

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

ALISHER NAVOIY NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

FIZIKA FAKULTETI

YADRO FIZIKASI KAFEDRASI

M.U.Sultanov

5.440100 - fizika bakalavri ta'lim yo'nalishi bo'yicha

«Elementar zarralar fizikasi» tanlov fanidan

ELEMENTAR ZARRALAR

(uslubiy qo'llanma)

SAMARQAND-2011

MUNDARIJA

Kirish.....	
I Bo'lim. Nazariy qism.....	
1.1. Mavzu: Elementar zarralar haqida umumiy tushunchalar. Fundamental ta'sirlashuvlar	
1.2. Mavzu: Elementar zarralar xususiyatlari. Parchalanish reaksiyalari.....	
1.3. Mavzu: Ikki zarrali to'qnashuvlarda zarralar tug'ilishi.....	
1.4. Mavzu: Elementar zarralar kvant sonlari va ularning saqlanishi.....	
1.5. Mavzu: Elementar zarralar sistematikasi.....	
1.6. Mavzu: Kvarklar.....	
II Bo'lim. Eksperimental qism.....	
2.1. Mavzu: 500 litr hajmli propanli pufakchali kamera. Zaryadlangan zarrachalar izlarini o'rganish.....	
2.1.1. 500 litr hajmli propanli pufakchali kamera.....	
2.1.2. Birlamchi trek yo'nalishiga tuzatmalar kiritish.....	
2.1.3. Impulslari o'lchanmagan va "o'tkazib" yuborilgan zarrachalarga tuzatmalar.....	
2.1.4. Elastik o'zaro ta'sirlarni ajratish.....	
2.1.5. Yadro snaryad difraksion dissotsiyasi yuz beruvchi voqealarni ajratish.	
2.2. Mavzu: Propanli voqealarni yadro-yadro ta'sirlashuvlarga ajratish.....	
2.2.1. Ansambllarni yadro-vodorod va yadro-uglerod ta'sirlashuvlarga ajratish.....	
2.2.2. Zarrachalarni identifikatsiya qilishdagi xatoliklar bilan bog'liq bo'lgan tuzatmalar.....	
2.2.3. Yig'indi tuzatma.....	
2.2.4. DST formati.....	
2.2.5. Zarrachalarning belgilari.....	
2.3. Uglarod yadrosi to'qnashuvlarining o'ziga xos tomonlari.....	
2.3.1. Uglarod yadrolarining to'qnashuvlarida spektator zarrachalarni tadqiq qilish.....	
2.3.2. Tajriba usulining o'ziga xos tomonlari.....	
2.3.3. Spektatorlarning burchak taqsimoti.....	
2.4. Taqsimotlardan spektatorlarni chiqarib olish.....	
2.4.1. Spektator zarrachalar impulsining chegaraviy qiymatlari.....	
2.4.2. Uglarod-propan taqsimotlarni spektatorlardan tozalash.....	
2.4.3. Spektator zarrachalar va uglarod-snaryad yadrosining fragmentatsiyasi.....	
Adabiyotlar.....	

Kirish

Yuqori energiyali yadrolarning yadrolar bilan o'zaro ta'sirlashuvlarini o'rganish orqali yadro materiyasi, uning holati va strukturasi, yangi zarrachalarning paydo bo'lish mexanizmi, elementar zarralarning xususiyatlari haqida ma'lumot olish yuqori energiyalar fizikasining eksperimental usullarining asosiy vazifasidir.

Bugungi kunda fundamental fan hisoblangan elementar zarralar fizikasi oldiga qo'yilgan masalalarni tajribaviy yo'llar bilan hal qilishning ko'pgina usullari mavjud. Bu usullarning paydo bo'lishiga laboratoriya sharoitida yuqori energiyali zaryadlangan zarralar va yadrolarni tezlashtirish imkoniyatining paydo bo'lganligi, tezlatkichlar texnologiyasining hamda zarrachalarni muqoyd qilish texnologiyasining rivojlanib borishi katta imkon yaratmoqda. Pufakchali kameralar, jumladan, propanli pufakchali kamera ham adron-yadro va yadro-yadro o'zaro to'qnashuvlarda sodir bo'luvchi voqealar manzarasini yaqqol namoyon qilishga, to'qnashuv jarayonida hosil bo'lgan ikkilamchi zarrachalarni yuqori effektivlik bilan qayd qilishga, identifikatsiya qilishga hamda ular parametrlarini katta aniqlikda o'lchashga imkon beradi.

Ushbu uslubiy qo'llanmada har bir nukloniga to'g'ri keluvchi impuls $4,2 \text{ GeV}/c$ bo'lgan vodorod, deuteriy, geliy va uglerod yadrolari bilan nurlantirilgan, hajmi 500 litr bo'lgan 2 metrli propanli pufakchali kamera imkoniyatlaridan foydalanib tajribalar o'tkazish, tajribaviy natijalarni to'plash va, birinchidan ularga tuzatmalar kiritish protseduralari bayon etiladi. Tuzatmalar kiritishdan maqsad treklarni o'lchashda paydo bo'lgan har xil chetlanishlar, ba'zi bir texnik kamchiliklarni bartaraf etishdan iborat. Ikkinchidan, ushbu kamera ishchi hajmida sodir bo'lgan voqealardagi spektator zarrachalarni tadqiq qilish vazifasi qo'yiladi. Propanli pufakchali kamerada yuqori energiyali yadro-yadro to'qnashuvlarni o'rganish elementar zarrachalar fizikasini o'rganishga ko'pgina eksperimental qurilmalar va usullarga nisbatan bir qator ustunliklarga ega. Masalan, fotoemulsiya usulida to'qnashuv mahsulotlarini aniq identifikatsiya qilish imkoniyati yo'q. Chunki fotoemulsiya usulida nishon yadroning zaryadi juda katta bo'lib, to'qnashuv natijasida hosil bo'lgan ikkilamchi zarrachalar ansambilini hatto yuqori sezgirlikdagi mikroskoplari ham yetarlicha aniqlik bilan ajratib bera olmaydi, elektron eksperimentlarda esa to'qnashuvlarda hosil bo'lgan zarrachalarni qayd qilish effektivligi yetarlicha yuqori bo'lsada, ammo ularning fazoviy taqsimotlari haqida to'liq ma'lumot olib bo'lmaydi va h.k. Hajmi yetarlicha katta bo'lgan propanli pufakchali kamera takidlab o'tilgan kamchiliklardan holi bo'lgan qurilmadir.

Qo'llanma oldiga qo'yilgan asosiy maqsadlardan biri yuqori energiyalar fizikasi sohasida faoliyat ko'rsatuvchi ilmiy hodimlar hamda yuqori bosqich talabalarini elementar zarralar haqida umumiy tushunchalar va ularni qayd qiluvchi, suyuqlashtirilgan gazlar bilan to'ldirilgan pufakchali kameralar, jumladan propanli pufakchali kamerning ish prinsipi bilan tanishtirish, unda tajriba olib borish usulini o'rgatish, to'plangan tajribaviy statistik ma'lumotlarni aniqligiga tuzatmalar kiritish yo'llarini o'rgatishdan iborat.

I Bo'lim. NAZARIY QISM

1.1. Mavzu: Elementar zarralar haqida umumiy tushunchalar. Fundamental ta'sirlashuvlar

REJA:

1. Elementar zarralar ochilishi tarixi.
2. Elementar zarra tushunchasi. Ilk elementar zarralar.
3. E.Rezerford, J.Chadvik, P.Dirak va boshqalar kashfiyotlari.
4. Elementar zarralarning fundamental ta'sirlashuvlarda ishtirok etishi.
5. Ta'sirlashuvlarni xarakterlovchi kattaliklar.

Tayanch so'zlar: kuchli o'zaro ta'sirlashuv, elektr zaryadi, fermion, bozon, barion zaryadi, spin, fundamental, izotopik spin, massa, yashash vaqti, myuon, taon, adron, pion, barion, lepton, parton, glyuon, kvark, rang, g'alatilik, xo'shbo'ylik, maftunlik, go'zallik, izomultiplet, supermultiplet, haqiqiy.

Darsning maqsadi: Talbalarga elementar zarrachalar haqida umumiy tushuncha berish. Fundamental ta'sirlashuvlar turalari va ularning tabiati, amal qilish chegaralari haqida talabalarda tushuncha va tasavvurlar hosil qilish.

Elementar zarralar fizikasi fizika fanlari ichida, jumladan yadro fizika kursining tarixan eng so'nggi yillarida tarkib topgan bo'limlaridan hisoblanadi. Hozirgi vaqtda fizikaning, jumladan yadro fizikaning boshqa bo'limlari bo'yicha, fundamental qonuniyatlar o'rganilgan bo'lsa, elementar zarralar fizikasida bu muammolar to'la hal etilmagan. Elementar zarralar tushunchasi o'zi murakkabdir. Dastlab bu tushuncha tarkibiga boshqa zarralar kirmagan, ichki strukturaga ega bo'lmagan sodda tuzilgan zarralar uchun qo'llanilgan. Lekin, fanning rivojlanishi bilan elementar deb hisoblangan zarralar murakkab tuzilishga ega ekanligi ma'lum bo'lib, ko'p zarralar elementar emasligi aniqlandi. Shunday qilib, elementarlik tushunchasi fan taraqqiyoti bilan o'zgarib kelmoqda. Yaqin vaqtlargacha (proton, neytron, π -mezonlarni) Koinotni tashkil etgan materiyaning bo'linmas boshlang'ich elementlari, ya'ni dunyo tuzilishining eng kichik «g'ishtchalari» deb hisoblanib kelgan edi. Ammo mikrodunyo tuzilishining elementar zarralari ustidan hozirgi zamon tadqiqotlari ularning ma'lum sharoitlarda bir-biriga aylanishligini aniqladi. Masalan, proton yadro tarkibida neytronga $p \rightarrow n + \beta^+ + \nu$ va aksincha, neytron protonga $n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}$ aylanishi mumkin. Lekin, bundan proton-neytron, pozitron va neytrinodan, neytron esa proton, elektron, antineytrinodan tashkil topgan degan ma'no kelib chiqmaydi.

