

UNITAR SIMMETRIYA VA KVARKLAR

Javohir Toshpo‘latov

Toshmamatova Malohat

Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti talabasi.

Annotatsiya: Mazkur maqolada zarrachalar fizikasidagi unitar simmetriya tushunchasi va uning kvarklar modeli bilan bog‘liqligi ilmiy-nazariy jihatdan tahlil qilinadi. N tipidagi unitar guruhlarining zarracha spektrlarini klassifikatsiyalashdagi roli, ayniqsa simmetriyasining oktet va deкупlet multipletlari orqali adronlarning tasniflanishiga ta’sirini yoritish metodlari keltirilgan.

Kalit so‘zlar: unitar simmetriya, guruhi, kvark modeli, Gell-Mann, hadronlar, kuchli o‘zaro ta’sir, rang simmetriyasi.

20-asrning ikkinchi yarmida elementar zarrachalar sonining ko‘payishi fiziklarni ularni izchil tartibga solish uchun guruh nazariyasiga murojaat qilishga majbur etdi. Ayniqsa, kuchli o‘zaro ta’sirga duchor bo‘lgan hadronlarning spektri unitar simmetriya – N guruhlarini orqali muvaffaqiyatli tasniflandi. Bu guruhlarining har biri kvark modelining chuqurroq asoslanishiga olib keldi. Unitar simmetriya tushunchasi. Unitar simmetriya deganda, kvant maydon nazariyasida amplitudalarni saqlovchi, ya’ni ortogonal bo‘lmagan, lekin normani saqlovchi o‘zgarishlar tushuniladi. $SU(N)$ – bu determinant teng 1 bo‘lgan $N \times N$ unitar matritsalar guruhidir. Aynan kabi guruhlar kuchli va zaif o‘zaro ta’sirlar simmetriyalarini ifodalaydi. $SU(2)$ va izospin simmetriyasi. Izospin simmetriyasi proton va neytronni yagona doublet sifatida ko‘rib chiqadi. Bu simmetriya yadro kuchlari tabiatini tushuntirishga yordam bergan. 1961 yilda Gell-Mann va Ne’eman tomonidan kiritilgan simmetriyasi sakkizlik (oktet) va o‘nlik (deкупlet) multipletlar orqali barion va mezonlarni tasniflash imkonini berdi. M. Gell-Mann va G. Zweig 1964 yilda kvarklar nazariyasini taklif qilishdi. Ular engil kvarklar – u (up), d (down), va s (strange) yordamida mezon va barionlarning barcha xossalari izohlashga urindilar.

Kvark zaryadlari va Gell-Mann–Nishijima formulasi

$$Q=I_3 + \frac{Y}{2}$$

bu yerda: Q – zaryad, I_3 – izospinning proyeksiyasi, Y – g‘ayriodatiylik (hypercharge). Kvarklar hech qachon erkin holatda kuzatilmaydi – bu kvark qamalanishi (confinement) hodisasi bilan izohlanadi. Har bir kvark uch xil “rang” holatga ega: qizil, yashil va ko‘k. Faqat rangsiz (ya’ni, rang singari to‘plamlar) holatlarga tabiatda erkin bo‘lishi mumkin.

Rangli simmetriya kvant xromodinamikasining asosi bo‘lib, kuchli o‘zaro ta’sirlarni gluonlar orqali tushuntiradi. Har bir gluon o‘zi ham rangga ega bo‘lib, kvarklar orasidagi kuchli kuchlarni olib boradi.

