 v$$

bu yerda m_0 – molekula massasi, v – uning tezligi.

Δt vaqt ichida ΔS yuzaga asosi ΔS va balandligi $v \cdot \Delta t$ bo'lgan silindr hajmida joylashgan molekullargina yetib kelishi mumkin. Ushbu molekular soni $n \cdot \Delta S \cdot v \cdot \Delta t$ ga teng, bu yerdan n – molekular konsentratsiyasi. Ammo, real sharoitlarda, ΔS yuzaga molekular, har xil burchak ostida kelib uriladi va har xil tezliklarga ega bo'ladi, uning ustiga har bir to'qnashishda molekular tezligi o'zgarib turadi.



6- rasm. Elementar yuzaga kelib uriluvchi molekular hajmi

Molekulalarning tartibsiz harakatiga tegishli tezlik, harakat energiyasi va idish devoriga uzatadigan bosimini hisoblashni soddalashtirish uchun uchta bir-biriga perpendikulyar yo'nalishlar bo'yicha harakatlarni inobatga olamiz. Istalgan vaqtda har bir yo'nalishda molekularning $1/3$ qismi harakatlanadilar, uning yarmmi esa (ya'ni $1/6$ qismi) ΔS yuzaga kelib uriladi. U holda berilgan yo'nalishda harakat qilayotgan molekularning ΔS yuzaga urilish soni

$$\Delta N = \frac{1}{6} N = \frac{1}{6} n \cdot \Delta S \cdot v \cdot \Delta t$$

ga tengdir. Bu yerda $N = n \cdot V = n \cdot \Delta S \cdot v \cdot \Delta t$

Bu molekularning yuza bilan to'qnashganida beradigan impulsi quyidagiga

teng bo'ladi:
$$\Delta P = 2m_0 v \cdot \frac{1}{6} n \cdot \Delta S \cdot v \cdot \Delta t = \frac{1}{3} n \cdot m_0 v^2 \cdot \Delta S \cdot \Delta t$$

Idish devoriga ta'sir qilayotgan bosim

$$P = \frac{\Delta P}{\Delta S \cdot \Delta t} = \frac{1}{3} n m_0 v^2 \quad (7.12)$$

ga teng bo'ladi. Agar, gaz V hajmda v_1, v_2, \dots, v_n tezliklar bilan harakatlanayotgan N molekularga ega bo'lsa, u holda barcha gaz molekulari majmuasini xarakterlash uchun o'rtacha kvadrat tezlikni ko'rib chiqish maqsadga muvofiq bo'ladi:

$$\langle v_{kv} \rangle = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2}, \quad (7.13)$$

U holda (7.12) ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{kv} \rangle^2, \quad (7.14)$$

Bu ifoda ideal **gazlar molekulyar - kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi** deb ataladi. $n = \frac{N}{V}$ ekanligini hisobga olsak,

$$PV = \frac{1}{3}Nm_0\langle v_{kv} \rangle^2 \quad (7.15)$$

yoki
$$PV = \frac{2}{3}Nm_0 \frac{\langle v_{kv} \rangle^2}{2} = \frac{2}{3}E \quad (7.16)$$

bu yerda E – barcha gaz molekulari ilgarilanma harakat kinetik energiyasining yig‘indisidir.

Gaz massasi $m = Nm_0$ bo‘lgani uchun, (7.15) tenglamani quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$PV = \frac{1}{3}m \langle v_{kv} \rangle^2$$

1 mol gaz uchun $\mu = m_0N_A$, shuning uchun

$$PV_m = \frac{1}{3}\mu \langle v_{kv} \rangle^2$$

bu yerda V_m – molyar hajm. Boshqa tarafdin $PV_m = RT$ ga teng bo‘lgani sababli

$$RT = \frac{1}{3}\mu \langle v_{kv} \rangle^2$$

Yoki
$$\langle v_{kv} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (7.17)$$

5. Ideal gaz molekularining tezlik va energiya bo‘yicha taqsimoti.

Molekulyar - kinetik nazariyaning asosiy tenglamasini keltirib chiqarishda molekular har xil tezliklarga ega bo‘ladi, deb hisoblagan edik. Ko‘p marotaba to‘qnashishlar natijasida, har bir molekulaning tezligi yo‘nalishi va moduli bo‘yicha o‘zgarib turadi. Ammo molekularning betartib harakati hisobiga harakat yo‘nalishlari bir xil ehtimollikka ega bo‘ladilar, boshqacha qilib aytganda, har bir yo‘nalishda bir xil miqdorda molekular harakatlanadi, deb hisoblash mumkin.