Hozirgi vaqtda yuzlab zarralar aniqlandi, bu zarralar tarixan nomlanishi bo'yicha elementar zarralar deb ataladi. Bu zarralardan qaysilari haqiqiy elementar zarralar ekanligini aniqlash qiyin. Lekin haqiqiy elementar zarralar yoki fundamental zarralar mavjud deb qaraladi, uni aniqlashlik muammosi kun tartibidan olingan emas.

Bugungi kunda elektron, myuon, taon va bularning antizarralari hamda ularning neytrinolari, kvarklar, fotonlar, oraliq $W^\pm$, Z^0 bozonlar haqiqiy elementar zarralar deb hisoblanadi. Elementar zarralar kashf etilishining tarixiy davrlariga nazar tashlasak, 1930-1935 yillarda atom nazariyasi asosan tugallangan edi. Oddiy holatdagi moddaning deyarli hamma xossalari musbat zaryadli yadro atrofida harakat qiluvchi manfiy zaryadli elektronlar deb qarab, matematik yo'l bilan keltirib chiqarilishi mumkin edi. Bu davrga kelib elementar zarralardan elektronni 1895 yili ingliz fizigi J.J.Tomson katod nurlarini o'rganishda kashf etdi. 1919 yili Rezerford hamma yadrolar tarkibiga kiruvchi protonni, 1932yili J. Chadvik massasi proton massasiga yaqin neytron zarra- neytronni kashf etdilar. Elektromagnit maydon kvanti foton tushunchasini birinchi marotaba fizika faniga M. Plank va A. Eynshteyn ishlari asosida kiritildi. A. Kompton ishlari asosida esa foton elementar zarralar qatoriga kiritildi. Foton elektromagnit maydon kvant bo'libgina qolmay, elektromagnit ta'sirni tashuvchi vositachi «zarradir». Fotonni zarraga o'xshatish mumkin. Chunki ular xuddi zarralardek o'z impulsiga $R_\gamma = E_\gamma/c$ ega. U zarralardek boshqa zarralar bilan to'qnashadi. Lekin tinch holatdagi massasi nolga

teng. Uning to'liq massasi $m_t = \frac{h\nu^2}{c^2}$ ga teng bo'lib, bu yerdagi energiya foton harakatiga bog'liq.

1928 yilda ingliz fizigi P. Dirak elektron harakati tenglamasining simmetriyasiga asoslanib, massasi elektronning massasiga teng, lekin musbat zaryadli zarra- pozitronning tabiatda mavjud bo'lishligini nazariy yo'l bilan isbotladi. Bu zarrani 1932 yilda amerikalik fizik K. Anderson kosmik nurlar tarkibida mavjud

ekanini tajribada kuzatdi. 1935 yili X. Yukava yadro kuchlar tabiatini tushuntirish uchun mezon zarralar bo'lishligini aytdi. Bu aytilgan zaryadli π - mezonlarni 1947 yil S. Pauell va J. Okkialiplar, 1950 yili R. Berklund neytral π^0 - mezonni kashf etishdilar.

1937 yili K. Anderson va S. Nidermeyerlar μ^- - mezonni aniqladilar. Dastlab μ - mezonlarni yadro kuchlari vositachisi deb qaraldi, keyinchalik bu xulosa noto'g'ri ekanligi μ - mezon elektronga o'xshash og'ir zarra ekanligi ma'lum bo'lishdi. 1975 yili M. Perl tomonidan elektron xususiyatiga o'xshash (lepton, o'ta og'ir taon τ - mezon topildi). 1930 yili V. Pauli β - yemirilishda neytrino bo'lishligini bashorat qildi. 50 yil o'rtalarida F. Reynes va K. Kouenlar antineytrinoni tajribada aniqladilar. Hozir uch xil elektron ν_e , myuon ν_μ va taon ν_τ - neytrinolar mavjud. 1940 yillarga kelib elementar zarralar soni 15- ga yaqinlashdi. Bu zarralar yordamida materiyaning atom tuzilishini tushuntirish imkoniyatiga erishdi. Atom yadrosini proton- neytronlardan iborat, yadroda nuklonlar pionlar almashinuviga ko'ra mavjud, neytrino β - yemirilishda saqlanish qonunlarini bajarilishini ta'minlaydi deb qaraldi.

1950 yillarga kelib o'rtacha yashash vaqti $\tau \sim 10^{-10}$ s bo'lgan massalari elektrondan og'ir protondan yengil bo'lgan ko'plab mezon zarralar $\nu, \chi, \theta, \tau, k$ aniqlandi. Bu davrda massalari proton massasidan katta bo'lgan $\lambda, \text{ksi}, \Xi, \text{sigma } \Sigma$ - kabi ko'plab giperonlar ham aniqlandi. 1960 yillarda tezlatgichlar yordamida ko'plab antizarralar, g'alatizarralar, yashash vaqti $\tau \sim 10^{-24} - 10^{-22}$ s bo'lgan o'taqisqa yashovchi rezonans zarralar kashf etildi. Hozirgi vaqtda zarralar soni bir necha yuzdan oshib ketdi. Zarralarning yuqori energiyalarda o'zaro ta'sirlashuvlarida yutilishi, bir-birlariga almashinishi va yangi zarralar tug'ilishi zarralarni mana shu zarralardan tashkil topgan deyishlik imkoniyatini bermaydi. Shuning uchun dunyoning haqiqiy elementar g'ishtchalarini aniqlashlik qiyin bo'lib qoldi. Elementar zarralarni quyidagicha tavsiflash mumkin: birinchidan x-zarra ta'sirlashuvda x_1, x_2, x_n bo'lakchalarga bo'linsa, ikkinchidan x_1 -bo'lakchalar bog'lanish energiyalari $E_{i \text{ bog'}}$ tinch holat energiyalari $M_i c^2$ dan juda kichik $E_{i \text{ bog'}} \ll M_i c^2$ bo'lishsa u holda $M_i c^2 > E$ $E_{i \text{ bog'}}$ energiya oralig'iga to'g'ri keluvchi ta'sirlashuvda zarralar tarkibiy bo'lakchalarga ajralib ketadi, yangi zarralar tug'ilishi hosil bo'lmaydi. Elementar zarralar tarkibi yuqoridagi ikki shart bajarilmasa subzarralar deb ataladi (Masalan: kvark, glyuon, partonlar).

1960 yillardan boshlab o'rganilgan yuzlab elementar zarralarni sistemalashtirish qaysi ta'sirlashuvlarga qatnashishiga ko'ra toifalash, bunda ko'pgina kvant sonlari va bu kvant sonlarining ta'sirlashuvlarda saqlanishiga alohida e'tibor qaratildi.

Zarralar nihoyatda ko'p elastik va noelastik sochilish jarayonlarida hamda ko'p tug'ilish va parchalanish reaksiyalarida ishtirok etadi. Bunday ko'p turli xil aylanishlarni to'rt tipdagi fundamental o'zaro ta'sir boshqaradi. Ularni fizik jarayonlar va hodisalarning belgisi deb ham qarash mumkin. Har qanday o'zaro ta'sirni uchta parametr bilan tavsiflash mumkin: intensivlik, ta'sir radiusi va uning elementar akti amalga oshiriladigan vaqt. Ularning qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan.

Ma'lumki, kuchli o'zaro ta'sir nuklonlar orasida intensiv ta'sirlashuviga ko'ra yadroning mavjudligini ta'minlaydi. Bu kuchli o'zaro ta'sir nuklonlar orasida vujudga kelib qolmasdan pionlar, kaonlar, giperonlar kabi ko'plab zarralar o'rtasida ham ro'y beradi. Bundan tashqari kuchli ta'sirlashuvli yuqori energiyali zarralar to'qnashuvlarida intensiv yangi zarralarning tug'ilishi kuzatiladi. Zarralar o'rtasida kuchli o'zaro ta'sirning muhim xususiyatlaridan bir bu ta'sir doirasining juda kichikligida tabiatda eng yaqin ta'sirlashuvchidir kuchligidir. Ularning roli 1 fermidan katta masofalarda yo'qola boshlaydi. (Shuning uchun yadrolar xarakterli masofalari 10^5 fermi bo'lgan atom hodisalariga umuman ta'sir qilmaydi).

Ularning boshqa zaif tomoni universal emasligidadir. π -mezondan yengil zarralar (foton, elektron, pozitron, myuon, neytrino va b.) o'zaro kuchli ta'sirda bo'lmaydi, kuchli ta'sirlashuv tufayli bo'ladigan to'qnashuvlarda bu zarralar tug'ilmaydi. Uchinchi xususiyati shundan iboratki, ko'pgina saqlanish qonunlari boshqa kuchlar ta'sirida bajarilmaydi, faqat kuchli kuchlar ta'sirida o'tadigan jarayonlarda eng ko'p saqlanish qonunlari bajariladi. Har bir saqlanish qonuni ma'lum simmetriyaning miqdoriy ifodasidir. Demak, kuchli o'zaro ta'sir eng ko'p simmetriyaga ega. Bir-biri bilan kuchli o'zaro ta'sirida bo'luvchi zarralar adronlar (grekcha hadros so'zidan olingan bo'lib – katta, kuchli demakdir) deb ataladi.

