

NAZARIY FIZIKA KURSI

IV

**A.A. ABDUMALIKOV,
R. MAMATQULOV**

**TERMODINAMIKA
VA STATISTIK
FIZIKA**

NAZARIY FIZIKA KURSI

*Pfof. A.A. Abdumalikov umumiy tahriri
ostida*

4- JILD



«Voris nashriyot» MChJ
Toshkent – 2006

A.A. ABDUMALIKOV, R. MAMATQULOV

TERMODINAMIKA VA STATISTIK FIZIKA

*Ozbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan universitetlar va pedagogika institutlari uchun darslik
sifatida tavsiya etilgan*

**«Voris nashriyot» MChJ
Toshkent – 2006**

Taqrizchilar: prof. **A. Boydedaev**,
prof. **M. Rasulova**.

Mazkur darslik statistik fizika, termodinamika va kinetika fanining asoslarini o'z ichiga olgan. Mavzularni tanlash va ularni bayon qilishda Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti nazariy fizika kafedrasida ishlab chiqilgan namunaviy o'quv dasturga amal qilindi. Darslikda asosiy e'tibor statistik fizika, termodinamika va kinetika asoslarini ko'rsatishga, ularning mohiyatini ochishga va muhim effektlarni yoritishga qaratilgan. Ushbu darslik oliy ta'lim muassasalari fizika, astronomiya va texnika yo'nalishida ta'lim olayotgan talabalarga mo'ljallangan.

SO'ZBOSHI

Nazariy fizika bo'limlarini qamrab olgan va bir butun holda yozilgan o'zbek tilidagi darslikning mavjud emasligi 4 jildlik «Nazariy fizika kursi» darsligini yaratishni taqozo qiladi. O'quvchilarga taklif qilinayotgan ushbu kitob nazariy fizika kursi bo'yicha darsliklarning to'rtinchi jildi hisoblanadi. Termodinamika, statistik fizika va kinetika nazariy fizikaning asosiy bo'limlaridan bo'lib, bir-biri bilan uzviy bog'langandir. Nazariy fizikaning bu bo'limlari juda ko'p atom va molekulalardan tashkil topgan makroskopik sistemalar – gazlar, suyuqliklar va qattiq jismlarda o'tadigan issiqlik jarayonlarini o'rganadi.

Darslikning birinchi bobida statistik fizikaning asosiy tasavvurlari – fazalar fazosi, statistik fizikaning asosi bo'lgan Liuvill teoremasi, termodinamik kattalikni o'rtachalashda ergodik teoremaning o'rni va statistik taqsimot bayon qilingan.

Ikkinchi bob statistik mexanikaning umumiy metodlariga bag'ishlangan bo'lib, u yerda Gibbsning mikrokanonik va kichik kanonik taqsimotlarining xarakterli xususiyatlari tahlil qilingan. Gibbsning klassik va kvazi klassik taqsimotlari asosida umumiy fizika kursidan ma'lum bo'lgan Maksvell, Maksvell-Bolsman taqsimotlari nazariy yo'l bilan keltirib chiqarilgan va ularning tatbiq qilinish sohalari ko'rsatilgan.

Statistik va fenomenologik termodinamikaga kitobning uchinchi bobi bag'ishlangan. Termodinamikaning asosiy tushunchalariga ta'rif berilgan. Muvozanatdagi va muvozanatda bo'lmagan sistemalarda o'tadigan jarayonlar termodinamik metodlar asosida ko'rib chiqilgan. Termik va kalorik tenglamalar, termodinamikaning uchta qonuni batafsil o'rganilgan. Bundan tashqari, qaytmas va qaytuvchi jarayonlar ham ko'rib chiqilgan. Olingan natijalar gazlar, suyuqliklar va qattiq jismlar termodinamikasini o'rganishga tatbiq qilingan.