Molekulyar-kinetik nazariyaga asosan, to‘qnashishlarda molekula tezligi o‘zgarishiga qaramay, gazdagi m_0 massali molekularning o‘rtacha kvadratik tezligi, $T=const$ bo‘lganida, muvozanat holatida o‘zgarmas qoladi va quyidagiga

teng bo‘ladi:
$$\langle v_{kv} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Bu esa, muvozanat holatda bo‘lgan gazda molekularning tezlikka bog‘liq qandaydir taqsimoti o‘rnatilishini tushuntiradi. Bu taqsimotning aniq statistik qonunga bo‘ysunishi Maksvell tomonidan nazariy isbotlandi.

Maksvell bu taqsimotni nazariy keltirib chiqarishda, gaz bir xil temperaturada, betartib issiqlik harakati holatida bo‘lgan ko‘p miqdordagi N ta bir xil molekularlardan iborat bo‘ladi, deb faraz qildi.

Maksvell qonuni molekularning tezlik bo‘yicha taqsimot funksiyasi deb ataladigan qandaydir $f(v)$ funksiya bilan ifodalanadi.

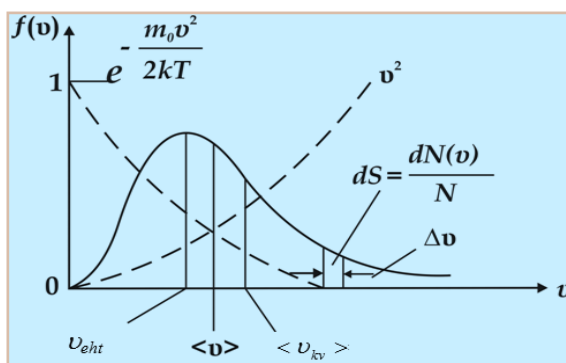
Agar molekularning tezliklari diapazonini $d\nu$ ga teng kichik bo‘lakchalarga bo‘lsak, har bir tezliklar intervaliga, shu tezliklarga ega bo‘lgan molekularning qandaydir $dN(\nu)$ miqdori to‘g‘ri keladi.

Demak, $f(v)$ taqsimot funksiya tezliklari v dan $v+dv$ gacha intervalda yotadigan molekularning nisbiy sonini belgilaydi $\frac{dN(v)}{N}$

Yoki
$$\frac{dN(v)}{N} = f(v)dv, \quad f(v) = \frac{dN(v)}{Ndv}$$

Maksvell ehtimollik nazariyasi usulini qo'llab, $f(v)$ funksiyani – ideal gaz molekularining tezligi bo'yicha taqsimot qonunini keltirib chiqardi.

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} \quad (7.18)$$



7 - rasm. Ideal gaz molekularining tezlik bo'yicha taqsimoti

Ehtimolliki katta bo'lgan tezlikni hisoblash uchun (7.18) ifodani v - tezlik bo'yicha differensiallab, uni nolga tenglashtirish kerak:

$$\frac{d}{dv} \left(v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} \right) = 2v \left(1 - \frac{m_0 v^2}{2kT} \right) e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} = 0$$

1) Bu funksyaning hosilasi $v = 0$ da nolga teng bo'ladi. Bu ham funksyaning ekstremumi, ammo tezlikni nolga teng qiymati mantiqqa ega bo'lmagani uchun uni e'tiborga olmaymiz.

