

Olimov Kosim

O'zR FA S.Azimov nomidagi Fizika-texnika instituti professori

Email: olimov1951@mail.ru

Baxodirov Shamsiddin Shavkat o'g'li

O'zR FA S.Azimov nomidagi Fizika-texnika instituti tayanch doktorati

Email: shamsiddinfizika@gmail.com

UO'K 539.12

KO'PPROTONLI TIZIMLAR.

Anotatsiya. Maqolada ko'pprotonli tizimlar nazariy va eksperimental nuqtai nazardan yoritiladi. Qo'shaloq protonning kuchli o'zaro ta'sir bilan hosil bo'lishi, kvazibarqaror holatlari va yadro reaksiyalaridagi roli tahlil qilinadi.

Ko'pproton tizimlarning yuqori zichlikli muhitlardagi mavjudligi va astrofizikada tutgan o'rni muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: Adron, proton, neytron, π^+ -mezon, yadro, kvark, qo'shaloq proton, uch protonli holat, alfa-klaster.

Олимов Косим

Профессор Физико-технический институт имени С.А. Азимова АН. РУз.

Баходиров Шамсиддин Шавкат угли

Докторант базовой докторантуры Физико-технический институт имени

С.А. Азимова АН. РУз.

МНОГОПРОТОННЫХ СИСТЕМЫ

Аннотация. В статье рассматриваются многопротонные системы с точки зрения теории и эксперимента. Анализируются условия образования дипротонов, их квазистационарные состояния, а также роль в астрофизических и ядерных процессах.

Ключевые слова. Адрон, протон, нейтрон, π^+ -мезон, ядро, кварк, дипротон, трехпротонное состояние, альфа-кластер.

Olimov Kosim

Professor at S.A. Azimov Physical-Technical Institute of Uzbekistan Academy
of Sciences

Bakhodirov Shamsiddin Shavkat ugli

Phd student at S.A. Azimov Physical-Technical Institute of Uzbekistan
Academy of Sciences

MULTIPROTON SYSTEMS

Abstract. This article examines multiproton systems from both theoretical and experimental perspectives. The formation, stability, and role of diproton in nuclear reactions are discussed. Multiproton configurations in high-density environments and their implications in astrophysics are also analyzed.

Key words: Hadron, proton, neutron, π^+ -meson, nucleus, quark, diproton, three-proton state, alpha cluster.

KIRISH

Zamonaviy zarrachalar fizikasi kuchli o'zaro ta'sirlarni chuqur o'rganishga qaratilgan bo'lib, atom yadrosi zarrachalarning kompleks birikmalarini tushunish dolzarb masalalardan biridir. Shunday tizimlardan biri qo'shaloq proton, ya'ni ikkita protondan tashkil topgan bog'langan holat bo'lib, u kvant mexanikasi va yadroviy kuchlar haqidagi tasavvurlarni boyitadi. Shuningdek, ko'pproton tizimlari uch yoki undan ortiq protonlarning birgalikda bog'lanishi, kvark darajasida noyob tuzulmaviy holatlarni aks ettiradi. Ushbu maqolada ko'pproton tizimlarining nazariy asoslari, eksperimental aniqlanishi va astrofizikadagi ahamiyati ko'rib chiqiladi.

Yadro fizikasida ko'pprotonli bog'lanishlar va ularning hosil bo'lish mexanizmlarini o'rganish zamonaviy tadqiqotlarning eng dolzarb masalalaridan biridir. Bu jarayonlar nafaqat yadroviy modellarni yanada takomillashtirishga, balki astrofizikada, masalan, neytron yulduzlari va supernovalarda sodir bo'ladigan jarayonlarni tushunishga ham yordam beradi. Ko'pprotonli

bog'lanishlar, ayniqsa, yuqori energiyalarda yadro-yadro to'qnashuvlarida kuzatiladi va ularning o'rganilishi yadroviy materiyaning yangi xususiyatlarini ochish imkoniyatini beradi.

Qo'shaloq proton (pp) — bu ikkita proton o'zaro kuchli ta'sir ostida vaqtincha yoki kvazibarqaror holatda birlashgan zarracha. Klassik yadro modellari bo'yicha qo'shaloq proton bog'langan holatda mavjud emas, chunki protonlar bir xil zaryadli va ular orasida elektromagnit itarish kuchi mavjud. Biroq, kuchli yadroviy ta'sir qisqa masofada bu itarishishni yengib o'tishi mumkin.