1-jadval

O'zaro ta'sir	Ta'sirlashuv vositasi	Intensivlik	Ta'sir radiusi	Xarakterli vaqt, τ , s
Kuchli	Glyuonlar	$10^{-1}-10^1$	10^{-15} m	10^{-23}
Elektromagnit	Fotonlar	1/137	∞	$\sim 10^{-20}$
Kuchsiz	O'rtacha bozonlar	10^{-10}	$\sim 10^{-18}$ m	$\sim 10^{-13}$
Gravitatsion	Gravitonlar	10^{-38}	∞	-

O'z navbatida adronlar ham ikki guruhga bo'linadi: barionlar – yarim butun spinli zarralar va mezonlar – butun spinli zarralar. Barionlar qatoriga nuklonlar va antinuklonlar hamda ancha og'ir zarralar – giperonlar va rezonanslar kiradi. Yarim butun spinli zarralar Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunadi va shuning uchun fermionlarga taalluqli bo'ladi. Mezonlarga pionlar, K-mezonlar va boshqa ancha og'ir zarralar (pionlar va kaonlar sistemasidagi rezonans «maftunkor» zarralar va h.k.) taalluqlidir. Bu zarralarning butun sonli spini ularning Boze-Eynshteyn statistikasiga mansubligini belgilaydi, ya'ni ular bozonlardir.

Ta'sirlashuvning intensivligi bo'yicha navbatda elektromagnit ta'sirlashuvi turadi. Zarralarning elektromagnit o'zaro ta'sir kuchi kuchli o'zaro ta'sirga qaraganda ancha zaif, boshqa kuchlarga nisbatan esa o'ta kuchlidir. Elektromagnit kuchlarining ta'sir doirasi 10^{-14} m dan tortib kosmik masofagacha davom etadi. Ko'pchilik fizik hodisalar: atom va molekulalar tuzilishi, kristallar, ximiyaviy reaksiyalar, jismlarning termik va mexanik xususiyatlari, radioto'lqinlar, quyosh va yulduzlarning nurlanishi kabi hodisalar elektromagnit kuchlarining ta'sir doirasiga kiradi.

Elektromagnit o'zaro ta'sir turli zarralarda har xil shiddat bilan namoyon bo'ladi. Elektr zaryadiga ega bo'lgan zarralarda katta elektromagnit o'zaro ta'sirlar vujudga keladi. Massa va spini nolga teng bo'lmagan zaryadsiz zarralar o'zaro kuchsiz elektromagnit o'zaro ta'sirda bo'ladi. Eng kuchsiz elektromagnit o'zaro ta'sirda neytral, spinsiz zarralar, masalan, neytral π^0 -mezon bo'ladi. Zarralardan neytrino elektromagnit ta'sirni sezmaydi. Elektromagnit kuchlarining ta'sir doirasida shunday saqlanish qonunlari borki, bu qonunlar kuchsiz o'zaro ta'sir doirasida buziladi. Elektromagnit o'zaro ta'sirning muhim xususiyati Kulon qonuniga asosan itarilish va tortilish kuchlarining mavjudligidadir. Shuning uchun yig'indi zaryadi nol bo'lgan har qanday sistema qisqa ta'sir radiusiga ega bo'ladi. Masalan, atomlar yoki istalgan ikki jism orasidagi o'zaro ta'sir kulon kuchlari ta'sir radiusi cheksiz bo'lishiga qaramasdan o'zaro ta'sirlashmaydi.

Mikrodunyoda u yoki bu hodisaning o'tish vaqti zarralar «hayotida» asosiy ko'rsatkichlardan biri hisoblanadi. Zarralarda bo'ladigan xarakterli jarayonlar kuchli o'zaro ta'sir ostida $10^{-22}-10^{-23}$ s ichida yuz bersa, elektromagnit o'zaro ta'sir ostida $10^{-16}-10^{-17}$ s ichida yuz beradi. Bundan ham sekinroq ($\sim 10^{-10}$ s dan o'nlab minutgacha) jarayonlar zarralarning kuchsiz o'zaro ta'siri ostida o'tadi. Kuchsiz o'zaro ta'sir kuchli o'zaro ta'sirga nisbatan 10^{14} marta zaifroqdir. Lekin juda kichik masofalarda kuchsiz o'zaro ta'sir elektromagnit o'zaro ta'sirdek kuch bilan namoyon bo'lishi kerak. Kuchsiz o'zaro ta'sirning sekin va kuchsiz o'tishining sababi uning ta'sir doirasining kichikligidir. Ta'sir doirasining kichikligi oraliq vector bozonlar W – ushbu o'zaro ta'sir vositachilarining massalari noldan farqli va bir necha o'n proton massalariga teng. Qisqacha aytganda, zarralarning «fotonli» o'zaro ta'siri istalgancha masofalargacha yetsa, kuchsiz o'zaro ta'sirni tashuvchi vositachi zarralarning «makoni» juda kichik. Xuddi mana shu sohada kuchsiz o'zaro ta'sir elektromagnit o'zaro ta'sir bilan barobar bo'ladi, lekin zarralar o'rtasida o'ta kichik (10^{-18} m) masofalar juda

kam hosil bo'ladi. Zarralar bir-birining yonidan kuchsiz o'zaro ta'sir sohasi radiusi $R = \frac{\hbar}{m_W c}$ dan katta masofalarda o'tish ehtimoli kattaroq. Faqat yuqori energiyalardagina ularning bir-biriga yaqin kelish

ehtimoliyati oshadi va kuchsiz o'zaro ta'sir intensivligi kuchayadi. Shunday qilib, kuchsiz o'zaro ta'sirning ta'sir radiusining kichikligi uning haqiqiy kuchini hisoblaydi. Kuchsiz o'zaro ta'sirni yaqqol ko'z oldimizga keltirish uchun kuchli, elektromagnit va kuchsiz o'zaro ta'sirlarni birma-bir tabiatda yo'q, deb faraz qilaylik. Agar kuchli o'zaro ta'sir bo'lmaganda edi, π - mezonlardan yengilroq zarralarda va ular bilan bog'liq bo'lgan fizik hodisalarda aytarli o'zgarishlar bo'lmasdi. Lekin og'ir zarralar butunlay bo'lmas yoki mutloqo boshqa zarralardan iborat bo'lar edi.

Shuning uchun dunyo yaxlit holda butunlay boshqacha bo'lardi. Elektromagnit o'zaro ta'sir bo'lmaganida esa tabiatda π -mezonlardan og'ir zarralargina qolar edi. Massasi deyarli bir xil, lekin faqat zaryadlari bilan farq qiladigan zarralarni bir-biridan endi ajratib bo'lmas edi (masalan, protonni neytrondan, uchala π - mezonlarni bir-birlaridan va h.k.). Atom va undan ham katta masshtablarda (10^{-10} m) dunyo o'zgarib ketardi. Atom ham, molekula ham, yorug'lik ham, jism ham bo'lmasdi. Biroq kuchsiz o'zaro ta'sir bo'lmasa, zarralardan faqat neytrino bo'lmaydi, xolos. Qolganlari aytarli o'zgarmaydi. Yadrolar, atomlar, molekulalar, kristallar avvalgidek mavjud bo'ladi. Barqaror zarralarning soni, binobarin, atomlar atomlar darajasidan tortib materiyaning tuzilish shakllari ancha ko'p bo'ladi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning yo'qligi atomlar, molekulalar, jismlar tuzilishi nuqtai nazaridan aytarli o'zgarishga olib kelmas edi. Aksincha, dunyo juda turli-tuman bo'lardi. Kuchsiz o'zaro ta'sirning mavjudligi ba'zi bir zarra va jismlarning ba'zi tuzilish formalarini barqaror qiladi. Shunday qilib, kuchsiz o'zaro ta'sir ko'proq zarralarning parchalanishi bo'yicha «mutaxassis»dir. Masalan, μ -mezonlar zaryadli π -mezonlar, neytron va boshqa bir guruh og'ir zarralarning parchalanishi faqat kuchsiz o'zaro ta'sir orqaligina ro'y beradi. Kuchsiz o'zaro ta'sir kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sirlarga qaraganda kamroq simmetriyaga ega, ya'ni saqlanish qonunlari ko'proq buziladi. Hozircha kuchsiz o'zaro ta'sirda mikrodunyodagi jarayonlarning o'ngni chap bilan, chapni o'ng bilan, zarrani antizarra bilan, antizarrani zarra bilan almashtirishga nisbatan bo'lgan simmetriyasi buzildi. Kuchsiz o'zaro ta'sir o'ngni chap, zarrani antizarra bilan almashtirishdan iborat murakkab simmetriyaga ham ega emas.

Gravitasion o'zaro ta'sir biz bilgan o'zaro ta'sirlar ichida eng zaifidir. Tabiatda mavjud to'rtta o'zaro ta'sir ichida zarralarning o'zaro gravitasiya ta'siri uchun xarakterlovchi vaqtning kattaligi (10^{17} s) va unga xos ta'sir kuchining juda kichikligi (10^{-40}) sababi deyarli hozirgacha elementar zarralar nazariyasida e'tiborga olinmaydi.

Nazorat savollari:

1. Elementar zarralar kashf etilishi qachondan boshlangan?
2. Elementar zarra deganda qanday zarrani tushunasiz?
3. Tabiatda qanday ta'sirlashuv turlari mavjud?
4. Elementar zarrachalar qanday ta'sirlashuvda ishtirok etadilar?
5. Kuchsiz o'zaro ta'sir qanday ob'yektlar o'rtasida kechadi?
6. Kuchli o'zaro ta'sir qanday ob'yektlar o'rtasida kechadi?
7. Tabiatdagi o'zaro ta'sirlashuvlar chegarasini ayting.