2) $\left(1 - \frac{m_0 v^2}{2kT} \right) = 0$,

$$v_{eht} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$

ya'ni

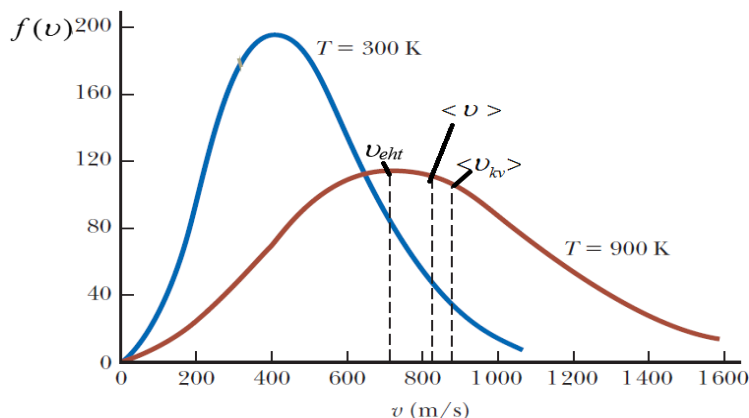
$$v_{eht} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \quad (7.19)$$

Umuman gaz holatini belgilovchi tezliklar quyidagilardan iborat:

1. Ehtimolliki eng katta tezlik: $\langle v_{eht} \rangle = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$

2. O'rtacha arifmetik tezlik: $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = 1.33v_{eht}$

3. O'rtacha kvadratik tezlik: $\langle v_{kv} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = 1.22v_{eht}$.



8 - rasm. Taqsimot funksiyasining temperaturaga bog‘liqligi

Molekulalarning tezliklari bo‘yicha taqsimotidan foydalanib ularning kinetik energiyasi bo‘yicha taqsimotini hisoblab ko‘ramiz:

$$dN(v) = N4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} dv \quad (7.20)$$

funksiyaning o‘zgaruvchisi deb $\varepsilon = \frac{m_0 v^2}{2}$ ni olsak,

$$v = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{m_0}}, \quad dv = (2m_0\varepsilon)^{-1/2} d\varepsilon$$

$$dN(\varepsilon) = \frac{2N}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \varepsilon^{1/2} e^{-\varepsilon/kT} d\varepsilon = N(\varepsilon)d\varepsilon,$$

bu yerda $dN(\varepsilon)$ – ilgarilanma harakat kinetik energiyasi ε dan $\varepsilon + d\varepsilon$ gacha bo‘lgan intervaldagi molekulalar sonidir.

Shunday qilib, issiqlik harakati energiyasi bo‘yicha molekulalarning taqsimot funksiyasi quyidagicha bo‘ladi.

$$f(v) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \varepsilon^{1/2} e^{-\varepsilon/kT} \quad (7.21)$$

Ideal gazning o‘rtacha kinetik energiyasi $\langle \varepsilon \rangle$ quyidagiga teng:

$$\langle \varepsilon \rangle = \int_0^{\infty} \varepsilon f(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \int_0^{\infty} \varepsilon^{3/2} e^{-\varepsilon/kT} d\varepsilon, \quad \langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2} kT$$

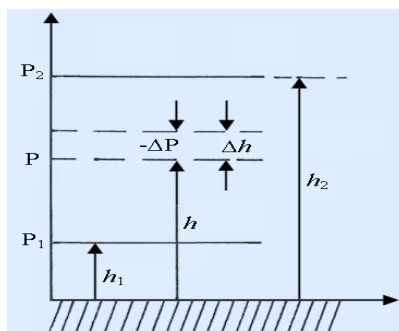
Xulosa qilib aytadigan bo‘lsak olingan taqsimoytar faqat muvozanat holatida bo‘lgan termodinamik tizimlar uchun o‘rinlidir.

6. Potensial kuchlar ta‘sirida ideal gaz molekulalarining taqsimoti.

Gazlar molekulyar - kinetik nazariyasining asosiy tenglamasi va molekulalarning tezliklarga bog‘liq Maksvell taqsimotini keltirib chiqarishda gaz molekulalariga tashqi kuchlar ta‘sir etmaydi deb faraz qilingan edi. Shuning uchun molekulalarni hajm bo‘yicha bir tekis taqsimlangan, deb hisobladik. Ammo istalgan gaz molekulalari Yerning, tortishish xususiyatiga ega bo‘lgan, potensial maydoni ta‘sirida bo‘ladi. Bir tarafdin, gravitatsiyaviy tortishish va ikkinchi

tarafdan, molekullarning issiqlik harakati gazning qandaydir statsionar holatiga, ya'ni bosimning balandlik bo'yicha kamayishiga olib keladi.