Kuchli o'zaro ta'sir va kvark modeli. Qo'shaloq proton mavjud bo'lishi uchun kuchli yadroviy kuch elektromagnit itarish kuchidan ustun bo'lishi kerak. Kvark modeli nuqtai nazaridan, protonlar uch kvarkdan tashkil topgan zarrachalar bo'lib, ikkita proton birlashganda jami 6 kvarkli tizim hosil bo'ladi va bu dibarion deb ataladi. Dibarion rezonanslarini izlash ham kvark qopchalari modelining paydo bo'lishi va rivojlanishi bilan sezilarli darajada oshdi. Ushbu modelga ko'ra, u bir necha kvarklardan iborat bo'lib, ma'lum hajmda joylashgan yangi turdagi rezonanslar mavjud bo'lishi mumkin. Kvark qopchasining massasi qopchaning hajmiy energiyasidan, rangli elektr va magnit o'zaro ta'sirlari energiyasidan hamda kvarklarning o'z energiyasidan tashkil topadi. Kvark tizimining turli kvant sonlari rezonanslarning massaviy spektrini beradi. Ushbu modellar πNN tizimi hosil bo'lish chegarasidan yuqori massali dibarionlarning massaviy spektrini tavsiflaydi. Eng ishonchli nomzodlar faza tahlili orqali tasdiqlangan D- va F-to'lqinlaridagi 2.14–2.17 va 2.20–2.55 GeV massali, taxminan 100 MeV kenglikdagi dibarion holatlaridir [4].

Kvark qopchasi ichida kvarklar ikkita klasterga oq (rangli neytral) yoki rangli bo'lib guruhlanishi mumkin [2,3]. Har xil klasterlashuv holatlaridagi qopchaning orbital uyg'onishlari natijasida dibariyon rezonanslarning murakkab spektri hosil bo'ladi. Faqat izospin $T = 0$ holatining o'zida 16 ta rezonans mavjud bo'lib, $T = 1$ holatlarda ularning soni 28 taga yetadi [4]. Bu rezonanslarning eng

yengil holati $T=0$ bo'lib, uning massasi 2.11 GeV, bu esa mezonlar hosil bo'lish chegarasidan (NN to'qnashuvi kontekstida) ancha past [4].

Dibariyon rezonanslari boshqa kvark modellari, masalan, kvark-glyuonli "bog'langan torlar" modeli" doirasida ham bashorat qilinadi [8]. Bu modelda kvarklar kvark-glyuon maydoni orqali bog'lanadi va bu maydon minimal energiya holatida "tor" shaklini oladi. Bunday adron bog'langan osillatorsimon tizim sifatida qaraladi. Bu tizimda zich tebranishli holatlar spektri mavjud bo'lib, uning eng past holati 1.876 GeV ni tashkil etadi. Har bir 12 tebranish holatida rotatsion uyg'onishlar (aylanishli holatlar) paydo bo'lishi mumkin [8].

Mezonlar hosil bo'lish chegarasidan past bo'lgan dibariyon rezonanslar ilmiy jihatdan katta qiziqish uyg'otadi. Ularda [2] taqdim etilgan cho'zinchoq aylanuvchi kvark qopchasi modeli asosida bashorat qilinadi. Bu model [3] dan spin-orbital o'zaro ta'sirlarni hisobga olishi bilan farqlanadi. Shuning natijasida kuchli o'zaro ta'sirlar qonunlari (spinning, izospinning va paritetning saqlanishi)ga binoan, ayrim holatlarda NN (nuklon-nuklon) kanalga parchalanish taqiqlanadi [1,10]. Bu esa ularning adron miqyosida tor (uzoq yashovchi) rezonanslar bo'lishiga olib keladi. NN kanalga nisbatan bunday holatlarning parchalanish kengligi haqidagi hisob-kitoblar [7] da keltirilgan bo'lib, ularning kengligi 10–20 MeV oraliqda deb baholanadi.

