Registered in Germany Europa Revue Journal
ISSN: 1862-6564 Vol. 6 No. 10 (2026) Published October 30, 2026

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE HEAT CAPACITY OF SOLIDS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF CLASSICAL AND QUANTUM THEORIES

Ahmedova Marjona Sherali qizi
Student, Physics Education Program
Scientific Supervisor: Prof. D.I. Kamalova
Navoi State University

Abstract

This article discusses the physical nature of heat capacity, one of the important thermal properties of substances, and explains it in terms of classical and quantum theories. The paper provides information about the degrees of freedom of material particles, models of monatomic, diatomic, and triatomic molecules, and their average energies. The translational, rotational, and vibrational motions of molecules, their degrees of freedom, and their relationship with energy are examined. In addition, the average energy of molecules and the distribution of energy among the degrees of freedom are explained based on the laws of classical physics.

Keywords

classical theory of heat capacity, number of coordinates, degree of freedom, quantum theory of heat capacity, harmonic oscillators, Planck's constant, average oscillator energy, low temperature, high temperature.

QATTIQ JISMLAR ISSIQLIK SIG‘IMINING HARORATGA BOG‘LIQLIGI: KLASSIK VA KVANT NAZARIYALARINING QIYOSIY TAHLILI

Ahmedova Marjona Sherali qizi
Fizika ta’lim yo’nalishi talabasi
Ilmiy rahbar: prof. D.I.Kamalova
Navoiy davlat universiteti

Annotatsiya. *Ushbu maqolada moddalarning muhim termik xususiyatlaridan biri bo‘lgan issiqlik sig‘imining fizik mohiyati hamda uning klassik va kvant nazariyalari asosida tushuntirilishi yoritilgan. Ushbu ishda moddiy nuqtaning erkinlik darajalari, bir atomli, ikki atomli va uch atomli molekulalarning modellari hamda ularning o‘rtacha*

energiyalari haqida ma'lumot beriladi. Molekulalarning ilgarilanma, aylanma va tebranma harakatlari, ularning erkinlik darajalari va energiya bilan bog'liqligi ko'rib chiqiladi. Shuningdek, klassik fizika qonunlari asosida molekulalarning o'rtacha energiyasi va energiyaning erkinlik darajalari bo'yicha taqsimlanishi yoritiladi.

Kalit so'zlar: *issiqlik sig'imi klassik nazariyasi, koordinatalar soni, erkinlik darajasi, issiqlik sig'imi kvant nazariyasi, garmonik ossilyatorlar, Plank doimiysi, ossilyator o'rtacha energiyasi, past harorat, yuqori harorat.*

Kirish. Issiqlik sig'imining klassik nazariyasi Bolsman va Maksvell tomonidan ishlab chiqilgan. Bu nazariya quyidagi gipotezaga asoslangan: energiya-molekula harakatining erkinlik darajalari bo'yicha teng taqsimlanadi. Moddiy nuqtaning fazodagi vaziyatini aniqlash uchun zarur bo'lgan erkli koordinatalar soni nuqtaning erkinlik darajasi deyiladi va u i harfi bilan belgilanadi.

Bir atomli ideal gaz molekulalarini moddiy nuqta deb qaraymiz. Klassik mexanika qonunlariga asoslansak, molekula ilgarilanma harakat energiyasi yuqorida quyidagicha ifodalangan edi:

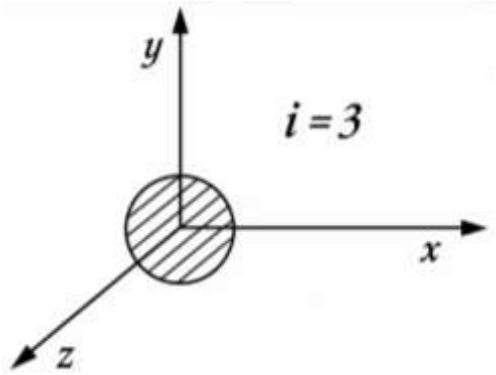
$$K=\frac{mv^2}{2}=\frac{3}{2}kT$$

Bunday molekulalar aylanma harakat energiyasiga ega emas, shuning uchun molekulalar to'qnashuvi natijasida harakat energiyasi uzatilmaydi. Moddiy nuqta deb qaralgan molekulaning inersiya momenti va aylanma harakati kinetik energiyasi

