

FERMI-DIRAK VA BOZE-EYNSHEYN STATISTIKASI

Urinov Shavkatjon Abduqayumovich
*Farg'ona "Temurbeklar maktabi" harbiy
litseyi oliy toifali fizika fani o'qituvchisi*

Annotatsoya: *Maqolada Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn statistikasini keng kamrovda yoritib beriladi*

Kalit so'zlar: *taqsimot, kvant fizikasi, klassik fizika, Maksvell-Bol tsman taqsimoti, Fermi-Dirak taqsimoti, Boze-Eynshteyn taqsimoti, kvant zarra, to'lqin funktsiya, kimyoviy potentsial, elektron, bozon, fermion, proton, foton, fonon mezon.*

Kvant mexanikasiga muvofiq barcha zarralar ikki sinfga bo'linadi: birinchi sinfga elektronlar, protonlar, neytronlar, ya'ni yarim spinli deb ataluvchi barcha zarralar kiradi. Bu zarralar fermionlar deb ataladi va bu zarralar Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunadi. Ikkinchi sinfga fotonlar π va κ mezonlar va butun spinli barcha zarralar kiradi. Bu zarralar Bozonlar deb ataladi va ular Boze-Eynshteyn statistikasiga bo'ysunadi. Biz avval ko'rib o'tgan Bolsman yoki Maksvell-Bolsman statistikasi deb ataluvchi statistika tahminiy bo'lib, ma'lum shart-sharoitlarda Fermi-Dirak va Boze-Eynshteyn statistikasi bilan mos tushadi. Biz bu yerda faqatgina bu uchchala statistikada kvant nuqtai nazaridan yuritiladigan mulohazalarda ularning umumiy va farqlanadigan tomonlari ustida to'xtalib o'tamiz.

Kvant mexanikasi zarralarining holatlarini koordinatalari va impulslari orqali tavsiflashdan voz kechadi. Kvant mexanikasi, diskret energiyali holatlar bor, deb hisoblaydi. Sistema yoki zarra bir holatdan ikkinchi holatga uzluksiz o'ta olmaydi, chunki oraliq holatlar yo'q. O'tish, sakrash yo'li bilan amalga oshadi. Bu holatlar molekula energiyasining muayyan qiymatlari yoki energiya sathlari $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots$ lar bilan xarakterlanadi.

Har uchchala statistikada ham yo'l qo'yiladigan mikroholatlar teng ehtimolli deb qaraladi. Ammo bu statistikalar bir-biridan mikroholatlarning va makroholatlarning statistik vaznlarini qanday aniqlashi bilan farq qiladi. Bolsman statistikasida, zarralar mutlaq ayniy bo'lsa ham ular prinsipial farqlidir, deb faraz qilinadi. Masalan: A zarra bir kvant holatda, V zarra ikkinchi kvant holatda turgan bo'lsa, bu zarralar o'rin almashganlarida yangi mikroholat yuzaga keladi. Fermi-Dirak va Boze-Eynshteynning statistikolari aksincha, bunday o'rin almashtirishda hech qanday o'zgarishlar bo'lmaydi, ya'ni avvalgi mikroholat yuzaga keladi deb hisoblaydi. Ular orasidagi farq shundan iboratki, Fermi-Dirak statistikasida har bir kvant holatida bittadan ortiq zarra bo'la olmaydi deb hisoblansa, Boze-Eynshteyn statistikasida bunday cheklanishlar qo'yilmaydi. Fermionlar va bozonlarning bunday tabiati kvant mexanikasida asoslab beriladi. Biz bu yerda faqat yuqorida aytilganlar bilangina cheklanamiz.

Klassik molekulyar statistik fizikada zarralarni elatik sharcha sifatida qarash mumkin. Bunda har bir sharni ikkinchisidan ajrata olish mumkin edi. SHunday zarralardan ko'p sonlisini ko'rishda esa Maksvell-Bol tsman taqsimotidan foydalaniladi (rasm).