Kitobning to'rtinchi bobida zarralar soni o'zgaruvchi sistemalar termodinamikasi statistik fizika metodlari yordamida o'rganilgan. Bunday sistemalarni o'rganishda muhim bo'lgan Gibbsning katta kanonik taqsimoti keltirib chiqarilgan. Statistik yig'indi yordamida termodinamik kattaliklarni hisoblash

mumkinligi ko'rsatilgan. Olingan natijalar asosida nurlanish termodinamikasi, gomogen va geterogen sistemalardagi muvozanat va barqarorlik shartlari ko'rib chiqilgan. Bobning yakunida faza o'tishlarining Yang-Li va Landau nazariyasi bayon qilingan.

Ideal sistemalar statistikasiga beshinchi bob bag'ishlangan. Statistik nazariya asosida Maksvell, Maksvell-Bolsman, Boze-Eynshteyn va Fermi-Dirak taqsimotlari olingan. Bu taqsimotlarni yuqori va past temperaturalar sohasida tatbiq qilish bayon qilingan. Bir atomli kvant ideal gazlar uchun termodinamik kattaliklarni hisoblash yo'llari ko'rsatilgan. Bu yerda Boze-Eynshteyn kondensatsiyasining fizik ma'nosi kvant nazariyasi asosida ochilgan. Bu boradagi zamonaviy yutuqlarga alohida e'tibor berilgan. Qattiq jismlar issiqlik sig'imi nazariyasi va past temperaturalarda tajriba natijalari bilan mos tushuvchi Debay nazariyasi berilgan. Ko'p atomli molekulalardan tashkil topgan ideal gazlar issiqlik sig'imi klassik va kvant nazariyalari asosida bayon qilingan. Manfiy absolut temperaturaning mavjudligi termodinamika, statistik fizika va kvant nazariyasi nuqtayi nazaridan ko'rsatilgan.

Kitobning oltinchi bobida noideal sistemalar statistik nazariyasi bayon qilingan. Bu yerda noideal bir atomli gaz holat tenglamasi o'rganilgan. Bunday sistemalarni o'rganishda korellatsion funksiyalar metodi muhimdir. Bu metod bir qator olimlar tomonidan ishlab chiqilgan. Bu darslikda N.N.Bogolyubov ishlab chiqqan zanjir tenglamalar sistemasi bayon qilingan va uni tuzish yo'llari ustada to'xtalib o'tilgan.

Fluktuatsiya hodisasi, fluktuatsiyaning termodinamik va statistik nazariyalariga ettinchi bob bag'ishlangan. O'lchov asboblarning sezgirligi fluktuatsiya bilan bevosita bog'liq ekanligi va Naykvist nazariyasi bayon qilingan. Osmonning rangi va Reley sochilishi tahlil qilingan.

Kitobda nomuvozanat jarayonlar termodinamikasi sakkizinchi bobda keltirilgan. Onzager prinsipi ko'rib chiqilgan va ayqash hodisalarni o'rganishga tatbiq qilingan. Nochizikli nomuvozanat termodinamika to'g'risida tushunchalar berilgan.

Darslikda kinetikaga katta e'tibor berilgan. Kinetik muammoning kelib chiqish sabablari va uni bartaraf qilish yo'llari ko'rsatilgan. Broun harakatining Smoluxovskiy va Eynshteyn nazariyalari berilgan. Smoluxovskiy tenglamasi asosida Fokker-Plank va kinetik balans tenglamalarini chiqarish ko'rsatilgan.

Siyrak gazlar uchun Bolsman tenglamasining tahlili, H- teorema va entropiyaning o'sish qonunining isboti o'ninchi bobda keltirilgan. Bolsman tenglamasining statsionar yechimi, lokal taqsimot funksiyasi, Hidrodinamika tenglamasi olingan. Bogolyubovning kinetik zanjir tenglamasi metodik nuqtayi nazardan ishlab chiqilgan. Bu tenglamadan xususiy hollarda o'zi moslashgan va Vlasovning chiziqli tenglamalarining olinishi ko'rsatilgan.

Darslikda bayon qilingan nazariy mavzularni amaliy mustahkamlashga katta e'tibor qaratilgan. Shu maqsadda har bir bob oxirida mavzularga mos keluvchi masalalar va sinov savollari keltirilgan. Ba'zi masalalar yechimlari bilan berilgan.