Zamonaviy eksperimentlar, masalan Katta adron kollayderdagi kashfiyotlar, og‘ir kvarklar (c – charm, b – bottom, t – top) mavjudligini isbotladi. Har bir kvark o‘ziga xos massasi va o‘zaro ta’siri bilan ajralib turadi. Partonlar mavjudligini tasdiqlovchi eksperimental dalillar, zarrachalarning tarkibli (kompozit) tabiatini tushuntiruvchi turli nazariy modellarning ilgari surilgan davrida olindi. Bu yo‘nalishda birinchi urinishni Fermi va Yang 1949 yilda amalga oshirgan edi. Garchi ularning modeli to‘g‘ri bo‘lmagan bo‘lsa-da, u soddalashtirilgan ko‘rinishda keyinchalik muvaffaqiyatli bo‘lgan modelning muhim jihatlarini o‘z ichiga oladi va shu sababli bu murakkabroq nazariyaga kirish sifatida yaxshi xizmat qiladi. Agar zarrachalar tarkibli deb taxmin qilinsa, mavjud zarrachalarning faqat bir nechta elementar, qolganlari esa ular kombinatsiyasidan iborat deb hisoblash tabiiy bo‘ladi. Shu nuqtai nazardan qarab, Fermi va Yang o‘sha davrda tasdiqlangan yagona boshqa hadron zarracha bo‘lgan pionni - **nuklon** va **antinuklon** kombinatsiyasidan tashkil topgan deb talqin qilish mumkinligini ko‘rsatdilar. Buni izospin T va uning T_z komponenti nuqtai nazaridan quyidagicha ifodalash mumkin: izospini $T=1/2$ bo‘lgan zarracha (proton ppp yoki neytron nnn) izospini $T=1/2$ bo‘lgan antizarracha (antiproton p^- yoki antineytron n^- bilan birlashib, izospini $T=1$ bo‘lgan zarrachani (pion π) hosil qilishi mumkin. Ma’lumki, p va n zarrachalarining T_z qiymatlari mos ravishda $+1/2$, p^- va n^- antizarrachalarniki esa $-1/2$ bo‘lib, ularning kombinatsiyasi spin bo‘yicha (9-18)-ifodada bo‘lgani kabi triplet (uchlik) holatlar beradi. π^0 mezoni - izospinlarning simmetrik

kombinatsiyasi bo'lib (bu yerda zaryad konfugatsiyasi belgilariga oid konvensiyalar e'tiborga olinmaydi, chunki ular bu kontekstda ahamiyatsiz), to'g'ri normallashtirish uchun $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ko'effitsient bilan olinadi. Antisimmetrik kombinatsiya esa $(pp^- - nn^-)/\sqrt{2}$ ko'rinishda bo'lib, u izospini $T=0$ bo'lgan holatga mos keladi. Bu singlet holat η^0 mezoniga bog'lanishi mumkin edi, biroq bu zarracha 1949 yilda hali ma'lum emas edi. Shuni ham qayd etish kerakki, agar nuklon va antinuklonning spini asosan qarama-qarshi yo'nalgan bo'lsa, u holda π mezonining spini to'g'ri tarzda 0 ga teng bo'ladi va uning paritysi (simmetriya xossasi) to'g'ri tarzda manfiy bo'ladi, chunki nuklon va antinuklon qarama-qarshi paritylarga ega.