Barcha molekullar massalarini bir xil, havo temperaturasini o'zgartmas, tortishish maydonini bir jinsli, deb hisoblaymiz. Agarda h balandlikda atmosfera bosimi P ga teng bo'lsa, $h + dh$ balandlikda esa bosim $P + \Delta P$ ga tengdir. $dh > 0$ bo'lganda, $dP < 0$ (9- rasm).



9 - rasm. Gaz bosimining balandlikka bog'liqligi

h , $h + dh$ balandlikdagi bosimlar farqi, asosi birlik yuza, balandligi dh ga teng bo'lgan silindr hajmida joylashgan gaz og'irligiga teng bo'ladi:

$$P - (P + dP) = \rho g dh \quad (7.22)$$

$P = \rho gh$ bo'lgani uchun, bu yerda $\rho = \frac{P\mu}{RT}$ – h balandlikdagi gazning zichligidir (dh juda kichik bo'lgani uchun, balandlik o'zgaradigan sohada gaz zichligini o'zgartmas, deb hisoblanadi). Demak, $dP = -\rho g dh$.

(7.22) ifodadan **barometrik formulaga** ega bo'lamiz:

$$P = P_0 e^{\frac{-\mu gh}{RT}} \quad (7.23)$$

$P = nkT$ bo'lishini e'tiborga olsak, gaz konsentratsiyasining balandlikka bog'liq ifodasini keltirib chiqarishimiz mumkin:

$$n = n_0 e^{\frac{-\mu gh}{RT}}$$

$\mu = m_0 N_A$, $R = k N_A$ tengliklardan foydalanib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$n = n_0 e^{\frac{-m_0 gh}{kT}} \quad (7.24)$$

bu yerda $m_0 gh = E_p$ molekulaning gravitatsiyaviy tortishish maydonidagi potensial

energiyasidir:

$$n = n_0 e^{\frac{-E_p}{kT}} \quad (7.25)$$

bu ifoda tashqi potensial maydondagi **Bolsman taqsimoti** deb ataladi.

Agarda zarrachalar massalari bir xil bo'lib, tartibsiz issiqlik harakatida bo'lsalar, (7.25) ifoda – Bolsman taqsimoti istalgan tashqi potensial maydon uchun ham o'rinlidir. Bu yerda tashqi potensial maydon faqat tortishish kuchi ta'sirini emas, balki boshqa kuchlar ta'sirini (elektr, magnit va boshqa potensial maydonlarni) ham inobatga oladi.

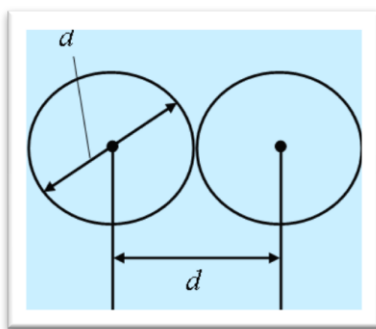
7. Gaz molekularining o‘rtacha to‘qnashishlari soni va o‘rtacha erkin yugurish yo‘li.

Gaz molekulari tartibsiz harakatda bo‘lishi sababli, bir-biri bilan uzluksiz to‘qnashadilar. Molekula ikkita ketma-ket to‘qnashishlar oraligida ma’lum ℓ yo‘lni bosib o‘tadi va bu **erkin yugurish yo‘li** deb ataladi.

Umumiy holda ketma-ket to‘qnashishlar orasidagi erkin yugurish yo‘li uzunligi har xildir. Buning ustiga molekular soni beqiyos ko‘p bo‘lganligi sababli, molekularning o‘rtacha erkin yugurish yo‘li $\langle \ell \rangle$ to‘g‘risida so‘z yuritishimiz mumkin.