Darslikda mavzularni tanlashda universitetlar uchun ishlab chiqilgan «Statistik fizika, termodinamika va kinetika kursi bo'yicha namunaviy dastur» asos qilib olingan. Kursni bayon qilish metodikasi O'zbekiston Milliy universiteti fizika fakulteti nazariy fizika kafedrasida orttirilgan ko'p yillik katta tajribaga asoslangan.

Darslik O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi qoshidagi «Fan va texnologiyalar markazi» 4 И-2-17 sonli innovatsion loyiha doirasida yozilgan.

Darslikni yaratilishida fikr-mulohazalarini bildirgan taqrizchilar prof. A.A. Boydedaev va prof. M. Rasulovga mualliflar o'z minnatdorchiliklarini bildiradilar.

KIRISH

Termodinamika va statistik fizika moddaning fizik xossalari o'rganishda muhim ahamiyat kasb etib, materiyaning issiqlik harakat formasini o'rganadi. Ularning asosiy mazmuni issiqlik muvozanat holatda bo'lgan ko'p sondagi zarralardan tashkil topgan makroskopik sistemada issiqlik harakat qonuniyatlari va unda o'tayotgan jarayonlarni, eng avvalo termodinamik metod, so'ng esa statistik metod yordamida o'rganishdan iborat.

Termodinamika fenomenologik xarakteriga ko'ra, issiqlik muvozanatda bo'lgan sistemada o'tadigan jarayonlarni o'rganishda oshkora ravishda biror fizik tasavvur yoki modeldan foydalanmaydi. Masalan, moddaning atom yoki molekulalardan tashkil topganligini nazarga olmasdan energiya, entropiya, erkin energiya kabi abstrakt kattaliklar orasidagi bog'lanishlarni aniqlaydi va fundamental qonuniyatlarni kashf qilishga olib keladi. Termodinamika fizik hodisalarni o'rganishda fenomenologik yondashish qanchalik muhim ekanligini namoyish qiladi. Ammo issiqlik harakat qonunlarini o'rganishda qanchalar muhim natijalarga kelsada, uning xususiyatlarini chuqur o'rganishni chegaralaydi va tekshiriladigan fizik hodisalarning ichki tabiatini ochishga imkon bermaydi.

Statistik fizika kvant mexanika bilan bir qatorda zamonaviy fizikaning asosini tashkil qiladi va mikroskopik nazariyaga tayangan holda fizik hodisalarni har tomonlama o'rganadi. Statistik fizika katta sondagi zarralardan (molekulalar, atomlar, protonlar, elektronlar, fotonlar, neytronlar va boshqa zarralardan) tashkil topgan makroskopik sistemalarning xususiyatlarini, unda o'tayotgan jarayonlarni, qonuniyatlarni mikroskopik nuqtayi nazaridan o'rganuvchi va tekshiruvchi bo'limi hisoblanadi.

Moddalarning tuzilish modellariga bog'liq holda statistik fizika – klassik va kvant statistikaga bo'linadi. Agar makroskopik sistemani tashkil qilgan atom va molekular klassik mexanika qonuniyatlari bo'yicha harakatlanadi deb hisoblasak,

bir qator hodisalar to'la holda tavsiflanadi. Bu holda moddaning klassik modeli tanlanadi. Ana shu model asosida tuzilgan statistik fizika qisqacha klassik statistika yoki statistik mexanika deb yuritiladi.

Agar makroskopik sistemani tashkil etgan zarralar kvant mexanika qonuniyatlariga bo'ysunsa, u holda moddaning kvant modeli tanlanadi va shu model asosida tuzilgan statistik fizika kvant statistik fizika deb yuritiladi.

Bundan tashqari, statistik fizika, mos ravishda, muvozanatli jarayonlar va nomuvozanatli jarayonlar nazariyasiga bo'linadi. Birinchi holda nazariya vaqtga bog'liq bo'lmagan ehtimollik va o'rtacha qiymat bilan ish ko'rsa, ikkinchi holda esa vaqtga bog'liq bo'lgan ehtimollik va o'rtacha qiymat bilan ish ko'radi. Shunday qilib, statistik fizikada to'rtta nazariy bo'lim mavjud (jadvalga qarang).