Kvant zarralarning maxsus xususiyatlari ularni bir-biridan ajratishga imkon bermaydi. Agar ikkita massalari, zaryadlari va spinlari bir xil bo'lgan zarralar to'qnashsa, biz xech qanday usul bilan ularning qaysi biri birinchi va qaysi biri ikkinchi zarra ekanligini ayta olmaymiz. YA`ni kvant fizikada bir xil zarralarning farqlanmasligi printsipti ta`riflangan: bir xil zarralarni eksperimental ajratish mumkin emas.

Ikkita zarradan iborat sistemaning xolati

Ikkita zarradan iborat sistema xolatini ko'rib chiqamiz. Bu xolat to'liqin funktsiya $\psi(x_1, x_2)$ bilan ifodalanadi, bu yerda x_1 va x_2 lar mos xolda birinchi va ikkinchi zarralarning fazoviy va spin koordinatalari yig'indisi. Agar zarralarning o'zni almashinsa, u xolda ikkita variant yuz berishi mumkin:

1. Zarralar sistemasi xolati o'zgarmaydi va uni matematik tarzda:

$\psi(x_1, x_2) = \psi(x_2, x_1)$ (1) ko'rinishda yozish mumkin. Bunday xossaga ega to'liqin funktsiyalar simmetrik deb ataladi.

2. Sistema xolati shunday o'zgaradiki, bunda to'liqin funktsiya ishorasini o'zgartiradi

$\psi(x_1, x_2) = -\psi(x_2, x_1)$ (2). Bunday to'liqin funktsiyalar antisimmetrik deb ataladi.

To'liqin funktsiyalarning simmetriyasi zarralar spini bilan aniqlanishini ko'rsatish mumkin. Simmetrik to'liqin funktsiya bilan to'liq sonli spinga ega zarralar sistemasi ifodalanadi(jumladan nolinci spin). Bunday zarralarga fotonlar kiradi. YArimbutun spinli zarralar sistemasi bilan antisimmetrik to'liqin funktsiyasi ifodalanadi. Bunday zarralardan biri elektrondir. Aynan yarim spinli zarralar uchun Paulining taqiqlash printsipti bajariladi, ya`ni birgina kvant sistemasida bir xil xolatdagi ikkita zarra bo'lishi mumkin emas.

SHuni eslatib o'tamizki, to'liqin funktsiya kvadrati berilgan vaqtda berilgan nuqtada zarrani topish ehtimolligini beradi. YOki bizning misolda-berilgan koordinatali nuqtada berilgan spinli zarrani topish ehtimolligini beradi. U xolda farqsizlik printsipti:

$$|\psi(x_1, x_2)|^2 = |\psi(x_2, x_1)|^2 \quad (3) \quad \text{ko'rinishga keladi. Zarralar simmetrik yoki}$$

antisimmetrik to'liqin funktsiyaga egaligiga bog'liq bo'lmagan xolda, agar zarralar joylarini almashtirsalar (bini biz eksperimentda sezmaymiz) –zarralar farqsiz bo'ladilar. Bol tsman taqsimoti funktsiyasining xulosasi ham har bir zarraning individualligiga asoslangan.

1924 yilda xind fizigi SH.Boze fotonlar bol tsman taqsimotiga bo'ysunmasligini aniqladi. U fotonlar uchun yangi taqsimot funktsiyasini taklif etdi va keyinchalik buni

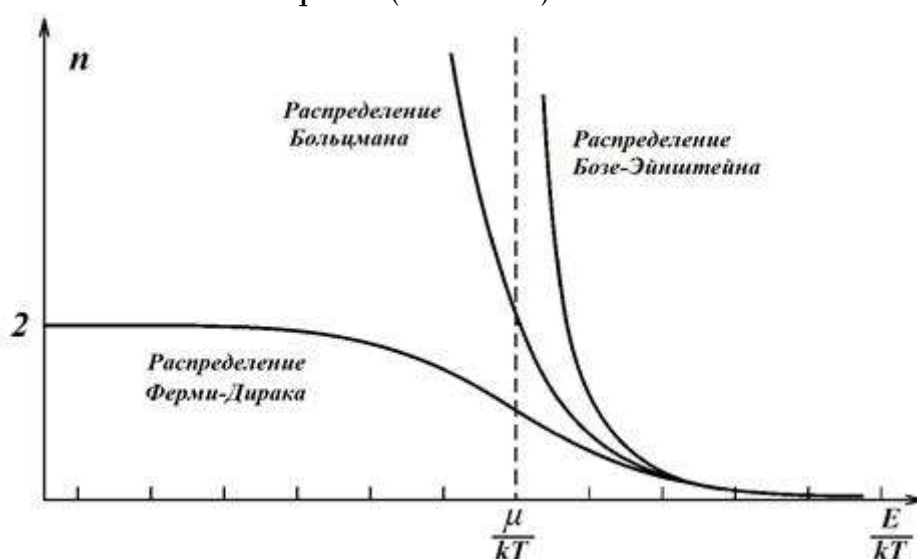
Eynshteyn massaga ega bo'lgan fotonlar uchun umumlashtirdi. Bu funktsiya Boze-Eynshteyn taqsimoti nomi bilan taniqli va