Test savollari:

1. Qaysi zarracha elrtromagnit maydon kvanti hisoblanadi?
 - a) π -mezonlar
 - b) gamma-kvant

- c) neytrino
 - d) myu-mezonlar
2. Kuchli o'zaro ta'sir kuchlarining amal qilish chegarasini ko'rsating.
- a) 10^{-15} m
 - b) 10^{-10} m
 - c) 10^{-23} m
 - d) 10^{-18} m
3. Foton impulsi ifodasini ko'rsating.
- a) $P=mv$
 - b) $P=\sqrt{2mE}$
 - c) $P=E/c$
 - d) Foton impulsiga ega emas
4. Kuchli o'zaro na'sirlashuvlar vositasichisi qaysi zarracha?
- a) fotonlar
 - b) myu-mezonlar
 - c) π -mezonlar
 - d) elektronlar
5. Kuchli o'zaro ta'sirlashuvlar qanday vaqt oralig'ida yuz beradi?
- a) 10^{-15} - 10^{-18} sek.
 - b) 10^{-20} - 10^{-21} sek.
 - c) 10^{-13} - 10^{-15} sek.
 - d) 10^{-22} - 10^{-23} sek.

1.2. Mavzu: Elementar zarralar xususiyatlari. Parchalanish reaksiyalari

Reja:

1. Elementar zarralarning zarra-to'lqin xususiyatlari.
2. Elementar zarrachalarning paydo bo'lish qobiliyati.
3. Zarralarning parchalanish reaksiyalari.
4. Zarralarning tug'ilish reaksiyalari.

Tayanch so'zlar: mikrob'yekt, korpuskula, kvant, noaniqlik, neytron, o'rtacha yashash vaqti, al'fa zarracha, mikrodunyo, pion, plank doimiysi.

Darsning maqsadi: Elementar zarrachalar turlari va ularning asosiy xususiyatlari va xarakteristikallari bilan tanishish.

Ma'lumki, har qanday mikroobyektda to'liq va zarra xususiyatlari mujassamlangan. Har qanday zarraga to'liqni xarakterlovchi to'liq uzunligi λ va to'liq chastotasi ν , zarralarni xarakterlovchi fizik kattalik energiya va impulslar ham mos keladi. Zarra korpuskula xususiyatining belgisi $-(R)$ impulsiga (harakat miqdoriga) to'liq xususiyatining belgisi bo'lgan ma'lum to'liq uzunligi (λ) mos qo'yiladi. Shuningdek zarra energiyasi chastota orqali ifodalanadi. Kvant nazariyasiga asosan bu kattaliklar quyidagicha bog'lanish mavjud.

$$E = h\nu \quad (1)$$

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

Zarraning dualizm xususiyatiga ko'ra «R impulsli zarra x nuqtada joylashgan», deb bo'lmaydi. Kvant nazariyasiga asosan «R impulsli zarra ehtimollik bilan x nuqtada qayd qilinishi mumkin» deyishimiz kerak.

Zarrani ham zarra, ham to'liq deyar ekanmiz, biz taqribiy ma'noda aytishimizni ko'zda tutamiz. Shuning uchun, zarrani taqriban zarra deb qarash uning koordinatasi, impuls va energiyasini taqriban berilishini anglatadi. Miqdoriy jihatdan ushbu aytilganlar Geyzenbergning noaniqlik munosabatlari orqali ifodalanadi. Kvant mexanikasida kichik masofalar koordinata impuls noaniqliklari, katta energiyalar energiyavaqt noaniqliklari munosabati bilan bog'langan.

$$\Delta x \cdot \Delta P \geq \hbar \quad (3)$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar \quad (4)$$

Bu noaniqlik prinsiplari zarra vaziyati, impuls, energiya va o'lchash vaqtini aniqlashda erishish mumkin bo'lgan maksimal aniqlikni ko'rsatadi. (3), (4) munosabatlardan katta energiyalarning kichik masofalar bilan bog'lanishi ko'rinib turibdi: qancha kichik masofani o'rganmoqchi bo'lsak, shuncha katta energiyali zarralar kerak bo'ladi.

Mikroob'ektlarda faqat ularning xarakterli o'lchamlarigina emas, balki kichik masofalarda bo'ladigan jarayonlarning o'tish vaqti ham ko'rsatgich bo'lib xizmat qiladi. Bu jarayonlarning eng kichik o'tish vaqti elementar zarraning o'rtacha o'lchami 1 fermining yorug'lik tezligiga nisbati bilan aniqlanadi va taqriban 10^{-23} s ga teng. Bu eng tez jarayonlarni xarakterlovchi vaqtdir. Jarayonlarning o'tish vaqti elementar zarralarning o'zaro ta'sirlashuv kuchining spesifikasiga bog'liq bo'ladi.

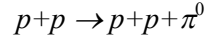
Yana shuni ham aytish kerakki, mikrodunyodagi har qanday jarayon ehtimoliy xarakterga ega. Masalan, reaktorda paydo bo'ladigan neytronlarning o'rtacha yashash vaqti 960 s. Bu hamma neytronlar 960 s yashab baravariga parchalanadi degan ma'noni anglatmaydi, vaholanki, ba'zilar 180 s gacha yashashi mumkin.

Ehtimoliy statistik qonuniyatlar ko'p sondagi zarralar sistemasigagina taalluqli bo'lib qolmasdan yakka zarra harakatiga ham bo'ysunar ekan. Qonunlarni (jarayonlarning) ehtimoliy xarakteri mikrodunyoning fundamental (asosiy) xususiyati hisoblanadi.

Elementar zarralarning asosiy xususiyatlaridan biri ularning boshqa zarralar to'qnashuvida paydo bo'la olish (tug'ilish) qobiliyatidir. Bunday jarayonlarning o'tishi uchun zarur bo'lgan energiya

$E_T = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} = \sqrt{p^2 c^2 + E_0^2}$ va $E_0 = m_0 c^2$ formulalar orqali aniqlanadi. Haqiqatdan, bu formulaga binoan energiya muvozanati (to'qnashuvdan oldingi va keyingi to'la energiyaning tengligi) to'qnashuvchi zarralarning kinetik energiyasi va tinch holatdagi massasiga to'g'ri keladigan energiyasidan iborat bo'lib, zarralar to'qnashuvida bu ikki xil energiya bir-biriga o'tishi mumkin. Masalan, π -mezonning

tinch holatdagi massasi 135 MeV. Demak, π -mezon tug'ilishi uchun shuncha energiya sarf qilinishi kerak. Shuning uchun ham 150 MeV kinetik energiyali ikki protonning o'zaro to'qnashuvida π^0 -mezon tug'ilish mumkin.



To'qnashuvdan avvalgi protonlarning 150 MeV kinetik energiyasining 135 MeV qismi π^0 -mezonning tinch holat energiyasiga o'tadi, qolgan qismi bu uch zarralar o'rtasida ularning kinetik energiyasi sifatida taqsimlanadi.

Ultra qisqa masofalarda sodir bo'layotgan hodisa va elementar zarralarning tuzilishini o'rganish uchun elementar zarralarni katta energiyalargacha tezlatish kerak. Yorug'lik tezligiga yaqin tezlik bilan harakatlanayotgan zarralarning energiyasi uning impulsiga proporsional $E=sR$. U holda (3) ko'ra biror kichik

masofaga erishish uchun qancha energiya kerakligini aniqlaymiz. $\Delta E \geq \frac{\hbar}{\Delta t}$; vaqt noaniqligini $\Delta t = \frac{\Delta x}{c}$ desak

$$\Delta E \geq \frac{\hbar c}{\Delta x} = \frac{1,05 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^{10} \text{ sm}}{\Delta x} = \frac{1,05 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10} \text{ MeV}}{1,6 \cdot 10^{-6} \Delta x} = \frac{2 \cdot 10^{-11}}{\Delta x} \text{ MeV},$$

bunda ΔE -MeV da, Δx -sm da.

Masalan, 10^{-17} m va undan ham kichik masofalarga kirmoq uchun 10^3 MeV energiyadan katta energiyagacha tezlatilgan zarra kerak.

Yuqorida bayon etilganidek zarralar ta'sirlashuvda yangi zarralarga parchalanib, tug'ilib o'zaro almashinib turishar ekan energiya va impuls saqlanishi bilan amalga oshadi. Parchalanish jarayonida hosil bo'lgan zarralarning tinch holat massasining yig'indisi parchalangan zarralarning tinch holat massasidan ortiq bo'la olmaydi. Impuls saqlanishiga ko'ra to'qnashuv (parchalanish) jarayonigacha zarralar impulslarining vektor yig'indisi jarayondan so'ng vujudga kelgan zarralar impulslarining vektor yig'indisiga aniq teng. Binobarin, parchalanuvchi zarra tinch holatda bo'lsa, parchalanish jarayoni yuz berganda hosil bo'ladigan zarralar ikkita bo'lsa, ular albatta qarama-qarshi harakatlanadilar. Agar sanoq sistemasiga nisbatan parchalanuvchi zarra tinch holatda bo'lsa, uning energiyasi tinch holatdagi massasi m_0 ga teng $s=1$ bo'ladi. Vujudga kelgan zarralarning shu sistemaga nisbatan tinch holatdagi massalarining yig'indisi har doim m_0 dan kichik, ya'ni $m_1+m_2+m_3+\dots < m_0$. Masalan, qandaydir aniq bir kanalda o'tuvchi parchalanish:

$$a \rightarrow x_1 + x_2 + \dots + x_n \quad (5)$$

kabi umumiy ko'rinishga ega. a zarra uchun tinch holatdagi sistemada to'la energiyaning saqlanish qonuni quyidagicha yoziladi:

$$E = m_0 c^2 = \sum_{\alpha} (m_{\alpha} c^2 + T_{\alpha}) \quad (6)$$

bu yerda $T_{\alpha} = E_{\alpha} - m_{\alpha} c^2 - x_{\alpha}$ zarraning kinetik energiyalari. Demak, parchalanishning zarur sharti

$$m_0 \geq \sum_{\alpha} m_{\alpha} \quad (7)$$

Shubhasiz, bu parchalanish uchun yetarli shart emas, chunki energiya saqlanish qonunlaridan tashqari uning boshqa saqlanish qonunlari ham taqiqlashi mumkin.