Jarayonlar tipi	Model	
	klassik	kvant
Muvozanatli jarayonlar	muvozanatli jarayonlar klassik statistikasi (statistik mexanika)	muvozanatli jarayonlar kvant statistikasi (kvant statistika)
Nomuvozanat jarayonlar	nomuvozanat jarayonlar klassik statistikasi (klassik kinetika)	nomuvozanat jarayonlar statistikasi (kvant kinetika)

Statistik fizika metodi fizikaning barcha sohalarida qo'llaniladi: gazlar fizikasida, suyuqlik va qattiq jismlar, atom yadrosiga, kosmik fazalarda yorug'likning tarqalishida, yulduzlar nazariyasida va hokazo.

I bob

STATISTIK FIZIKANING ASOSIY TASAVVURLARI

Sistema holatini xarakterlaydigan fizik kattaliklarning ansambl va vaqt bo'yicha o'rtacha qiymatlari orasidagi bog'lanishni aniqlashda ergodik gipoteza katta o'rin tutadi.

1.1. Statistika fizika vazifalari

Statistika fizika atom, molekula, ion kabi juda ko'p zarralardan tashkil topgan sistema – makroskopik sistemalarning xossalari, ularda kechadigan jarayonlarni va qonuniyatlarni o'rganadi. Bunday sistemalarning xossalari kam zarrali sistemalar xossalariidan tubdan farq qiladi. Makroskopik sistemaning zarralari klassik yoki kvant fizika qonunlariga bo'ysunishiga qarab klassik va kvant statistik fizika bo'linadi. Bu holatdan qat'iy nazar makroskopik sistemalarda statistik qonuniyatlar o'rinni bo'ladi.

Mikroskopik fizika nuqtayi nazaridan makroskopik sistemani tashkil qilgan hamma zarralarning o'rni va harakat qonuniyatlari ma'lum bo'lsa, uning holati aniqlangan deyiladi. Boshlang'ich vaqtda ayrim zarralarning o'rni va ularning harakati qonuniyatlarini bilgan holda, klassik mexanika yoki kvant mexanika qonunlari bo'yicha ularni keyingi ixtiyoriy vaqt momentidagi holatini aniqlash mumkin. Shunday qilib, berilgan vaqtda makroskopik sistema holatini aniqlab qolmasdan, balki vaqt davomida bu holatning o'zgarishini ham kuzatish mumkin. Ammo sistema mikroholatining vaqt bo'yicha o'zgarishi, zarralarning ko'pligi va ularning doimiy harakati tufayli, g'oyat murakkab va chigal xarakterga ega bo'ladi.

Makroskopik sistemaning xossalari klassik yoki kvant fizika qonunlari yordamida o'rganishga harakat qilish nimalarga olib kelishini ko'rib chiqaylik. Har bir zarra uni o'rab turgan zarralar hosil qilgan maydon va tashqi maydon ta'sirida harakat qiladi. Har ikkala tipdagi maydon ta'sirida harakat qilayotgan zarralar uchun harakat tenglamalarini yozish mumkin. Bunday

tenglamalar soni sistemaning erkinlik darajasiga teng bo'ladi. Sistema ta zarradan tashkil topgan bo'lsa, tenglamalar soni $3N$ ta bo'ladi. Bunday tenglamalarni yechish amalda bajarib bo'lmaydigan vazifadir. Bu masala amalga oshirilgan taqdirda ham barcha zarralar uchun boshlang'ich shartlarni yozib bo'lmaydi, demak, bu shartlarni qanoatlantiruvchi yechimni ham yozib bo'lmaydi. Shuning uchun uning dinamik harakatlarini amalda tadqiq qilish mumkin emas.

Xulosa. Juda ko'p zarralardan tashkil topgan sistemaning xossalari klassik yoki kvant mexanika tenglamalari orqali o'rganib bo'lmaydi.