Uch proton tizimlari (ppp) uchta protonning birgalikda bog'langan holatlari nazariy jihatdan kuchli o'zaro ta'sirlar bilan yuzaga kelishi mumkin, biroq ularning barqarorligi elektromagnit itartish kuchi tufayli pasayadi. Uch protonli tizimlar qo'shaloq proton bilan alfa klasterning buzilishi orqaki ajralgan protonning qo'shilishidan hosil bo'ladi. Nazariy modellar, xususan Lattice QCD (panjaradagi kvant xromodinamikasi modeli), ushbu tizimlar uchun potensial barqaror holatlarni taxmin qiladi [5]. Manbalarda keltirilgan ma'lumotlarga hamda quyida bayon etiladigan uch protonli rezonansning shakllanishiga oid natijalarni hisobga olgan holda, yadro o'zaro ta'sirlarida dibarionlar ko'p zaryadli fragmentning qoldig'i yoki nishon-yadrodag α -klasterning parchalanishi natijasida hosil bo'lishi mumkin degan xulosaga kelish mumkin.

Adronlarning kvark tuzilishi [11] aniqlangandan so'ng, to'rt yoki undan ortiq kvarklarga ega multikvark holatlarining mavjudligi turli nazariy modellar tomonidan ko'rsatildi. 2003-yilda Belle detektori tomonidan $X(3872)$ ($c\bar{c}d\bar{u}$) deb ataluvchi to'rt kvarkli (tetrakvark) tizim qayd etildi [13]. 2015-yilda esa LHC tajribasi yashirin charmga ega ikkita pentakvarkni ($duuc\bar{c}$) aniqladi.

2019-yilda statistik ma'lumotlarning ko'payishi va tajriba aniqligining oshishi natijasida massalari ≈ 4440 MeV, 4457 MeV va 4,3 GeV bo'lgan uchta pentakvark aniqlangan [12]. Kvant xromodinamikasi (KXD) doirasida mavjud ma'lumotlardan kelib chiqib, boshqa turdagi pentakvark holatlarining keng spektri, jumladan, elektr neytral pentakvarklar, g'alatilik (strangeness), joziba (charmness) va boshqa kvant xususiyatlariga ega pentakvarklarning mavjudligi taxmin qilinmoqda.

2022-yilda $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ to'qnashuvlarida 4,2 A GeV energiyada «proton+proton+ π^+ -mezon» tizimida sakkiz kvarkdan (besh u-kvark, ikki d-kvark va bitta anti-d-kvark) iborat yangi rezonans holati aniqlangan [6]. Ushbu sakkiz kvarkli rezonansning massasi 2117 ± 3 MeV, massa kengligi 4 ± 1 MeV va inklyuziv kesimi 4.93 ± 0.86 mb ga teng bo'lgan. Tetra- va pentaproton tizimlari to'rt yoki besh protonning bog'langan tizimi haqidagi farazlar eksotik zarrachalar fizikasi doirasida qaraladi. Bu holatlar, odatda, qisqa vaqt yashovchi va faqat maxsus energiyalarda yuzaga keladigan holatlar sifatida tavsiflanadi. Ularning mavjudligi haqida to'liq eksperimental dalillar mavjud emas, ammo ularning izlanishi yangi fizik qonuniyatlarni ochib berishi mumkin.

Yadro yadro to'qnashuvlarida ko'pproton effektlari zamonaviy tezlatgichlarda LHC (Katta Adron Kollayderi), JLab (Thomas Jefferson National Accelerator Facility) yadro-yadro to'qnashuvlarida hosil bo'ladigan yuqori zichlikdagi muhitda bir necha protonning bog'langan holatda hosil bo'lishi ehtimoli mavjud. Spektral tahlillar orqali bunday holatlar aniqlanmoqda. Ular kvark-gluon plazma bosqichida hosil bo'lishi mumkin bo'lgan klaster strukturalar sifatida qaraladi. Ko'pproton tizimlari faqat laboratoriya sharoitida emas, balki yulduzlar ichida sodir bo'ladigan yadro reaksiyalarida ham muhim

rol o'ynaydi. Yulduzlarda energiya ishlab chiqarish proton-proton zanjiri (pp-zanjiri) yulduzlarda energiya ishlab chiqarishning asosiy mexanizmidir. Bu zanjirning birinchi bosqichi aynan ikki protonning birlashishiga asoslanadi. Garchi qo'shaloq proton uzoq yashay olmasa-da, u kvazibarqaror vosita sifatida ishtirok etadi [9]. Neytron yulduzlar va zich yadro moddalari neytron yulduzlar markazida yuzaga keladigan o'ta zich muhitda multiproton klasterlar hosil bo'lishi mumkin. Ushbu klasterlar yulduzning barqarorligiga, massa-radius munosabatlariga va sovish jarayoniga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