Parchalanish jarayonida ajralib chiquvchi energiya, ya'ni x_α zarralarning kinetik energiyalarining yig'indisi parchalanish energiyasi Q deb ataladi. (6) ga ko'ra u boshlang'ich va oxirgi zarralarning massalari farqiga teng

$$Q = \sum_{\alpha} T_{\alpha} = m_0 c^2 - \sum_{\alpha} m_{\alpha} c^2 \quad (8)$$

O'z-o'zidan parchalanishi uchun $Q > 0$, ya'ni biz yana zarur shartga (7) kelimiz. Misol: Neytronning beta-parchalanishi.

Proton, neytron va elektron quyidagi massalarga ega: $m_p = 938,26$ MeV, $m_n = 939,55$ MeV, $m_e = 0,51$ MeV. Ko'rinib turibdiki, $m_n > m_p + m_e$, agar bu boshqa saqlanish qonunlariga zid kelmasa, erkin neytronning beta-parchalanishi $n \rightarrow p + e^-$ sxemasi bo'yicha o'tishi mumkin. Haqiqatda esa, bunday jarayon o'tmaydi. Masalan, impuls momenti saqlanmaydi va amalda $n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}$ proton, elektron va antineytrinoga parchalanadi. Ikkinchi tomondan erkin proton massasi neytron massasidan $m_p < m_n$ kichik bo'lgani uchun neytron va boshqa zarralarga parchalanmaydi.

Endi ikki zarrali parchalanishni ko'rib chiqamiz.

$$a \rightarrow x_1 + x_2 \quad (9)$$

Barcha massalari ma'lum va a zarra tinch holatda deb, hosil bo'luvchi zarralarning energiyasini topamiz. Impuls saqlanish qonunidan:

$$P_a = P_1 + P_2 \quad (10)$$

Tenglikning ikkala tomonini kvadratga oshirib:

$$P_a^2 = P_1^2 + P_2^2 + 2(P_1 \cdot P_2) \quad (11)$$

R_2 ni (10) yordamida skalyar ko'paytmadan yo'qotib,

$$\begin{aligned} P_a^2 &= P_1^2 + P_2^2 + 2(P_a - P_1)P_1 = P_1^2 + P_2^2 + 2P_a P_1 - 2P_1^2 = \\ &= P_2^2 - P_1^2 + 2P_a P_1 \end{aligned} \quad (12)$$

($R_a R_1$) skalyar ko'paytmaning $\overline{P_a} = 0$ va $E_a^2 = P_a^2 + m_a^2$ dan (a zarra tinch) ligini e'tiborga olsak $E_a = m_a$, u holda (12) quyidagi ko'rinishga keladi:

$$m_a^2 = m_2^2 - m_1^2 + 2E_1 m_a \quad (13)$$

Bundan

$$E_1 = \frac{m_a + m_1^2 - m_2^2}{2m_a}, \quad E_2 = \frac{m_a + m_2^2 - m_1^2}{2m_a}, \quad (14)$$

(E_i - 1,2 indekslarni o'zaro almashtirish bilan hosil qilinadi). Bunda E_1 va E_2 parchalanishda tug'ilgan zarralar to'la energiyalari.

(13) ning har ikkala tomonidan tegishli massalarni ayirib, x_1 va x_2 zarralarning kinetik energiyasini topamiz

$$m_a^2 = m_2^2 - m_1^2 + 2(T_1 + m_1)m_a = m_2^2 - m_1^2 + 2m_a T_1 + 2m_1 m_a;$$

$$m_a^2 - 2m_1m_a + m_1^2 - m_2^2 = 2m_aT_1$$

$$(m_a - m_1)^2 - m_2^2 = 2m_aT_1$$

$$T_1 = \frac{(m_a - m_1)^2 - m_2^2}{2m_a}; \quad T_2 = \frac{(m_a - m_2)^2 - m_1^2}{2m_a}; \quad (15)$$

Parchalanishda vujudga kelgan zarralar kinetik energiyasini parchalanish energiyasi orqali ifodalash mumkin. Buning uchun (15) ni quyidagicha yozamiz:

$$T_1 = \frac{(m_a - m_1)^2 - m_2^2}{2m_a} = \frac{[(m_a - m_1) + m_2][(m_a - m_1) - m_2]}{2m_a},$$

$Q = m_a - m_1 - m_2$ ekanligini e'tiborga olib, birinchi ko'paytmaga m_a, m_1 larni qo'shib ham ayiramiz

$$T_1 = \frac{Q[2m_a - 2m_1 - m_a + m_1 + m_2]}{2m_a} = Q \left(1 - \frac{m_1}{m_a} - \frac{Q}{2m_a} \right)$$

xuddi shuningdek

$$T_2 = Q \left(1 - \frac{m_2}{m_a} - \frac{Q}{2m_a} \right) \quad (16)$$

hosil bo'ladi.

Agar energiya ajralishi uncha katta bo'lmasa ($Q \ll m_a$) va bir zarra, aytaylik x_1 yengil ($m_1 \ll m_2$) bo'lsa, u holda bu zarra amalda barcha kinetik energiyani olib ketadi: $T_1 = Q$.

Agar uning ustiga $m_1 \ll Q$ shart bajarilsa (masalan $m_1 = 0$) hamda $m_2 = m_a - Q$ deb olish mumkin bo'lsa, u holda og'ir zarra x_2 ning tepki energiyasi quyidagicha hisoblanadi:

$$T_2 = \frac{Q^2}{2m_a}$$

Ikki zarrali parchalanishda paydo bo'luvchi zarralarning energiyasi qattiy belgilangan, ular massalar bilan (14) yoki (15) formulalar yordamida aniqlanadi.

Misol: Tinchlikdagi π^+ mezon μ^+ mezon va ν neytrinoga parchalandi. μ^+ mezon va ν neytrinoning kinetik energiyasi topilsin.

$$m_{\pi^+} = 139.66 \text{ MeV}$$

$$m_{\mu^+} = 105.66 \text{ MeV}$$

$$m_\nu = 0$$

(15) formulaga ko'ra:

$$T_\mu = \frac{(m_{\pi^+} - m_{\mu^+})^2 - m_\nu^2}{2m_\pi} = \frac{(139.66 - 105.66)^2 - 0}{2 \cdot 139.66} \text{ MeV} = 4.1258 \text{ MeV}$$

$$T_\nu = \frac{(m_{\pi^+} - m_\nu)^2 - m_\mu^2}{2m_\pi} = \frac{(139.66 - 0)^2 - 105.66^2}{2 \cdot 139.66} \text{ MeV} = 29.87 \text{ MeV}$$

Nazorat savollari:

1. Zarralarning to'liqin xususiyati nima?
2. Zarralarning parchalanishida qanday saqlanish qonunlari bajarilishini ko'rsating?
3. Zarralarning parchalanishi uchun energiyaning saqlanish qonunini tushuntiring.
4. Zarrachalarning parchalanishiga misollar keltiring.

Test savollari:

1. Zarraning to'liqin xususiyati belgisini ko'rsating.
 - a) $E = h\nu$
 - b) $\lambda = \frac{h}{p}$
 - c) $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$
 - d) $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$
2. Reaksiyada "yangi" zarracha tug'ilishi uchun zarur bo'lgan enrgiya ifodasinin ko'rsating.
 - a) $E_0 = m_0 c^2$
 - b) $E_T = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$
 - c) $E_T = \sqrt{p^2 + m_0^2}$
 - d) $E_T = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} + T_0$
3. Zarra parchalanishining zaruriy shartini ko'rsating.
 - a) $Q > 0$
 - b) $Q < 0$
 - c) $m_0 \geq \sum_{\alpha} m_{\alpha}$
 - d) $m_0 \leq \sum_{\alpha} m_{\alpha}$
4. 150 MeV kinetik energiyali ikki protonning o'zaro to'qnashuvida qanday zarracha tug'ilishi mumkin: $p+p \rightarrow p+p+\dots$
 - a) π^+ -mezon
 - b) Neytron
 - c) π^0 -mezon
 - d) K^0 -mezon

1.3. Mavzu: Ikki zarrali to'qnashuvda zarralar tug'ilishi

Reja:

1. To'qnashuv reaksiyasining umumiy ko'rinishi va energiyaning saqlanish qonuni.
2. Reaksiya turlari. Ekzotermik va endotermik reaksiyalar.
3. Ostona energiyasi.

Tayanch so'zlar: reaksiya, kanal, energiya, massa, endotermik, ekzotermik, ostona, gamma kvant.