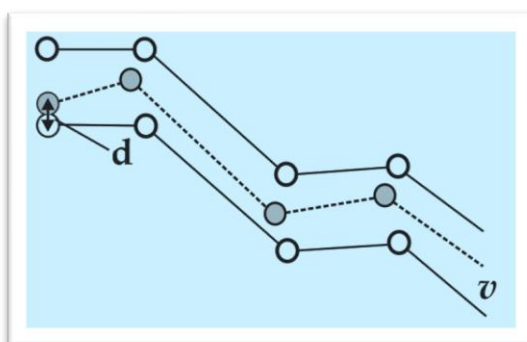
To‘qnashishlarda ikkita molekula markazlari yaqinlashishining eng kichik masofasi d – molekularning **effektiv diametri** deb ataladi (10-rasm). U to‘qnashayotgan molekular tezligiga, ya’ni gazning temperaturasiga bog‘liq bo‘ladi. 1 sekund ichida molekula o‘rtacha arifmetik tezlik – $\langle v \rangle$ ga teng yo‘l bosib o‘tadi va bu vaqt ichida $\langle z \rangle$ o‘rtacha to‘qnashishlarga duch keladi, bu holda

erkin yugurish yo‘li quyidagiga teng bo‘ladi: $\langle \ell \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle}$



10- rasm. Molekular to‘qnashishining effektiv diametri

O‘rtacha to‘qnashishlar soni $\langle z \rangle$ ni topish uchun molekulani d – diametrlilik deb va u xuddi qotib qolgan molekular orasida harakat qiladi, deb hisoblaymiz (11 - rasm).



11 - rasm. Molekularning o‘zaro to‘qnashish xarakteri

Bu molekula markazlari d ga teng yoki undan kichik bo‘lgan molekular bilan to‘qnashadi, boshqacha qilib aytganda, radiusi d bo‘lgan «siniq» silindr ichida harakat qiladi. «Siniq» silindr hajmidagi molekular soni 1 sekund ichidagi **o‘rtacha to‘qnashishlar soniga** teng bo‘ladi:

$$\langle z \rangle = n \cdot V = n \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \langle v \rangle$$

Shunday qilib, o'rtacha to'qnashishlar soni

$$\langle z \rangle = n \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \langle v \rangle$$

Agar, hisoblashlarda boshqa molekularning harakatini hisobga olsak, o'rtacha to'qnashishlar soni quyidagicha teng bo'ladi:

$$\langle z \rangle = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n \cdot \langle v \rangle \quad (7.26)$$

U holda **o'rtacha erkin yugurish yo'li** ni shunday ifodalaymiz

$$\langle l \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{\langle v \rangle}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n \cdot \langle v \rangle}$$

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n} \quad (7.27)$$

O'rtacha erkin yugurish yo'li molekular konsentratsiyasiga teskari proporsional ekan.

8. Muvozanatda bo'lmagan tizimlarda ko'chish hodisalari

Qaytmas jarayonlardagi ko'chish hodisalari muvozanatda bo'lmagan tizimlarda sodir bo'lib, bular: massa ko'chishi (diffuziya), issiqlik energiyasini ko'chishi (issiqlik o'tkazuvchanlik, impuls uzatilishi (ichki ishqalanish).

Diffuziya.Fik qonuni: Ikki hil gaz, suyuqlik va qattiq jisimlarda zarachalarning bir biriga ko'chib o'tishiga **diffuziya** deyiladi. Zichlik bir hil bo'lmaganda zichligi katta sohadan zichligi kichik sohaga molekular oqib o'tadi. **Fik qonuni:** xo'qiga tik yo'nalishdagi yuz birligidan vaqt birligi ichida oqib o'tgan massaga massa oqimi zichligi deyiladi.

$$J_m = -D \frac{d\rho}{dx} \quad (7.28)$$

bu yerda, $D = \frac{1}{3} \langle g \rangle \cdot \langle l \rangle$ - diffuziya koeffisienti erkin yugurish yo'li va o'rtacha tezlikka to'g'ri proporsional bo'lgani uchun, gaz harorati ortishi bilan u ortadi, konsentratsiya ortishi bilan kamayadi. ρ - zichlik.

(7.28)– ifodada $\frac{d\rho}{dx}$ - zichlikni x yo'nalishga tik bo'lgan yuzadan uzunlik birligidagi o'zgarish tezligiga zichlikni oqim gradiyenti deyiladi.