$$K_{ayl}=\frac{I\omega^2}{2}$$

ni nolga teng deb qarash mumkin. Shuning uchun Dekart koordinatalar sistemasida bir atomli gazlarning erkinlik darajasi uchga teng bo'lib, har bir erkinlik darajasiga to'g'ri kelgan ilgarilanma harakatdagi molekula (atom) ning o'rtacha kinetik energiyasi o'zaro teng:

$$\bar{\varepsilon}=\frac{\overline{m\vartheta_x^2}}{2}=\frac{\overline{mv_y^2}}{2}=\frac{\overline{mv_z^2}}{2}=\frac{1}{2}kT$$



1-rasm

Shunday qilib, Maksvell-Bolsman nazariyasiga asosan, ixtiyoriy gaz molekulalarining har bir erkinlik darajasiga to‘g‘ri keladigan energiya $\frac{1}{2}$kT ga teng ekan. Bir atomli ideal gaz massa markazining koordinatasi uchta bo‘lgani uchun uning erkinlik darajasi ham uchta (i=3). U vaqtda bir atomli ideal gaz molekulasining o‘rtacha energiyasi:

$$\bar{E} = \bar{i\varepsilon} = \frac{i}{2}kT = \frac{3}{2}kT$$

Unda bir mol ideal gazning ichki energiyasi

$U_\mu = N_A\bar{E} = \frac{i}{2}N_AkT = \frac{1}{2}RT$

bo‘ladi. Bu yerda (N_A) – Avogadro soni.

Yuqoridagi formulaga asosan o‘zgarmas hajmda bir atomli ideal gazning molyar issiqlik sig‘imi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$C\mu = \frac{dU\mu}{dT} = \frac{d\left(\frac{3}{2}RT\right)}{dT} = \frac{3}{2}RT$$

Universal gaz doimiysi ($R=8{,}31\ ^{J}/_{mol*K}$)bo‘lgani uchun

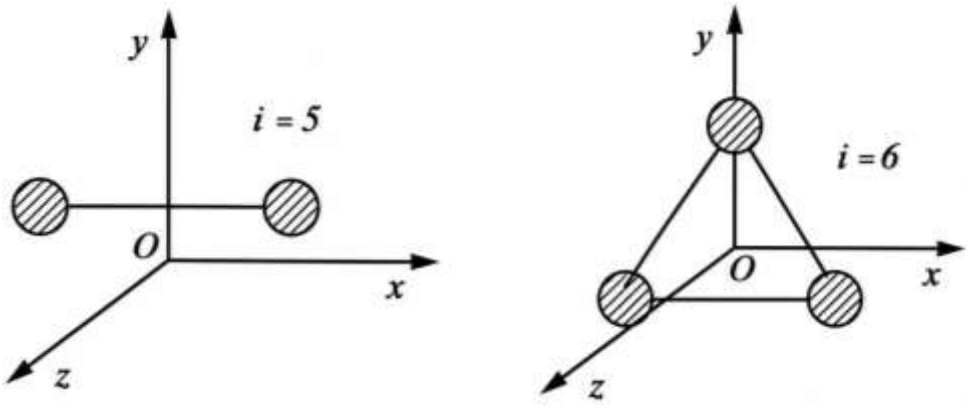
$C_{\mu V} = \frac{3}{2}8{,}31\ \ ^{J}/_{mol\ K} = 12{,}45\ ^{J}/_{mol\ K}$

R.Mayer tenglamasidan foydalanib, o‘zgarmas bosimda bir atomli ideal gazning molyar issiqlik sig‘imini hisoblaymiz, ya’ni

$$C_{\mu_P} = C_{\mu V} + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$$

$$C_{\mu p} = \frac{5}{2}\cdot 8{,}31\ ^{J}/_{mol\ K} = 20.75\ ^{J}/_{mol\ K}$$

Ikki atomli molekulaning modelini, gimnastik gantel shaklida tasavvur etish mumkin, ya’ni ikkita moddiy nuqta bir-biri bilan mahkam bog‘langan model.