$$f(E) = \frac{1}{e^{(E-\mu)/kT} - 1} \quad (4)$$

ko'rinishga ega bo'lib, bu yerda k –Boltsman doimiysidir.

$f(E)$ funktsiya qiymati ye energiyali zarralarni topish ehtimolligi qanday ekanligini ko'rsatadi, ya'ni u zarralarning energiya bo'yicha taqsimotini aks ettiradi.

Boze-Eynshteyn statistikasiga bo'ysunuvchi zarralar bozonlar deb ataladi. (4) ga kiruvchi taqsimot parametri μ kimyoviy potentsial deb ataladi. U zarralar kollektivi xolatining makroskopik parametrlari, xususan temperatura funktsiyasidir. Fotonlar, fononlar, mezonlar va boshqalar bozonlardir. Bozonlar to'liqin funktsiyasi ixtiyoriy xolatda simmetrik bo'lib qoladi (1 formula).



1-rasm. Maksvella-Bol tsman, Boze-Eynshteyn, va Fermi-Dirak taqsimoti egri chizig'i.

Agar sistemadagi zarralar soni doimiy bo'lmasa, u xolda μ q 0 ekanligini ko'rsatish mumkin va taqsimot funktsiyasi:

$$f(E) = \frac{1}{e^{E/kT} - 1} \quad (4')$$

ko'rinishga keladi.

Bunday xolat masalan, yopiq bo'shliqda fotonlar kollektivi uchun amalga oshadi. Fotonlar uzluksiz xolda bo'shliq devorlari tomonidan yutiladi va nurlanadi, ya'ni zarralar soni doimo o'zgarib turadi.

Boze-Eynshteyn taqsimoti yordamida sistemadagi qancha zarralar n soni ye energiyaga ega ekanligini tushuntirish mumkin. Zarralar sonining energiya qiymatiga bog'liqligi 1 rasmda ko'rsatilgan va u

$$n_{\text{bozon}} = \frac{1}{e^{(E-\mu)/kT} - 1} \quad (5)$$

formula bilan ifodalanadi.

Ko'rinib turibdiki, klassik zarralarda ham, bozonlarda ham ularning energetik xolatdagi soni bir bilan chegaralanmaydi. Bunda xisoblashlar shuni ko'rsatadiki, bir xil energiyali ikkita zarrani topish ehtimolligi bitta shunday zarraning paydo bo'lish ehtimolligidan katta ekan. Aniq energiyali xolatda bozonning paydo bo'lish ehtimolligi ko'rsatilgan energiyali shunday zarralar qanchalik ko'p bo'lsa shunchalik ko'p bo'ladi. Aniq kvant xolatda bozonning bo'lishi bu xolatda shunday turdagi bozonlarning bo'lish ehtimolligini oshiradi. Berilgan xossalari sistemaga lazerlar aniq misol bo'la oladi.

Biroq, Pauli printsipiga bo'ysunuvchi elektronlar va boshqa zarralarning xolati bu shartni qanoatlantirmadi. Bunday zarralar uchun italiya fizigi E.Fermi va ingliz fizigi P.Dirak yana bir taqsimotni yaratdilar:

$$f(E) = \frac{1}{e^{(E-\mu)/kT} + 1} \quad (6)$$

(6) munosabat Fermi-Dirak taqsimoti funktsiyasi deb ataladi. Fermionlar uchun kimyoviy potentsial μ goxida Fermi energiyasi deb ataladi. Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunuvchi zarralar fermionlar deb atalib, ularga elektronlar, protonlar, neytronlar, leptonlar, kvarklar kiradi. Fermionlarning to'lqin funktsiyalari doimo antisimmetrikdir.