Minus ishorasi massa kochishi zichlik kamayish tomonga bo'lishini ko'rsatadi ,

shuning uchun J_m va $\frac{d\rho}{dx}$ o'zaro qarama-qarshi ishoralarga ega.

Diffuziya oqimi gradiyenti konsentratsiyaga proporsional va konsentratsiyani kamayish tomoniga yo'nalgan.

Issiqlik o'tkazuvchanlik. Fur'e qonuni. Harorat T birhil bo'lmaganda yana bir ko'chish hodisasi - **issiqlik o'tkazuvchanlik** sodir bo'ladi. Misol uchun idishning

chap devorini qizdirsak bu devorga urilayotgan molekularlarning harorati ortadi va chap tomondagi molekularlarning o'rtacha tezligi o'ng tomonidagilardan ko'proq bo'ladi, bu hodisani **termodiffuziya** deyiladi.

Fazoni biror sohasida molekularlarning kinetik inergiyasi boshqa sohaga nisbatan ko'proq bo'lsa, vaqt o'tishi bilan molekularlarning o'zaro to'qnashuvlari natijasida o'rtacha kinetik inergiyalarning tenglashuvi sodir bo'ladi. **Fur'e qonuni**.x yo'nalishida bu yo'nalishga tik bo'lgan yuza birligidan vaqt birligi ichida oqib o'tadigan issiqlik energiyasiga issiqlik oqimi zichligi deyiladi.

$$J_E = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (7.29)$$

bu yerda, $\lambda = \frac{1}{3} c_v \rho \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle$ - harorat gradiyenti birga teng bo'lganda, yuza birligidan vaqt birligi ichidagi issiqlik oqimiga issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti deyiladi. c_v - hajm o'zgarmas bo'lganda solishtirma issiqlik sig'imi.

$\frac{dT}{dx}$ - yuza normaliga tik yo'nalishdagi uzunlik birligidagi haroratni o'zgarish tezligiga miqdor jihatdan teng bo'lgan kattalikni harorat gradiyenti deyiladi.

Minus ishora issig'lik o'tkazuvchanlikda issig'lik energiyasi harorat kamayish tomon sodir bo'lishini ko'rsatadi, shuning uchun J_E va $\frac{dT}{dx}$ - o'zaro qarama-qarshi ishoraga ega.

Ichki ishqalanish(gazlar yopishqoqligi). Agar gaz oqimida tezlik bir qatlamdan ikkinchisiga o'tganda o'zgarsa, ikki qatlam orasida ishqalanish kuchi ta'sir qiladi, uning kattaligi quyidagi ifoda(Nyutonning yopishqoqlik yoki ichki ishqalanish qonuni) yordamida aniqlanadi

$$F_{ishq} = -\eta \frac{d\vartheta}{dx} \Delta S \quad (7.30)$$

$J_p = -\eta \frac{d\vartheta}{dx}$ - issiqlik impulsi zichligi x o'qiga tik tekislikning birlik yuzasidan birlik vaqt ichida olib o'tilgan to'liq impulsga teng, minus ishorasi ko'chish impuls kamayish yo'nalishida sodir bo'lishini ko'rsatadi. (7.30) ifodada

$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle \vartheta \rangle \langle l \rangle$ ichki ishqalanish koeffisienti - tezlik gradiyenti birga teng bo'lganda qo'shni qatlamlarning bir birlik yuzalari orasidagi ishqalanish kuchiga teng.

$\frac{d\vartheta}{dx}$ - gaz qatlami oqimi harakatiga tik yo'nalishdagi x o'qi bo'ylab tezlikni o'zgarish jadalligiga tezlik gradiyenti deyiladi.

Diffuziya koeffisienti, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisienti va ichki ishqalanish koeffisienti orasidagi bog'lanishlar

$$\eta = \rho \cdot D \quad \lambda = \eta \cdot c_v \quad \lambda = c_v \cdot \rho \cdot D$$

Demak, ko'chish hodisalari termodinamik muvozanatda bo'lmagan tizimlardagi qaytmas jarayonlar bo'lib, buning natijasida energiya, massa va impuls ko'chadi,

Mavzu bo'yicha nazorat uchun testlar

1. Agar berilgan hajmda har bir molekulaning tezligi ikki marta ortib, molekulalar konsentratsiyasi o'zgarmasa, ideal gaz bosimi qanday o'zgaradi?