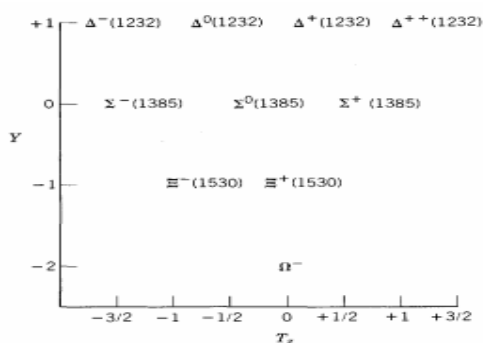
Keyinchalik muhokama qilinadigan yanada qiziqarli va murakkab modelga tayyorgarlik sifatida, yuqoridagi natijalarni guruh nazariyasi tili bilan ifodalaymiz. Bunda talabdan guruh nazariyasini bilishi talab etilmaydi. Izospin - zarracha kombinatsiyalarini qurishda markaziy rol o'ynaydi. Qanday qilib burchak momenti haqiqiy fazodagi aylanish invariantligi tufayli saqlansa, xuddi shunday tarzda izospinning saqlanishi ham zaryad (yoki izospin) fazodagi invariantlikdan kelib chiqadi. Endi, haqiqiy yoki izospin fazodagi aylanish o'zgarishlari **SU(2)** guruhi deb nomlanuvchi guruhni hosil qiladi. Bu - ikki o'lchamli maxsus unitary guruh (Special Unitary group in 2 dimensions) deganidir. Bunday transformatsiyada A ta nuklondan iborat yadroni (ulardan Z tasi proton, qolgan $A-Z$ tasi neytron bo'lsa), ayni yadroni boshqa Z' ta proton va $A-Z'$ ta neytronga ega holatga o'zgartirish mumkin bo'ladi, lekin bu o'zgarish yadroning kuchli (yadro) o'zaro ta'sirlariga oid xossalarini o'zgartirmaydi. Bu hodisa **izospin invariantligi** yoki **izospin fazodagi aylanish invariantligi** deb ataladi. **SU(2)** guruhining eng oddiy ifodasi bu $T=1/2$ bo'lib, unda proton ppp va neytron nnn mavjud. Bu ifoda odatda **2 vakillik** deb ataladi, chunki $2T+1=2(1/2)+1=2$ ta komponent mavjud. Yana bir oddiy ifoda bu antizarrachalar p^- va n^- bo'lib, ular ham $T=1/2$ ga ega va 2 vakillikka kiradi. Bizga kerak bo'lgan yagona guruh nazariyasi natijasi - bu oddiy vakilliklardan yirik vakilliklarni qurish mumkinligidir. Yuqorida ko'rib o'tganimizdek, ikkita 2-vakillikdan **singlet (1)** va **triplet (3)** holatlar hosil qilinadi. Bu yerda doiralar yoki belgilar arifmetikaga o'xshash bo'lsa-da, biz guruhlar bilan ishlayapmiz. **Singlet** va **triplet** holatlar **ajralmas** deb ataladi, chunki ular o'zaro

aylantirilmaydi. Demak, (p,n) va (p^-,n^-) kombinatsiyasidan **singlet** π^0 va **triplet** π^+, π^0, π^- holatlari hosil qilinadi. Bu - ikki spin $1/2$ li zarracha (har biri 2 komponentga ega) o'zaro qo'shilishida **spin 0** (1 komponentli) va **spin 1** (3 komponentli) holatlarni hosil qilishini shunchaki ilmiy va murakkab uslubda ifodalashdir. Shunday qilib, **SU(2)** guruhi ko'plab hadronlarni faqat izospin T asosida klassifikatsiya qilish imkonini berdi. Biroq, **g'alati zarrachalar** (ya'ni, **strangeness** ga ega zarrachalar) kashf etilganidan so'ng, **SU(2)** guruhi ularni tasniflash uchun yetarli emasligi ayon bo'ldi. Agar bu guruh tizimi foydali bo'lib qolishini istasak, undan kattaroq o'lchamli guruhga ehtiyoj tug'iladi. Shu maqsadda 1961 yilda **Gell-Mann** va **Ne'eman** bir-biridan mustaqil ravishda **SU(3)** guruhidan foydalanishni taklif etdilar. Bu yondashuv yangi kvant sonini - masalan, **strangeness (S)** ni kiritishga imkon berdi. Biroq, unga yaqin bo'lgan va qulayroq bo'lgan **giperyuk (Y)** tushunchasi joriy qilindi. Giperyuk quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$3 \cdot 3 \cdot 3 = 1 + 8 + 8 + 10$$