XULOSA

Ko'pprotonli tizimlar, xususan qo'shaloq proton va undan ortiq protonlarning birikmalarini o'rganish zamonaviy yadro fizikasi, zarrachalar fizikasi va astrofizikaning ilg'or yo'nalishlaridan biriga aylanmoqda. Bu tizimlarning o'ziga xos jihatlari ularning juda qisqa muddatli mavjudligi, kvazibarqarorligi, va kuchli yadroviiy o'zaro ta'sirlarga asoslangan bo'lib, zamonaviy nazariy modellarning (xususan, kvark qopchalari, Lattice QCD, kvant xromodinamikasi) rivojlanishiga katta turtki bermoqda.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, klassik model bo'yicha mavjud bo'lmasligi kerak bo'lgan qo'shaloq proton holatlari aslida kuchli yadroviiy ta'sir hisobiga, ayniqsa kvark darajasida, qisqa muddatli rezonansli holatlar sifatida yuzaga kelishi mumkin. Bu holatlar zamonaviy tezlatgichlarda (masalan, CERN, JLab, LHC) o'tkazilgan yuqori energiyali yadro-yadro to'qnashuvlari natijasida qayd etilmoqda. Ayniqsa, spektral tahlil, faza tahlili va invariant massa taqsimotlari orqali turli dibarion va multiproton tizimlar aniqlanishi bu sohaning dolzarbligini yanada oshirmoqda.

Astrofizikada esa ko'pproton tizimlarning ahamiyati ayniqsa yuksak. Proton-proton zanjiri yulduzlarda asosiy energiya manbai bo'lib, qo'shaloq proton shu zanjirning birinchi bosqichida kvazibarqaror vositachi sifatida ishtirok etadi. Neytron yulduzlar markazidagi o'ta zich yadro muhitlarida esa ko'pprotonli klasterlarning shakllanishi ularning termodinamik xususiyatlariga, sovish

jarayonlariga, hamda massa-radius munosabatlariga ta'sir ko'rsatadi. Bu esa, ularni faqat zarracha fizikasi doirasidagina emas, balki astrofizik obyektlar tuzilishini aniqlovchi omil sifatida ham o'rganish zarurligini anglatadi.

Umuman olganda, ko'pproton tizimlarni o'rganish zarrachalar fizikasi, yadro fizikasi va astrofizika fanlarining kesishgan nuqtasida joylashgan bo'lib, yangi fizik qonuniyatlarni kashf etish, moddiy olamning eng chuqur qatlamlariga kirib borish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mulders P.J.G., Aerts A.Th.H., De Swart J.J. Phys.Rev.Lett.,1978, v.40, N24, p.1543.
2. Кондратюк Л.Л., Мартемьянов Б.В., Щепкин М.Г. Нуклон нуклонные и адрон-ядерные взаимодействия при промежуточных энергиях.(Труда симпозиума 21-23 апреля 1986 года.)-Ленинград, 1986, с.478
3. Mulders P.J.G, Aerts A.T., De Swart J.J., Phys.Rev.D, 1980,v.21,N9, p.2653.
4. В.Н. Батурин и др., Препринт ЛИЯФ 1750, 29 с. (1991).
5. Beane S.R. et al. "Lattice QCD studies of few-proton systems." Phys. Rev. D, 2017.
6. Kh. Olimov et al., Possible observation of $p p \pi$ resonance state in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c, ResearchGate, 2022.
7. Dorkin S.M., Lukyanov V.K., Titov A.I. -Dubna, 1980,12p.(Preprint/Jira:E2-80-43)•.
8. Троян Ю.А. Дубна, 1986,7с. -(Препринт/ОЙЯИ:P2-86-35).
9. Bahcall J.N., "Neutrino Astrophysics." Cambridge Univ. Press, 1989.
10. Фильков Л.В. ЯФ, 1988, т.47,в.3,с.687.
11. Троян Ю.А. Узкие дибарионные резонансы. ЭЧАЯ 1993, Т.24, Вып. 3, с.683.

12. Aaij, R., et al. (LHCb Collaboration). (2019). Observation of a narrow pentaquark state, $P_c(4312)^+$, and of the two-peak structure of the $P_c(4450)^+$. Physical Review Letters, 122(22), 222001.
13. S. K. Choi et al. (Belle Collaboration) Observation of a Narrow Charmoniumlike State in Exclusive $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^- J/\psi$ Decays, Physical Review Letters, 91, 262001 (2003).