2-rasm

Ikki atomli gaz molekulasining massa markazi 3 ta koordinata o‘qlariga nisbatan 3 ta ilgarilanma harakat va uchta o‘qdan ixtiyoriy ikkitasiga nisbatan (misolimizda Z va Y o‘qlariga nisbatan) ikkita aylanma harakatdan iborat erkinlik darajasiga ega. Shuning uchun ikki atomli gaz molekulasining erkinlik darajasi beshga teng (i=5). X o‘qi bo‘yicha ikki atomli molekulaning aylanma harakati bir atomli molekulaning aylanma harakatiga o‘xshash, shuning uchun X o‘qi bo‘yicha aylanma harakat energiyasi nolga teng va X o‘qi bo‘yicha aylanma harakat erkinlik darajasi yo‘q deb qaraladi.

Endi o‘zgarmas hajmda va bosimda ikki atomli bir mol ideal gazning molyar issiqlik sig‘imini hisoblaymiz:

$$C_{\mu V} = \frac{dU}{dT} = \frac{d(\frac{5}{2}RT)}{dT} = \frac{5}{2}R$$

$$C_{\mu P} = C_{\mu V} + R = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R$$

$$C_{\mu V} = \frac{5}{2}8{,}31\ {}^{J}/_{mol\ K} = 20{,}75\ {}^{J}/_{mol\ K}$$

$$C_{\mu P} = \frac{7}{2}\cdot 8{,}31\ {}^{J}/_{mol\ K} = 29\ {}^{J}/_{mol\ K}$$

Uch atomli molekulaning modeli rasmda ko‘rsatilgan. Uch atomli gaz molekulasi, 3 ta koordinata o‘qlariga nisbatan uchta ilgarilanma harakat va uchta aylanma harakat erkinlik darajalariga ega. Shuning uchun bu molekulaning erkinlik darajasi (i=6). Uch atomli bir mol ideal gazning issiqlik sig‘imini aniqlaymiz:

$$C_{\mu V} = \frac{dU}{dT} = \frac{d(\frac{6}{2}RT)}{dT} = 3R$$

$$C_{\mu P} = C_{\mu V} + R = 3R + R = 4R$$

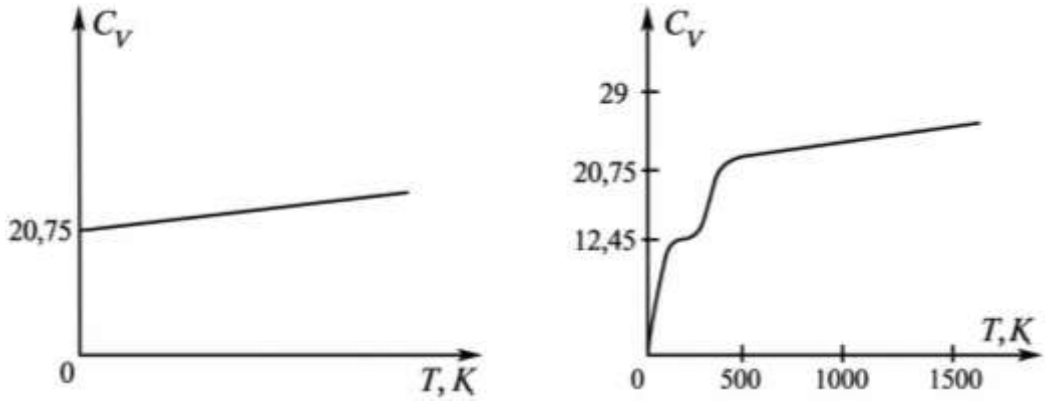
$$C_{\mu V} = 3 * 8{,}31 \ {}^{J}/_{mol\ K} = 24{,}93 \ {}^{J}/_{mol\ K}$$

$$C_{\mu P} = 4 * 8{,}31 \ {}^{J}/_{mol\ K} = 33{,}24 \ {}^{J}/_{mol\ K}$$

Shunday qilib, issiqlik sig‘imining klassik nazariyasiga asosan hisoblab, uni tajribada olingan natijalarga taqqoslaganda faqat sodda gazlar uchun (bir, ikki va uch atomli molekulalardan iborat bo‘lganda) xona haroratida mos kelar ekan.