Bu yerda **singlet (1)**, **ikki oktet (8 ta zarrachali guruh)** va **dekuplet (O'n zarrachali toifa yoki o'nlik toifa)** ifodalar olinadi. Oktetlar mezon oktetlaridagi kabi aynan shu T_z va **giperyuk Y** kvant sonlariga ega bo'ladi. **1-rasm** buni **spin $1/2$** va **juft parity** ga ega barionlar holida ko'rsatadi. Bu yerda ham $T=0$ bo'lgan Λ^0 va $T=1$ bo'lgan Σ^0 zarrachalari $Y=T_z=0$ nuqtani egallaydi. Mazkur oktet tarkibiga **nuklonlar** (proton va neytron) hamda Σ zarrachalari kirgani uchun, bu barionlar orasida ilgari muhokama qilganlarning aksariyati shu guruhga tegishlidir. Biroq, hozirda boshqa spin va parityga ega bo'lgan barion oktetlari ham ma'lum. **(O'n zarrachali toifa yoki o'nlik toifa)** esa zarrachalarning tuzilishini chuqurroq o'rganishda ayniqsa muhim ahamiyatga ega. Bu ifoda 18-8 **asmda** tasvirlangan. Dekupletdagi zarrachalardan faqat Ω^- zaif o'zaro ta'sirlar orqali yemiriladi, qolgan barcha zarrachalar esa **kuchli o'zaro ta'sir** orqali yemiriladi. Bu qisqacha tavsifdan ham ko'rinib turibdiki, **SU(3)** guruhi zarrachalar tartibsizligidan ma'lum bir **tizimli tartib** hosil qilishda nihoyatda foydali bo'lgan. Ammo **unitar simmetriya nazariyasi**, ayniqsa **SU(3)** simmetriyasining qanday buzilishini belgilashi, faqat klassifikatsiya emas, balki **muvaffaqiyatli bashoratlar** berishda ham muhim rol o'ynadi. Eng hayratlanarli natijalardan biri bu Ω^- zarrachasining kvant sonlari va

massasining **1964-yilda kashf etilishidan oldin** bashorat qilinganidir. **1964-yilda Gell-Mann va Zweig** bir-biridan mustaqil ravishda **SU(3)** guruhining **3-vakilligi** (ya'ni, uch komponentli ifodasi) shunchaki matematik konstruksiya emas, balki **asosiy tarkibiy zarrachalarni** ifodalashi mumkinligini angladilar. **Gell-Mann bu zarrachalarga “kvarklar”** deb nom berdi. Qandayki **SU(2)** holatida **2-vakillik** $T_z = +\frac{1}{2}$ bo'lgan zarracha (proton) va $T_z = -\frac{1}{2}$ bo'lgan zarracha (neytron) ni o'z ichiga olsa, **SU(3)** holatida **3-vakillik** uchta fundamental zarrachani ifodalaydi. Bu kvarklar **Fermi–Yang modelidagi** kabi ma'lum zarrachalar bo'lishi mumkin emas edi. Masalan, agar **barionni uchta kvarkdan** yasash kerak bo'lsa, har bir kvark **barion soni** $B = \frac{1}{3}$ ga ega bo'lishi lozim. $\Sigma^0(1385)$ yoki Δ zarrachalarining spini $\frac{3}{2}$ faqat kvark spinlari yig'indisi orqali hosil qilinishi mumkin. Bu degani - ular orasida **nisbiy orbital burchak momenti** mavjud emas. Shuning uchun parityni aniqlashda **orbital burchak momenti** (masalan, $(-1)^l$ kabi omil mavjud bo'lmaydi. Natijaviy parity - **uchta juft parityli kvarklarning ko'paytmasi** bo'lib, bu tajriba natijalari bilan mos keladi. **S-kvark** izospin bo'yicha **singlet** (yakka) holat hisoblanadi, chunki boshqa hech qanday kvark **strangeness** xossasiga ega emas. Aksincha, **u va d kvarklar** esa izospin bo'yicha **dublet** (juftlik) holatni tashkil etadi. Bu shuni anglatadiki, u va d kvarklar **faqat** T_z va **zaryad** Q bilan farqlanadi. To'g'risi, bu fikrni teskari tarzda aytish yanada to'g'ri bo'ladi:



Rasmdagi deкуплет kvarklarning boshqa kvant sonlarini aniqlash uchun ishlatiladi. Masalan, Ω^- zarrachasining **strangeness** qiymati $S = -3$ bo'lganligi sababli, u **uchta** $S = -1$ qiymatiga ega kvarklardan tashkil topgan bo'lishi kerak. Demak, ushbu kvarklardan biri s kvark deb nomlanadi va unga $S = -1$ $T_z = 0$ $T_z = 0$ belgilanadi, chunki Ω^- uchun $T = T_z = 0$

bo‘ladi. Dekupletdagi boshqa zarrachalarni hosil qilish uchun **ikkita boshqa kvark turi** kerak bo‘ladi u kvark va d kvark. Ular uchun $S=0$.