Darsning maqsadi: Talabalarga zarralarning o'zaro to'qnashuvlari hamda adron yadro va yadro-Yadro to'qnashuvlari jarayonlarini, unda o'rinli bo'lgan saqlanish qonunlarini o'rgatish va tushuntirish.

Aniq kanal orqali o'tuvchi ikki zarrali umumiy ko'rinishdagi

$$a + b \rightarrow x_1 + x_2 + \dots + x_n \quad (17)$$

to'qnashish jarayonini ko'rib chiqaylik. Uning uchun energiya saqlanish qonunini yozamiz:

$$E_a + E_b = \sum_{\alpha} E_{\alpha}$$

Kinetik energiyalarga o'tib,

$$\sum_{\alpha} T_{\alpha} - (T_a + T_b) = m_a + m_b - \sum_{\alpha} m_{\alpha} \quad (18)$$

$Q > 0$ bo'lsa, ekzotermik reaksiya, bunday reaksiyada boshlang'ich zarralarning massalari yig'indisi oxirgi reaksiyada tug'ilgan zarralar massalari yig'indisidan katta. Bu reaksiyada dastlabki zarralarning tinch energiyasi hosil bo'lgan zarralarning kinetik energiyasiga o'tadi.

Agar $Q < 0$ bo'lsa, endotermik reaksiya, bu reaksiyada boshlang'ich zarralarning massalari yig'indisi oxirgi zarralarning massalari yig'indisidan kichik. Bunda «kinetik energiya massani keltirib chiqaradi». Elastik sochilishda $Q = 0$ bo'ladi.

(17) turdagi urilish jarayonlarni ko'rib chiqishni laboratoriya sistemasida, v zarracha tinch holatda $R_v = 0$ deb qaraymiz.

Ekzotermik reaksiyalar va elastik sochilish jarayonlari uchib keluvchi a zarraning kinetik energiyasi istalgancha kichik bo'lganida ham o'tadi.

Endotermik reaksiya uchun uchib keluvchi zarralar yetarlicha kinetik energiyaga ega bo'lishi lozim. Tushuvchi zarraning minimal kichik energiyasi reaksiya ostona T_0 energiyasi deb ataladi. Bunda reaksiya energiya jihatidan mumkin bo'ladi: $T_0 = T_a^{\min}$. Agar $T_a < T_0$ bo'lsa, reaksiya yopiq, $T_a = T_0$ holda reaksiya ochiladi. $T_a \gg T_0$ bo'luvchi ultrarelyativistik reaksiyalar uchun ostona T_0 a zarraning to'la minimal energiyasi $E_a^{\min}$ bilan mos keladi.

Uch o'lchovli impulsning saqlanish qonuni hosil bo'lgan zarralarning to'la impulsi noldan farq qilishini talab qiladi. Bu hol uchib keluvchi zarra energiyasining hammasi «massaga aylanmaydi», uning bir qismi kinetik energiya ko'rinishida qolishini bildiradi. Boshqacha aytganda, T_a kinetik energiya faqatgina yangi massani yuzaga keltiribgina qolmay, balki uni tarqatib ham yuborishi kerak. Bundan ostona energiyasi hech qachon yutiluvchi energiya $|Q|$ dan kichik bo'lmaydi:

$$T_0 \geq |Q|$$

Bu kattaliklar faqat zarralar sistemasining to'la impulsi nolga teng hollarda, ya'ni masala inersiya markazi sistemasida ko'rilyotganda yoki reaksiya to'qnashuvi dastalarda amalga oshirilganda mos keladi.

(17) reaksiyaning ostonasini hisoblaylik. Boshlang'ich a va v zarralarni yagona sistema deb, bitta zarradek olaylik. Uning massalarining kvadrati:

$$\begin{aligned}
M^2 &= E^2 - P^2 = (E_a + E_b)^2 - (P_a + P_b)^2 = \\
&= (E_a + m_b)^2 - (P_a + 0)^2 = E_a^2 + 2E_a m_b + m_b^2 - P_a^2 = \\
&= m_a^2 + m_b^2 + 2E_a m_b
\end{aligned} \tag{19}$$

Boshlang'ich sistemani yagona zarradek qarar ekanmiz, u holda urilish jarayonini bu zarraning $x_1 \dots x_n$ zarralarga parchalanishi kabi ko'ramiz. (7) turdagi parchalanishning zarur sharti bizga quyidagini beradi:

$$\sqrt{m_a^2 + m_b^2 + 2E_a m_b} \geq \sum_{\alpha} m_{\alpha}$$

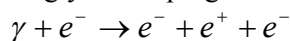
Bu yerdan a zarraning minimal energiyasi $E_a^{\min}$ topamiz

$$E_a^{\min} = \frac{\left(\sum_{\alpha} m_{\alpha}\right)^2 - m_a^2 - m_b^2}{2m_b} \tag{20}$$

Reaksiya ostona energiyasini T_0 topish uchun $E_a^{\min}$ dan a zarra tinch energiyasini ayirish lozim. $E_a^{\min} = T_0 + m$ deb (20) ifodani yozaolamiz.

$$\begin{aligned}
2m_b(T_0 + m_a) &= \left(\sum_{\alpha} m_{\alpha}\right)^2 - m_a^2 - m_b^2 \\
\left(\sum_{\alpha} m_{\alpha}\right)^2 - m_a^2 - m_b^2 - 2m_b m_a &= 2m_b T_0 \\
\left(\sum_{\alpha} m_{\alpha}\right)^2 - (m_a + m_b)^2 &= 2m_b T_0 \\
T_0 &= \frac{[\sum m_{\alpha} + (m_a + m_b)][\sum m_{\alpha} - (m_a + m_b)]}{2m_b}
\end{aligned} \tag{21}$$

1-misol: γ kvantning tinchlikdagi elektron bilan tuqnashuvida elektron-pozitron juftining hosil bo'lish ostona energiyasini toping.



(21) formulaga asosan

$$E_{ost} = \frac{[3m_e - m_e][3m_e + m_e]c^2}{2m_e} = 4m_e c^2 = 2.04 \text{ MeV}$$

2-misol: T kinetik energiyali protonning tinchlikdagi vodorod nishon bilan to'qnashuvida $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$ reaksiya bo'lish ostona energiyasi hisoblansin.

$$m_{\pi} = 139.6 \text{ MeV}$$

$$m_p = 938.26 \text{ MeV}$$

$$E_{ocm} = \frac{[2m_p + m_\pi - 2m_p][2m_p + m_\pi + 2m_p]c^2}{2m_p} = \frac{m_\pi c^2(4m_p + m_\pi)}{2m_p} = 289.58 \text{ MeV}$$

Nazorat savollari:

1. Ikki zarrali to'qnashuvning umumiy ifodasini yozing va tushuntiring.
2. Ikki zarrali to'qnashuv uchun energiyaning saqlanish qonunini tushuntirib bering.
3. Ekzotermik reaksiyada energiya nima hisobidan ajraladi?
4. Endotermik reaksiyani tushuntirib bering.
5. Ekzotermik reaksiyaga misol keltiring.
6. Endotermik reaksiyaga misol keltiring.

Test savollari:

1. Endotermik reaksiya shartini ko'rsating.
 - a) Energiya ajralib chiqadi, $Q > 0$.
 - b) Energiya yutiladi, $Q < 0$.
 - c) Tashqaridan energiya sarflanmaydi, $Q = 0$.
 - d) To'qnashuvda hosil bo'lgan zarrachalarning to'la kinetik energiyasi to'qnashuvchi zarrachalarning to'la kinetik energiyasidan katta bo'lishi lozim.
2. Elastik sochilish uchun uchib keluvchi zarracha kinetik energiyasi T va ostona energiyasi Q qanday bo'lishi lozim?
 - a) T istalgancha, $Q > 0$.
 - b) T istalgancha, $Q = 0$.
 - c) $T=0$, Q istalgancha.
 - d) $T > 0$, $Q < 0$.
3. $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$ reaksiyada γ -kvantlar yig'indi energiyasining minimal qiymatini ko'rsating.
 - a) 5,11 MeV
 - b) 10,22 MeV
 - c) 1,022 MeV
 - d) 0,511 MeV

1.4. Mavzu: Elementar zarralar kvant sonlari va ularning saqlanishi

Reja:

1. Elementar zarralarni xarakterlovchi asosiy kvant sonlari.
2. Kuchli o'zaro ta'sirlashuvda ishtirok etuvchi zarralar.
3. Elektr, barion va lepton zaryadlari.
4. Juftlik. G'alatilik kvant soni.

Tayanch so'zlar: zarralar massa, spin, elektr zaryadi, magnit moment, lepton zaryadi, izotopik spin, g'alatilik, juftlik, o'rtacha yashash vaqti.

Darsning maqsadi: Talbalarni elementar zarrachalarni xarakterlovchi asosiy kvant sonlari bilan tanishtirish. Ularning kelib chiqish sabalari va saqlanishi qonunlarini tushuntirish.

Elementar zarralar massa, spin, elektr zaryadi, magnit moment, lepton zaryad, izotopik spin va uning proyeksiyasi, g'alatilik, juftlik, o'rtacha yashash vaqti kabi qator xususiyatlari bilan xarakterlanadilar. Umuman zarralarni xarakterlovchi kattaliklar ko'p va xilma-xildir. Shunday bo'lsa ham ulardan birortasini elementar zarralarning klassifikatsiyasi uchun asosiy xarakteristika sifatida ajratish qiyin.

Elementar zarralarni o'zaro ta'sirlashuviga, barqaror yoki beqarorligiga, qaysi statistikaga bo'ysunishiga massasi va boshqa xususiyatlariga qarab turli sinflarga bo'lish va turlicha nomlar bilan atashlik mumkin.