Demak, makroskopik sistema holatini aniqlash uchun yangi tipdagi qonuniyat – statistik qonuniyatni yaratish masalasiga olib keladi. Bu masala ehtimollik nazariyasi bilan uzviy bog'langandir. Shunday qilib, statistik fizikaning asosiy vazifasi ehtimollik nazariyasiga asoslanib, taqsimot funksiyalarini topish, makroskopik sistemaning fundamental qonuniyatlarini kashf etish, tushuntirish, sistema holatini xarakterlovchi termodinamik kattaliklarni va ular orasidagi asosiy munosabatlarni topishdan iboratdir.

1.2. Fazalar fazosi

Makroskopik sistema holatini, umuman olganda, klassik yoki kvant mexanika yordamida tavsiflash mumkinligini yuqorida eslatib o'tdik. Qulaylik uchun avval klassik mexanika o'rinli deb qaraylik.

Makroskopik sistema sifatida N ta bir xil zarralardan tashkil topgan V hajmli ideal gazni olib qaraylik. Statistik fizikada sistema holatini qo'shma parametrlar majmuasi (q_i, p_i) bilan tavsiflash qabul qilingan. Bu yerda q_i – umumlashgan koordinatalar, p_i – umumlashgan impulslar ($i = 1, 2-3N$). Zarralarning har birini uchta erkinlik darajasiga ega bo'lgan moddiy nuqta deb qaraylik.

Klassikada o'zaro ta'sirlashmaydigan N zarradan tashkil topgan mexanik sistemaning har bir erkinlik darajasiga to'g'ri kelgan umumlashgan koordinata va impuls vaqtga bog'lanishi birinchi tartibli $6N$ Gamilton tenglamalar sistemasi

$$p_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i}, \quad q_i = \frac{\partial H}{\partial p_i} \quad (1.1)$$

bilan aniqlanadi. Bu yerda p_i - umumlashgan impulslar quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$p_i = \frac{\partial H}{\partial \dot{q}_i}.$$

$H(q, p) = T(p) + U(q)$ - Gamilton funksiyasi.

Mikroskopik sistemani Gamilton tenglamalari sistemasining o'rniga $3N$ ta ikkinchi tartibli Lagranj tenglamalari sistemasi

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, 3N \quad (1.2)$$

bilan ham tavsiflash mumkin. Bu yerda $L(q, \dot{q}) = T(\dot{q}) - U(q)$ - sistemaning Lagranj funksiyasi, $T(\dot{q})$, $U(q)$ - mos ravishda sistemaning kinetik va potensial energiyasi.

Langranj va Gamilton formalizmlari ekvivalent bo'lib, birday natijaga olib keladi. Bu tenglamalar sistemasining yechimi umumlashgan koordinata q_i larning vaqtga va $6N$ ta boshlang'ich shartga bog'lanishini beradi.

Bizga ma'lumki, bunday katta sondagi tenglamalar sistemasini aniq yechish mumkin emas. Shuning uchun, katta sondagi zarralardan tashkil topgan makroskopik sistema holatini tavsiflashda mexanik metoddan tubdan farq qiladigan yangi metodni izlab topish kerak. Ana shunday metod - statistik metoddir. Bu metodni o'rganish bizning asosiy vazifamizdir.

Hozir esa mexanika masalalarini tahlil qilishda ko'p qo'llaniladigan fazalar fazosi metodi bilan tanishib chiqamiz. Bu metod Gamilton prinsipi bilan bog'langan. Koordinata o'qlari umumlashgan koordinatalar q_1, q_2, \dots, q_N va umumlashgan impulslar, p_1, p_2, \dots, p_N dan iborat bo'lgan $6N$ o'lchovli faraziy ortogonal fazo kiritamiz. Bunday fazo - fazalar fazosi deyiladi. Bunday fazoning har bir nuqta sistemaning dinamik mikroholatini ifodalaydi.