Issiqlik sig‘imining klassik nazariyasiga asosan, gazning issiqlik sig‘imi haroratga bog‘liq emas. Lekin, tajriba natijalari, gazning issiqlik sig‘imining haroratga bog‘liqligini ko‘rsatadi. Demak, nazariya va tajriba natijalari bir-biriga mos kelmaydi.

Ko‘p atomli molekulalar uchun ham issiqlik sig‘imining klassik nazariyasi tajriba natijalariga to‘g‘ri kelmas ekan. Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, issiqlik sig‘imining klassik nazariyasi bilan tajriba natijalari to‘g‘ri kelmaganligi uchun, bu nazariya asosida yotgan, molekula harakatining erkinlik darajalari bo‘yicha energiyaning teng taqsimlanish qonuni noto‘g‘ri ekanligidan dalolat beradi.



3-rasm

Issiqlik sig‘imining kvant nazariyasi. Issiqlik sig‘imining klassik nazariyasini gazlar uchun past va yuqori haroratlarda qo‘llab bo‘lmaydi. Klassik nazariyada molekulalarning xususiy tebranishlari hisobga olinmagan. Kvant nazariyasida molekulalarni tebranish chastotasiga ega bo‘lgan garmonik ossillyatorlar deb qaraladi. Klassik nazariyaga asosan ossillyator energiyasi uzluksiz qiymat olishi mumkin.

M.Plank va A.Eynshteyn asos solgan kvant nazariyasi yordamida issiqlik sig‘imini to‘g‘ri tushuntirish mumkin. Issiqlik sig‘imining kvant nazariyasiga asosan ossillyator energiyasi qator uzlukli qiymatlar olishi mumkin bo‘lib, u ossillyatorning tebranish chastotasiga to‘g‘ri mutanosib:

$$\bar{\varepsilon} = h\nu$$

Bu yerda h=6,62 10^{-34} J·s Plank doimiysi.

Molekulalarning (ossillyator) tebranish chastotasi turlicha bo‘lganligi uchun uning energiyasi ham har xil bo‘ladi. Plank g‘oyasiga asoslanib Eynshteyn ossillyatorning o‘rtacha energiyasini quyidagicha ifodalaydi:

$$\bar{\varepsilon}=\frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}}-1}$$

Bundan ko‘rinadiki, molekulaning (ossillyator) tebranma harakatda erkinlik darajasiga to‘g‘ri kelgan energiya haroratga va chastotaga bog‘liq ekan.

Tebranish chastotasi oshishi bilan ossillyator energiyasi kamayib boradi.

Past haroratlarda $\frac{\mathrm{h\nu}}{\mathrm{kT}} \gg 1$ bo‘lib, ossillyator energiyasi nolga intiladi ($\bar{\varepsilon} = 0$). Juda yuqori haroratlarda $h\nu \ll kT$ bo‘lsa, ni $e^{\frac{h\nu}{kT}}$ qatorga yozsak,

$$e^{\frac{h\nu}{kT}}=1+\frac{h\nu}{1!kT}+\frac{1}{2!}\left(\frac{h}{kT}\right)^2+\ldots$$

formulada $\frac{\mathrm{h\nu}}{\mathrm{kT}} << 1$ bo‘lganligi sababi bu hadning yuqori darajalarini hisobga olmasak, $\bar{\varepsilon}$ uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$\bar{\varepsilon}=\frac{h\nu}{1+\frac{h\nu}{kT}-1}=kT$$

Yuqori harorat va katta chastotalarda kvant effektning roli sezilarli bo‘lmaydi. Plank formulasi yana klassik fizikadagi energiyaning erkinlik darajasi ko‘ra teng taqsimlanishiga olib keladi.