Kuchli o'zaro ta'sirda qatnashuvchi zarralarga adronlar deb ataladi. Yashash vaqti ($\sim 10^{-23}$ s) bo'lgan zarralarga rezonans zarralar, qanday statistikaga bo'ysunishiga qarab fermion va bozonlarga bo'linadi. Bozonlarga kiruvchi barqaror adronlar mezonlar deb ataladi va barqaror fermion adronlar esa barionlar deb ataladi.

Xuddi shuningdek rezonanslar ham mezon rezonanslar va barion rezonanslarga bo'linadi. Kuchli ta'sirda qatnashmaydigan fermionlar leptonlar sinfini tashkil etadi, masalan, elektron-pozitron, myon, taon va ularga tegishli neytrino va antineytrinolar. Kuchli o'zaro ta'sirda qatnashmaydigan va massasi nolga teng bo'lgan bozonlar klassik maydon kvantlari hisoblanadi (foton, graviton). 1-jadvalda ba'zi elementar zarralar guruhi keltirilgan.

Elementar zarralarning xususiyatlariga birma-bir to'xtalib o'tamiz.

1.Massa. Har bir zarra tinch holatdagi massasi bilan xarakterlanadi. U zarraning dinamik xususiyatini anglatadi. Dastlab elementar zarralar massalariga qarab leptonlar, mezonlar, barionlar deb nom olgan, yengil, o'rta va og'ir zarralar sinfiga bo'lingan edi. Endi bu terminlar saqlanib qolgan bo'lsada, ba'zilar o'zining oldingi ma'nosini yo'qotdi. Haqiqatdan ham, yuqorida ko'rilgan τ -leptonning massasi proton massasidan ikki marta katta, Y-epsilon mezon massasi esa, barion hisoblangan proton massasidan 11 marta katta va h.k. Massa saqlanish qonuni hamma ta'sirlashuvlarga ko'ra kechadigan jarayonlarda bajariladi.

2.Elektr zaryadi. Zarralarga elektr zaryadi elektron zaryadi birligida o'lchanadi. Zarralarning elektr zaryadi butun son bo'lib, 0 ga ± 1 ga teng. Rezonans zarralarda zaryadi ± 2 zaryadlilari ham bor. Elektr zaryadining saqlanish qonuni doim bajariladi. Materiyaning tarkibiy qismlaridan hisoblangan va $\frac{1}{2}$ spinga ega

fundamental fermionlar deb ataluvchi kvarklar esa $\pm \frac{2}{3}e$ yoki $\pm \frac{1}{3}e$ ga teng zaryadga ega. Kvarklar tajribada kuzatilmaganligi uchun ularning zaryadi ham o'lchanmagan.

3. Barion zaryad. Proton va undan og'ir hamma zarralar barionlar deb ataladi va ularning har biri $V=+1$, antibarionlar esa $V=-1$ barion zaryadiga ega bo'ladi. Shunday qilib, barion va antibarion faqat elektr zaryadi ishorasi bilangina emas, balki barion zaryadi ishorasi bilan ham bir-biridan farqlanadi. Barionlarning barion zaryadining saqlanish qonuni ular parchalanganda «og'irlik» xususiyatining saqlanishini aks ettiradi.

Protonning barqarorligi esa uning boshqa barionlar oldida ularning «ogʻirlik» xususiyatini saqlashdan iborat. Barion zaryadining saqlanishi $pe^+ + \gamma$ parchalanishni man etadi.

4. Lepton zaryadi. Yengil zarralar lepton zaryadiga ega. Hozir leptonlarning olti xili mavjudligi ma'lum: $e^-, \mu^-, \tau^-, \nu_\mu, \nu_p, \nu_\tau$, har bir lepton o'z antizarrasiga ega: $e^+, \mu^+, \tau^+, \nu_e, \nu_p, \nu_\tau$. Leptonlar +1 va antileptonlar -1 lepton zaryadiga ega. Yuqoridagi leptonlar uch xil lepton zaryad bilan xarakterlanadi. Elektron lepton L_e , myuon lepton L_μ , taon lepton zaryad L_τ . Elektron, myuon, taon va ularning neytrinolari mos ravishda $L_e=1, L_\mu=1, L_\tau=1$ lepton zaryadiga ega bo'lishsa, bularning antizarralari mos ravishda $L_e=-1, L_\mu=-1, L_\tau=-1$ lepton zaryadiga ega bo'ladilar. Leptonlarga kirmaydigan hamma boshqa zarralar uchun lepton zaryadi nolga teng. Lepton zaryad saqlanish qonuni mikrozarralarning bir-biriga aylanish jarayonlarini tartibga soladi.

M: $\nu_e + p \rightarrow e^+ + n, \nu_\mu + p \rightarrow \mu^+ + n$ reaksiya bo'lishini taqiqlaydi, $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n, \bar{\nu}_\mu + p \rightarrow \mu^+ + n$ reaksiya bo'lishini ko'rsatadi.

5. Spin. Spin zarraning xususiy mexanik momentini ko'rsatadi va Plank doimiysi (h) birliklarida o'lchanadi. Zarra spini zarraning qaysi statistikaga bo'ysunishini va zarra to'lqin funksiyasining skalyar, spinor yoki vektor xarakterga ega bo'lishini belgilaydi. Spini nol bo'lgan zarralar harakati skalyar, yarimga teng bo'lganlari spinor va nihoyat, birga teng spinli zarralar harakati vektor to'lqin funksiyalar bilan ifodalanadi. Zarralar spini noldan $3/2$ ga qadar qiymatlarni olishi mumkin.

6. Juftlik. Fazoda koordinatalar inversiyasi bilan bog'liq bo'lgan juftlik fazoviy juftlik deb ataladi va R simvol bilan belgilanadi. Zarraning fazodagi o'rnini belgilovchi koordinatalari ishorasi o'zgartirilganda fazoviy juftlik o'zgarishligi ($R=+1$) va aksincha, o'zgarishi ($R=-1$) mumkin. Shunga qarab, fazoviy juftlik juft yoki toq juftlikka ega bo'ladi. Zarralar ichki juftlikka ega bo'lib, u ham juft yoki toq bo'lishi mumkin. Zarralarning ichki juftligi ularning asosiy kvant xususiyatlaridan biridir. Spin va juftlik birgalikda J^P simvol bilan ko'rsatiladi. Ichki juftlik saqlanish qonuni sistemada biror fizik hodisa ro'y berganda uning ko'zgudagi tasvirida ham shu hodisaning o'sha yo'nalishda ro'y berishini ko'rsatadi. Matematika nuqtai nazaridan aytganda R juftlikning saqlanishi fizik qonunlarning fazoviy koordinatalar ishorasining o'zgarishiga bog'liq emasligini ifodalaydi.

Kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sirda R juftlik saqlanadi va bunday jarayonlarda yaxshi kvant soni bo'ladi. Kuchsiz o'zaro ta'sirda R juftlikning saqlanish qonuni buziladi.

7. Izotopik spin. Hamma zarralarning zaryad holatlari ularning izotopik spini bilan belgilanadi. Izotopik kvant soni T kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sirga nisbatan elementar zarralarning qanday namoyon bo'lishini ko'rsatadi. Zarra zaryad multipleti i ta zarradan tashkil topgan bo'lsa, uning izotopik spini quyidagicha aniqlanadi:

$$T = \frac{(i-1)}{2}$$

Agar: $T=0$ bo'lsa, $i=1$ singlet, masalan Λ^0 -giperon

$T=1/2$ bo'lsa, $i=2$ dublet, masalan proton, neytron

$T=1$ bo'lsa, $i=3$ triplet, masalan π^+, π^0 mezon

Kuchli o'zaro ta'sirda bir zaryad multipletiga kiruvchi va o'zlarini bitta zarra kabi tutuvchi zarralar elektromagnit o'zaro ta'sir ostida massalari va zaryadlari bilan farqlanuvchi zarralarga aylanadi. Ma'lumki, uchta π -mezon π^+, π^0, π^- bir-biridan faqat zaryadlari bilan farq qiladi. π -mezonning izospini $T=1$, izospin proyeksiyalari esa $T_z=+1, 0, -1$ ga teng. Elementar zarralarning elektr zaryadi, izospin proyeksiyasi va barion zaryadi o'zaro quyidagicha bog'langan.

$$q = T_z + \frac{1}{2} B \quad (22)$$

Izotopik spinning saqlanish qonuni izotopik fazodagi almashtirishlarga nisbatan kuchli o'zaro ta'sirning simmetriyasi (invariantligi) bilan bog'liq. Kuchli o'zaro ta'sirdan boshqa hamma o'zaro ta'sirlar bu

simmetriyaga ega emas, ya'ni ularda izotopik spinning saqlanish qonuni buziladi. Kuchli o'zaro ta'sirga nisbatan izospin va uning proyeksiyasi yaxshi saqlanuvchi kvant sonlari bo'lsa, elektromagnit o'zaro ta'sirga nisbatan esa faqat uning proyeksiyasi saqlanadi yaxshi kvant soni bo'ladi.

Murakkab sistemaning to'la izotopik spini shu sistemaning tarkibiga kiruvchi zarralar izotopik spinlarining vektor yig'indisiga teng. Izotopik spinning vektor yig'indisi oddiy spinning vektor yig'indisi kabi hisoblanadi. Masalan, nuklon-pion sistemasining izotopik spini $\frac{1}{2}$ ga va $\frac{3}{2}$ ga teng. Chunki nuklon uchun $T=1/2$, pionniki $T=1$, ularning vektor yig'indisi $\frac{1}{2}$ yoki $\frac{3}{2}$ bo'ladi.