Masalan: Agar kvarklar haqiqatda ushbu zarrachalarning tarkibiy qismlari bo‘lsa, ular ham **Gell-Mann–Nishijima munosabatiga** bo‘ysunishi kerak. Bu munosabat orqali kvarklarning **elektr zaryadini** aniqlash mumkin. Kvarklarning zaryadi (elektron zaryadi birliklarida) quyidagicha aniqlanadi:

“Yuqoriga yo‘naltirilgan izospinga ega kvark, ya’ni u-kvark uchun”

$$Q=T_z+\frac{1}{2}(B+S)=\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}+0\right)=+\frac{2}{3}$$

“Pastga yo‘naltirilgan izospinga ega kvark, ya’ni d-kvark uchun”

$$Q=T_z+\frac{1}{2}(B+S)=-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}+0\right)=-\frac{1}{3}$$

$$Q=0+\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}-1\right)=-\frac{1}{3}$$

Shunday qilib, biz **g‘ayrioddiy kasr zaryadlarga** ega bo‘lgan zarrachalarni olamiz. Kvarklarning mavjudligini eksperimental aniqlashga qaratilgan izlanishlar **ana shu o‘ziga xos zaryad izlarini** topishga qaratilgan. Biroq, ko‘plab keng qamrovli urinishlarga qaramay, bu yo‘nalishdagi tajriba natijalari **umuman ijobiy bo‘lmagan**. Kvarklar haqidagi **kvant xromodinamikasi** muhokama qilinganida, kvarklar **bevosita kuzatilmashligi**, ya’ni ular **doimiy ravishda** o‘zlari tashkil etayotgan **hadronlar tarkibida saqlanishi (konfinement holati)** ehtimoli bo‘yicha asosli sabablar keltiriladi. Bu zaryad taqsimotlarining to‘g‘riligini ko‘rsatish uchun keling, Ω^- zarrachasini ko‘rib chiqamiz. Bu zarracha **s** ya’ni uchta **s-kvark**dan iborat. Har bir s kvarkning zaryadi $\frac{1}{3}$, umumiy zaryad esa:

$$-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}-\frac{1}{3}=-1$$

bu — zarrachaning kuzatilgan zaryadiga to‘g‘ri keladi. Xuddi shuningdek, Δ^- zarrachasi **d** bo‘lib, uchta $\frac{1}{3}$ zaryadli kvarkdan iborat. Umumiy zaryad yana -1 ga teng bo‘ladi. Yoki, masalan, Δ^{++} zarrachasi uchta uuu kvarkdan iborat bo‘lib, har biri

$$\frac{2}{3} + \frac{2}{3} + \frac{2}{3} = +2$$

zaryadga ega: bu esa **kutilgan musbat ikkilik zaryadni** beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1. Abdulla Dursoatov, Safarali Abduqodirov. POLEMIRLI ERITMALARNING REOLOGIK XOSSALARINI O‘RGANISH. Science and innovation. 2024.134-137-b
2. Abdulla Dursoatov, Humoyuddin Boboniyozov. SIRKA KISLOTASIDA COOH GURUHNING MOLEKULALARARO O‘ZARO TA’SIRDAGI ROLI VA ULARNING KOMBINATSION SOCHILISH SPEKTRLARINI O‘RGANISH. Science and innovation. 2024. 138-141-b
3. Abdulla Dursoatov, Ilhom Turdaliyev. CHUMOLI KISLOTASIDA COOH GURUHNING MOLEKULALARARO O‘ZARO TA’SIRDAGI ROLI VA ULARNING KOMBINATSION SOCHILISH SPEKTRLARINI O‘RGANISH. Science and innovation. 2024. 125-129-b
4. Shokir Tursunov, Abdulla Dursoatov, Ulug‘Bek Qurbonov. SBT BO‘YOQ VA UNING HOMODIMERLARINING ERITMALARI SPEKTRAL-LUMINESSENT VA FOTOKIMYOVIY XUSUSIYATLARI. Science and innovation. 2024. 81-85-b
5. Boymirov Sherzod, Dursoatov Abdulla. Monokarbon kislotalarda cooh guruhning molekulalararo o ‘zaro ta’siridagi roli va ularning kombinatsion sochilish spektrlari. Educational Research in Universal Sciences. 244-250-b
6. Boymirov Sherzod Tuxtaevich, Gayibnazarov Rozimurod Bakhtiyorovich, Axmedova Manzura Gulomjonovna, Berdikulova Shakhshanam Umaraliyevna, Muminjonov Sadiqbek Ikromjonovich. The Role of Problematic Types of Physics