Birorta metod yordamida kanonik tenglamalar sistemasi (1.1) ning yechimini topdik deb faraz qilaylik. Ya'ni:

$$\begin{aligned} q_1 &= q_1(c_1, c_2, \dots, c_{6N}, t), & p_1 &= p_1(c_1, c_2, \dots, c_{6N}, t), \\ q_2 &= q_2(c_1, c_2, \dots, c_{6N}, t), & p_2 &= p_2(c_1, c_2, \dots, c_{6N}, t), \\ &\dots\dots\dots & & \\ &\dots\dots\dots & & \\ q_{3N} &= q_{3N}(c_1, c_2, \dots, c_{6N}, t), & p_{3N} &= p_{3N}(c_1, c_2, \dots, c_{6N}, t) \end{aligned} \quad (1.3)$$

funksiyalar ma'lum bo'lsin. Bu yerda $c_1, c_2, \dots, c_{6N} - 6N$ ta boshlang'ich shartlarga mos keluvchi harakat integrallaridir. Fazalar fazosidagi har bir nuqta sistemaning aniq vaqt momenti-dagi mikro holatini aks ettiradi.

Fazoviy koordinata sistemasidagi nuqtadan farq qilish uchun fazalar fazosidagi nuqta tasviriy nuqta deb ataladi. Fazalar fazosidagi sistema holatining o'zgarishini aks ettiruvchi traek-toriya tasviriy traektoriya yoki sistemaning faza portreti deyiladi. Sodda qilib gapirganda faza portreti (1.1) tenglamalardan kelib chiqadigan $p = p(q, c)$ bog'lanishlar grafigidir. Demak, metodning afzalligi shundan iborat ekanki, (1.1) tenglamalarni yechmasdan sistemaning faza portretidan foydalanib fazalar fazosida sistema harakatining umumiy xususiyatlarini o'rganish mumkin. Shuni ta'kidlash lozimki, bu metod sistemaning erkinlik darajasi juda ko'p bo'lgan (makrosistema) hollarda avval-giday murakkab matematik masalaga aylanadi. Shunga qara-masdan statistik fizika asoslarini yaratishda muhim rol o'ynaydi.

Bu tushunchalarni bir erkinlik darajasiga ega bo'lgan sis-tema uchun ko'rib chiqamiz. Soddalik uchun chiziqli garmo-nik ossillatorning fazaviy traektoriyasini o'rganaylik. Garmo-nik ossillator kvazielastik kuch $F = -kx$ ta'siri ostida $x = 0$ nuqta atrofida harakat qilsin. Harakat tenglamasi

$$x + \omega^2 x = 0$$

ko'rinishda bo'ladi. Bu yerda $\omega = \sqrt{k/m}$, k - elastiklik koef-fitsiyenti, m - ossillatorning massasi. Tenglama yechimini

$$x = A \sin(\omega t + \alpha)$$

ko'rinishda qidiramiz. U holda ossillator impulsi

$$p = A \omega m \cos(\omega t + \alpha).$$

Koordinata va impuls ifodalaridan vaqtni yo'qotamiz hamda natijada:

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{p}{A\omega m}\right)^2 = 1 \quad (1.4)$$

tenglikni hosil qilamiz. Bu esa yarimo'qlari $a = A$ va $b = A\omega m$ bo'lgan ellips tenglamasidir. Demak, chiziqli garmonik ossillator-ni fazalar fazosidagi tasviriy traektoriyasi yoki faza portreti ellipsdan iborat ekan.

Ellipsning yuzasi

$$S = \oint p dx = \pi m \omega A^2,$$

ossillatorning energiyasi esa

$$H = \varepsilon = \frac{p^2}{2m} + \frac{kq^2}{2} = \frac{\gamma A^2}{2}$$

teng bo'ladi. Siklik chastota $\omega = 2\pi\nu$ ekanligini hisobga olsak, garmonik ossillyator energiyasi yoki davriy harakat bajarayotgan bitta zarradan tashkil topgan sistemaning energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\varepsilon = \nu \oint p dq. \quad (1.5)$$

Bu yerda koordinata va impuls umumlashgan koordinata va impuls bilan almashtirildi.

Katta sondagi zarralardan tashkil topgan sistema uchun fazalar fazosi ham ko'p o'lchamli bo'ladi, bu holda (1.1)ni grafik holda tahlil qilish amalda mumkin emas. Shunday bo'lsada bu tushuncha statistik fizikada muhim ahamiyatga ega. Bunda fazalar fazosining elementar hajmini bilish muhimdir va uning elementar hajmi

$$d\Gamma = \prod_i dq_i dp_i, \quad (i = 1, 2, \dots, 3N)$$

ko'rinishda yoziladi.