- A)* 4 marta ortadi B) 4 marta kamayadi
C) 2 marta ortadi D) 2 marta kamayadi

2. Temperatura 47°C va bosim 1MPa bo'lganda kislorodning zichligini (kg/m^3) toping? Kislorod molyar massasi $\mu=32\text{ g/mol}$. Universal gaz doimiysi $8,31\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$.

- A) 1,2 B)* 12 C) 68 D) 6,8

3. Normal sharoitda vodorodning zichligini (kg/m^3) aniqlang? Vodorod molyar massasi $\mu=32\text{ g/mol}$. Universal gaz doimiysi $R=8,31\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$.

- A) 0,02 B) 0,04 C)* 0,09 D) 0,86

4. Geliy molekulalari konsentratsiyasi o'zgarmasdan, uni molekulalarining issiqlik harakati o'rtacha kinetik energiyasi 4 marta ortsa, bosim qanday o'zgaradi?

- A) o'zgarmaydi B) 2 marta kamayadi
C) 2 marta ortadi D)* 4 marta ortadi

5. Molekulyar-kinetik nazariyaga ko'ra temperatura nimani xarakterlaydi?

- A)* molekulalar ilgarilanma harakatining o'rtacha kinetik energiyasini
B) molekulalarning o'rtacha kvadratik tezligini
C) jism olgan issiqlik miqdorini
D) jism ichki energiyasining o'zgarishini

6. Agar birinchi gaz molekulasi massasi ikkinchi gaz molekulasi massasidan 4 marta kichik, birinchi gaz molekulari konsentratsiyasi ikkinchisidan 2 marta katta bo'lsa, birinchi gaz zichligining ikkinchi gaz zichligiga nisbati ρ_1/ρ_2 ni aniqlang?

- A) 2 B)* 1/2 C) 4 D) 1/4

7. $8 \cdot 10^4\text{ Pa}$ bosim ostidagi qandaydir gazning ilgarilanma harakat o'rtacha kvadratik tezligi kvadrati $6 \cdot 10^5\text{ m}^2/\text{s}^2$ ga teng. Bunday holatda gazning zichligi (kg/m^3) nimaga teng?

- A)* 0,4 B) 0,5 C) 0,6 D) 0,3

8. Ideal gaz konsentratsiyasi o'zgarmasdan, temperaturasi 2 marta ortsa, bosim qanday o'zgaradi?

- A) 2 marta kamayadi B) 4 marta ortadi
C)* 2 marta ortadi D) 4 marta kamayadi

9. Gaz molekularining o'rtacha kvadratik tezligi 400 m/s .O'rtacha bosimi 0.1 MPa va massasi 1.0 kg bo'lsa, gaz hajmini (m^3) aniqlang

- A) 0,83 B)* 0,53 C) 0,73 D) 0,63

10. Temperatura 100K bo'lganda, gaz molekularining harakati kinetik energiyasini aniqlang (J)?

- A) $1,38 \cdot 10^{-23}$ B) $1,38 \cdot 10^{-21}$ C) $4,14 \cdot 10^{-21}$ D)* $2,07 \cdot 10^{-21}$

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Д.Джанколи. ФИЗИКА. М.,Мир, 1989, т.1.
- 2.Савельев И. В. Курс физики. М.:Лань , 2011, т. 3. Молекулярная физика и термодинамика.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. — М., 2005., Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика.
- 4.Q.P.Abduraxmanov, O'.Egamov. FIZIKA. Darslik. Toshkent. 2015 y.
- 5.Q.P.Abduraxmanov, V.S.Xamidov, N.A.Axmedova. FIZIKA. Darslik. Toshkent. 2018 y.

Internet resurslari

- 1.<https://znaniya.com/task/6660193#readmore>
2. <http://www.falstad.com/mathphysics.html>