Questions in Directing the Reader to Creative Activity. The Peerian Journal. 2022. P-54-58.

7. Makhmudov Yusup Ganievich, Boymirov Sherzod Tuxtaevich. Step-By-Step Processes of Creative Activity of Students in ProblemBased Teaching of the Department of Physics “Electrodynamics” in Secondary Schools. Eurasian Journal of Learning and Academic Teaching. 2022. P-132-135.

8. Boymirov Sherzod Tuxtayevich, PRINCIPLES OF MATERIAL SELECTION IN PROBLEM TEACHING OF ELECTRODYNAMICS. Scientific Bulletin of Namangan State University. 2020. P-362-368.

9. Ashirov Shamshidin Axnazarovich, Boymirov Sherzod Tuxtayevich, Shermatov Islam Nuriddinovich, Khulturaev Olimjon Abduvalievich. METHODS OF FORMATION OF EXPERIMENTA. World scientific research journal. 2022. P-14-21.

10. Ashirov Shamshidin Axnazarovich, Boymirov Sherzod Tuxtayevich, Khulturaev Olimjon Abduvalievich, Shermatov Islam Nuriddinovich. DESIGN LABORATORY ASSIGNMENTS AIMED AT THE FORMATION OF EXPERIMENTAL SKILLS. World scientific research journal. 2022. P-8-13.

11. Боймиров Ш.Т. УЗЛУКСИЗ ТАЪЛИМ ТИЗИМИДА “ЭЛАСТИКЛИК КУЧИ” МАВЗУСИНИ ЎҚИТИШ УЗВИЙЛИГИ. Science and innovation 3 (Special Issue 29), 350-352-b

12. Боймиров Шерзод Тухтаевич, Курбонов Бехруз Бахтиёр Ўғли. ҚУЁШ СИСТЕМАСИДАГИ МАЙДА ПЛАНЕТАЛАРНИНГ ФИЗИК ТАБИАТИ МАВЗУСИНИ ЎҚИТИШ МЕТОДИКАСИ. Science and innovation. 2024, 353-355

13. Боймиров Шерзод Тухтаевич. УМУМТАЪЛИМ МАКТАБЛАРИДА МЕХАНИКА БЎЛИМИГА ОИД ФИЗИК ТУШУНЧАЛАР МАЗМУНИ ЎРГАНИШНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ МЕТОДИКАСИ. Science and innovation. 2024. 309-312-b.

14. Boymirov Sherzod Tuxtayevich, Eshonqulova Oyjamol Nomoz Qizi. IXTISOSLASHGAN MAKTABLARDA “TERMODINAMIKANING BIRINCHI QONUNI” MAVZUSINI O‘QITISH METODIKASI. Science and innovation. 2024. 306-308-b.

15. Boymirov Sh T, Dursoatov A Ch, Tursunov Sh T. METHODOLOGY OF ORGANIZING AND ITS CONDUCT OF STUDY PRACTICE FOR PHYSICS IN HIGHER EDUCATION WITH PROBLEM CONTENT. International journal of conference series on education and social sciences (Online), 2023.

16. Boymirov Sherzod Tuxtaevich, Akbarov Abdulaziz Axrorovich. The Second General Law Of Thermodynamics Teaching Method. Czech Journal of Multidisciplinary Innovations. 2022. P-13-18.