Biz endi sistema kvant mexanika qonuniyatiga bo'ysunuvchi N ta zarralardan tashkil topgan deb qaraylik, u holda sistema mikroholatlarini aniqlash uchun N ta Shredinger tenglamasini yechish kerak. Bu masalani ham umumiy ko'rinishda yechish mumkin emas. Agar sistemani bir o'lchamli potensial o'rada harakat qilayotgan bitta kvant zarradan tashkil topgan deb qarajak, kvant mexanika umumiy qoidalarga asosan energiya va impuls uchun

$$p_n = \frac{hn}{2a}, \quad \varepsilon_n = \frac{h^2 n^2}{8ma^2} \quad (1.6)$$

ko'rinishdagi ifodalarni yozish mumkin. Bu yerda: p_n va ε_n - mos ravishda kvant zarra impulsi va energiyasi; n - kvant son, a - potensial o'ra o'lchami; $h = 6,62 \cdot 10^{-27}$ erg·s - Plank

doimiysi. Ikkinchi misol sifatida garmonik kvant ossillyatororini ko'ramiz. Uning energiyasi

$$\varepsilon_n = h\nu \left(n + \frac{1}{2} \right). \quad (1.7)$$

Kvaziklassik yaqinlashishda zarraning fazalar fazosida chizgan yuzasi, ya'ni holat yuzasi Bor-Geyzenberg qoidasiga ko'ra kvantlanadi:

$$\varepsilon_n = \nu \oint p_n dq = h\nu n.$$

n holatga mos kelgan ellips yuzasi esa $(n - 1)$ holatga to'g'ri kelgan yuzadan « h » ga farq qiladi, ya'ni

$$\oint p_n dx - \oint p_{n-1} dx = h.$$

Demak, fazalar fazosida ossillyatorning har bir kvant holatiga yuzasi h ga teng bo'lgan «katakcha» to'g'ri kelar ekan. Uch o'lchamli potensial o'rada harakatlanuvchi kvant zarrani olib qarasak, unga fazalar fazosida hajmi h^3 ga teng bo'lgan kvant holati to'g'ri keladi. Ozodlik darajasi f bo'lgan sistemaga h^f hajmli kvant holat to'g'ri keladi. Uch o'lchamli potensial o'rada kvant zarra impulsi $p_n = hn/2a$, energiyasi $\varepsilon_n = h^2 n^2 / 8ma^2$ bo'ladi; bu yerda $n^2 = n_1^2 + n_2^2 + n_3^2$ ($n = 1, 2, \dots$) - x, y, z yo'nalishlar bo'yicha kvant sonlari.

Bir xil energiyali holatlar soni aynish karraligi yoki kvant holatlar soni, yoki statistik vazn deb ataladi. Kvant holatlar sonini bilish statistik fizikada muhim o'rin tutadi va odatda $\Omega(\varepsilon)$ yoki $g(\varepsilon)$ kabi belgilanadi, $\varepsilon, \varepsilon + d\varepsilon$ energiya intervaliga to'g'ri kelgan kvant son $d\Omega$ bilan belgilanadi.

Kvant holatlar sonini hisoblash uchun shu energiyaga to'g'ri kelgan fazalar fazosi hajmini bitta kvant holat hajmiga bo'lish kerak, ya'ni $\Omega(\varepsilon) = \Gamma(\varepsilon)/h^3$. Sistemaning erkinlik darajasi f ta bo'lsa, kvant holatlar soni

$$\Omega(\varepsilon) = \frac{\Gamma(\varepsilon)}{h^f}, \quad d\Omega(\varepsilon) = \frac{d\Gamma(\varepsilon)}{h^f} = \frac{1}{h^f} \frac{\partial \Gamma(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} d\varepsilon,$$

bu yerda Γ - fazalar fazosining hajmi. Kvant holatlar soni multiplikativ qonuniga bo'ysunadi:

$$\Omega = \prod_i \Omega_i,$$

ISBN 978-9943-304-07-09

«VORIS-NASHRIYOT»