Yuqorida aytilgan mulohazalarni hisobga olib ikki atomli gaz molekulasining energiyasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{5}{2}kT + \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Bu formulada birinchi had ($\frac{5}{2}$kT) klassik nazariyada hisobga olingan molekulaning ilgarilanma va aylanma harakatining erkinlik darajalariga to‘g‘ri kelgan energiya, ikkinchi had esa molekulaning tebranma harakatining erkinlik darajalariga to‘g‘ri kelgan energiya. Bir mol gaz uchun yozsak,

$$U=N_A\bar{\varepsilon}=\frac{5}{2}RT+N_A\frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}}-1}$$

bo‘ladi. O‘zgarmas hajmda ikki atomli ideal gazning molyar issiqlik sig‘imi formulasi harorat (T) bo‘yicha hosila olsak, quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$C_{\mu V}=\frac{dU}{dT}=\frac{5}{2}R+R\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2\frac{e^{\frac{h\nu}{kT}}}{e^{\frac{h\nu}{kT}}-1}$$

bo‘ladi.

Agar $\frac{h\nu}{kT}$<<1 bo’lsa, $C_{\mu V}=\frac{7}{2}R\approx 29\ {}^{J}/_{mol\ K}$ bo’ladi.

Agar $\frac{h\nu}{kT}$>>1 bo’lsa, $C_{\mu V}=\frac{5}{2}R\approx 20{,}75\ {}^{J}/_{mol\ K}$ bo‘ladi.

Rasmda ko‘rsatilgan tajriba natijalari, kvant nazariya xulosalariga mos kelar ekan.

Xulosa qilib aytganda, moddalarning issiqlik sig‘imi ularning ichki energiyasi, molekulalarning harakat turlari va erkinlik darajalari bilan bevosita bog‘liq bo‘lgan muhim termik xususiyatlardan biridir. Klassik fizika nuqtayi nazaridan modda zarrachalarining ilgarilanma, aylanma va tebranma harakatlari energiyaning turli erkinlik darajalari bo‘yicha taqsimlanishini ta’minlaydi. Shu sababli molekulalarning tuzilishi va erkinlik darajalari soni moddaning issiqlik sig‘imiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Bir atomli, ikki atomli va ko‘p atomli molekulalarning energiya holatlarini tahlil qilish orqali ularning issiqlik sig‘imi molekulyar tuzilish hamda harakatning turli shakllari bilan bog‘liqligi ko‘rsatildi. Klassik nazariya yuqori haroratlarda moddalarning issiqlik xususiyatlarini tushuntirishda muhim ahamiyatga ega bo‘lsa-da, past haroratlarda ayrim tajribaviy natijalarni to‘liq izohlab bera olmaydi.

Mazkur muammolyarni tushuntirishda kvant nazariyasi muhim o‘rin tutadi. Maks Plankning kvant gipotezasiga ko‘ra, energiya uzluksiz emas, balki ma’lum porsiyalar — kvantlar ko‘rinishida yutiladi yoki chiqariladi. Energiya va chastota o‘rtasidagi

bog‘lanish kvant hodisalarining asosiy qonuniyatlaridan biri bo‘lib, bunda (h) — Plank doimiysi hisoblanadi.

Umuman olganda, issiqlik sig‘imini klassik va kvant nazariyalari asosida o‘rganish moddalarning mikroskopik tuzilishi bilan ularning makroskopik termik xususiyatlari o‘rtasidagi bog‘lanishni chuqurroq anglash imkonini beradi. Klassik va kvant yondashuvlarning o‘zaro uyg‘unligi moddalarning issiqlik xossalarini keng harorat oralig‘ida tushuntirish uchun muhim nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. M.A.Karabayeva. “Molekulyar fizika”. Toshkent. “Universitet”. 2014.
2. D.Kamalova va b. “Gazlarda tok. mustaqilmas va mustaqil gaz razryadlar”. Buxoro davlat universiteti Ilmiy axboroti. №7/2025. 2025.
3. D.Kamalova va b. “Termodinamika asoslari”. Yosh olimlar ilmiy-amaliy konferensiyasi. 76-85 b. 2025.
4. D.Kamalova va b. “Fizikadan “Issiqlik oqimi, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti” mavzusini o'qitishda pedagogik texnologiyalardan foydalanish”. Ijtimoiy-gumanitar, aniq va tabiiy fanlarda talabalar ilmiy-tadqiqot faoliyati istiqbollari. 375-387 b. 2025.