Spin kvant sonining mavjudligidan, energiyaning har bir qiymatiga ikkita xolat mos kelishi mumkin, bunda zarralar sonining bu zarralar qanday energiyaga ega ekanligiga bog'liqligi

$$n_{\text{fermion}} = \frac{2}{e^{(E-\mu)/kT} + 1} \quad (7) \text{ ko'rinishga ega.}$$

Bu funktsiya rasmda ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, ixtiyoriy xolatdagi fermionlar soni ikki guruxga bo'linadi- to'ldirilgan va bo'sh xolat. Erkin xolat doimo Fermi sathidan yuqorida joylashadi. Sistemaning Fermi energiyasi temperaturaga kuchsiz bog'liq.

Masalan, xona temperaturasida va absolyut nolga yaqin temperaturalardagi Fermi energiyasining farqi 0,002% nigina tashkil etadi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, Fermi sathiga mos keluvchi zarralar soni birga teng, ya'ni sath yarmigacha to'ldirilgan. Bu Fermi sathining fizik ma'nosini aks ettiradi-bu sathni to'ldirish ehtimolligi $\frac{1}{2}$ ga teng (yoki 50%). YA'ni Fermi sathidan yuqorida joylashgan barcha sathlar bo'sh bo'ladi, pastda joylashgan barcha sathlar to'ldirilgan bo'ladi.

Energetik spektrda doimo energiyaning oraliq xolati mavjud.. Bu sohaning kengligi kattaligi bo'yicha bir necha kT ga teng (xona temperaturasida kT ning qiymati 0,025 eV ga teng). Bu sohada to'ldirilgan sohadan bo'sh sohaga o'tish yuz beradi. Bunday temperaturada bunday o'tish keskindir, barcha past sathlar to'ldirilgan bo'lib, yuqoridagilari umuman bo'sh bo'ladi. Bu xolda rasmdagi egri chiziq juda keskin tushishga ega.

SHunday qilib, Fermi-Dirak taqsimoti matematik tarzda yarim butun spinli zarralar xolatini aks ettiradi: Aniq kvant xolatida fermionlarning bo'lishi boshqa fermionlarning shu kvant xolatda bo'lishini ta'qiqlaydi.

SHuni qayd qilish zarurki, past temperaturalarda Boze-Eynshteyn va Fermi-Dirak taqsimotlari Maksvell-Bol tsmanning klassik taqsimotiga o'tadi.

Glosariy

thermochromic properties	Termoxromik xossa	Temperaturaga bog'liq rangni o'zgartirish
activation energy	Aktivatsiya energiyasi	To'qnashishlarda bir-biriga qanchadir qismda kirib borish uchun zarur bo'lgan minimal kinetik energiya
Energy Fermi	Fermi energiyasi	Energiya o'lchamiga ega bo'lgan kimyoviy potensial
Fermi-Dirak distribution	Fermi –Dirak taqsimoti	Matematik tarzda yarim butun spinli zarralar xolatini aks ettiredxb aeyrwbz
Boze-Eynsheyn distribution	Boze-Eynshtey taqsimoti	E energiyali zarralarni topish ehtimolligi qanday ekanligini ko'rsatedxb aeyrwbz
Paulis principle	Paulini printsipi	Birgina kvant sistemasida bir xil xolatdagi ikkita zarra bo'lishi mumkin emasligi printsipi.

ADABIYOTLAR RO'YHATI:

1. Qambarov F .F. Ionnaya implantasiya v metallic.M: Nauka I texnika, 1980-164 bet
2. Beliy A.V. Karpenko G. D. Mishkin N. K. Struktura I metodi sozdanoya iznosostoykix poverxnostnix slova. M: Nauka I texnika, 1991-175 bet
3. Beliy A.V.Kukareko V A Lobodaeva O V, Taran I I , Shix S. K . Ionno-luchevaya obrabotka metallov, splavov I keramicheskix materialov. M: Nauka I texnika, 1997-186 bet