8. G'alatilik. 1951 yilda ajoyib xususiyatga ega bo'lgan zarralar kashf etildi. Bu zarralarni boshqa odatdagi zarralardan farqlash uchun (S) g'alatilik kvant soni kiritildi. Bu zarralar g'alatiligi shundaki, ular kuchli o'zaro ta'sir orqali yuz beruvchi jarayonlarga xos vaqtlarda ($\sim 10^{-23}$ s) hosil bo'ladi, lekin hosil bo'lgan zarralar nisbatan katta yashash vaqtiga ega (10^{-8} - 10^{-10} s). Reaksiyada energetik jihatdan mumkin bo'lsada, yolg'iz g'alati zarra tug'ilmaydi, g'alatilikka ega bo'lgan zarralar bilan birgalikda vujudga keladi. M:

$p + p \rightarrow p + \Lambda^0 + K^+$, $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$ va h.k. G'alati zarralar uchun g'alatilik noldan farqli bo'lib $S=\pm 1, \pm 2, \pm 3$ bo'ladi. G'alatilik quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$q = T_z + \frac{B + S}{2} \quad (23)$$

Barion va g'alatilik zaryadlar yig'indisini giperzaryad deb ataladi, $Y=B+S$, shuning uchun (23) ni quyidagicha yozaolamiz

$$q = T_z + \frac{Y}{2} \quad (24)$$

G'alatilikning saqlanish qonuni kuchli va elektromagnit o'zaro ta'sirlarda o'rinli bo'lib, kuchsiz o'zaro ta'sirda buziladi. G'alatilik additiv kattalik, ya'ni murakkab sistemaning g'alatiligi uni tashkil etuvchilari g'alatiliklarining arifmetik yig'indisiga teng.

Nazorat savollari:

1. Elementar zarralar uchun qanday kvant sonlarini bilasiz?
2. Lepton kvant soni qanday zarrachalar uchun qo'llaniladi?
3. Barion kvant soni qanday zarrachalar uchun qo'llaniladi?
4. Adronlar deb qanday zarrachalarga aytiladi?
5. "Juftlik" zarrachaning qanday xususiyatini ifodalaydi?
6. G'lati zarrachalarga misollar keltiring.
7. Spin va izotopik spin kvant sonlarini tushuntiring.
8. Neytrino uchun kvant sonlarini ko'rsating.

Test savollari:

1. π -mezonning izotopik spini $T=1$ ga teng. Uning izotopik spini proyeksiyalarining qiymatlarini ko'rsating.
 - a) $T_z = +1, -1$
 - b) $T_z = 0, +1, 0$
 - c) $T_z = +1, 0, -1$
 - d) π -mezon izotopik spin proyeksiyasiga ega emas.
2. G'alati zarrachalar uchun barion zaryadini hisoblash formulasini ko'rsating.
 - a) $q = T_z + \frac{B+S}{2}$
 - b) $q = T_z + \frac{B}{2}$
 - c) $q = \frac{B+S}{2}$
 - d) $q = T_z / 2 + B + S$
3. Izotopik spin $T=1$ bo'lsa qanday multiplet hosil bo'ladi?
 - a) dublet
 - b) triplet
 - c) singlet
 - d) aniqlash mumkin emas.

1.5.Mavzu:Elementar zarralar sistematikasi

Reja:

1. Elementar zarralarni sinflarga ajratish asoslari.
2. Elementar zarralar izomultiplati haqida tushuncha.
3. Elementar zarralar supermultiplatlari haqida tushuncha.

Tayanch so'zlar: massa, adron, kuchli o'zaro ta'sir, foton, lepton, barion, izomultipllet, simmetriya, Gell-Mann,Nishidjima.

Darsning maqsadi: Elementar zarralarni sinflarga ajratish sabablari va imkonlari haqida talabalarga ma'lumot berish va bularni tushuntirish. Talabalarni Gell-Mann va Nishidjima ishlari bilan tanishtirish.

Elementar zarralar massalariga qarab kuchsiz o'zaro ta'sirda qatnashadigan leptonlarga, kuchli o'zaro ta'sir bilan yuz beradigan jarayonlarda qatnashuvchi adronlarga bo'linishini ko'rdik. Fotonlar elektromagnit ta'sirni tashuvchi zarra bo'lib, u alohida sinfni tashkil etadi.

Leptonlar haqiqiy elementar zarralarni tashkil etsa kerak. Leptonlar e , μ , τ va ularning neytrinolari va antizarralari hammasi 12 ta. Leptonlar yo absolyut barqaror yoki yadroviy masshtablarda juda katta yashash

vaqtiga ega. Leptonlar nuqtaviy obyektlardir, ya'ni yuqori energiyalarda ham ichki tuzilishga ega emasligi aniqlangan. Shuning uchun ham leptonlar haqiqiy elementar bo'lsa kerak. Shu fikrlar fotonlarga ham taalluqlidir.

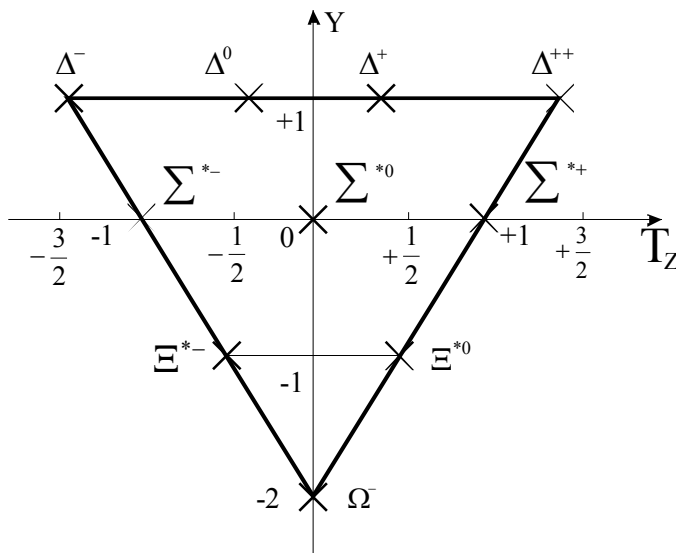
Adronlar soni juda ko'p, ko'pchiligi rezonanslardan iborat bo'lib, juda qisqa yashash vaqtiga ega. Ular elektromagnit strukturaga ega ekanligi tajribalarda aniqlangan.

Yuqori energiyali elektronlarning protonlarda sochilishini o'rganish protonlarning ichida qandaydir diskret tashkil etuvchi markazlar mavjud ekanligini ko'rsatdi. Protonning tarkibiga kiruvchi bu nuqtaviy zarralarni R.Feynman partonlar deb atadi. Parton inglizcha so'z bo'lib, bo'lak, qism degan ma'noni anglatadi. Parton nazariyasi boshqa leptonlarning protonlarda sochilishi, protonlarning protonlarda sochilishida ham tasdiqlandi.

Kvarklar nazariyasi yaratilgach, partonlar kvark, antikvark va glyuonlardan tashkil topgan degan fikr aytili. Shunday qilib, elementar zarralarni kvarklardan tashkil topgan degan kvarklar nazariyasi yaratildi.

M.Gell-Mann va K.Nishidjimalar adronlarni izomultiplet deb ataluvchi sistema asosida guruhlash mumkinligini ko'rsatdi. Bu sxemada asosan bir xil spin, juftlik va barion zaryadli adronlar alohida-alohida izomultipletlarga birlashadi. Ularning massalari ham taxminan bir xil, lekin izomultiplet zarralari izospin proyeksiyasi T_z bilan farqlanadilar.

1-rasmda barion zaryadli $V=1$, spin va juftligi $I^P=1/2^+$ bo'lgan nuklonlar va giperonlar izomultipletligi keltirilgan.



1-rasm

Bu izomultiplet o'sha vaqtda noma'lum bo'lgan $\bar{K}, \Sigma^0, \Xi^0$ giperonlar mavjudligini bashorat qildi va keyinchalik bu zarralar tajribada topildi. 1961 yilda M.Gell-Mann va Yu.Neyeman unitar simmetriya deb nom olgan zarralarni guruhlariga birlashtirish mumkinligini aniqladi. Unitar simmetriya sxemasi asosida mezonlar bir yoki sakkizta zarralardan iborat oilani, adronlar esa bir sakkiz yoki o'nta zarralardan iborat oilalarni tashkil etadi. Izospin va giperzaryad $Y=B+S$ kvant sonlarining olish mumkin bo'lgan qiymatlari har bir oila uchun ma'lum kvant sonlar panjarasini hosil qiladi.

Nazorat savollari:

1. Elementar zarrachalar qanday xarakteristikalariga ko'ra klassifikatsiyalanadi?
2. Nima uchun leptonlarni yengil zarrachalar deyiladi?
3. Fotonlar elementar zarrachalarining qaysi sinfiga kiradi?
4. Oktet nima? Misol keltiring.
5. Rezonanslar qanday zarrachalar?
6. Mezonlar deb ataluvchi zarrachalar boshqa sinfdagi zarrachalardan qanday xarakteristikalar bilan farq qiladi?

Test savollari:

1. Leptonlar sinfini ko'rsating:
 - a) proton, neytron, electron
 - b) electron, pozitron, proton
 - c) electron, π^+ -mezon, K-mezon
 - d) elektron, myuon, tau-lepton.
2. Adronlar deb qanday zarrachalarga aytiladi?
 - a) Kuchli o'zaro ta'sirlashuvlarda ishtirok etuvchi zarralarga
 - b) Gravitatsion o'zaro ta'sirlashuvlarda ishtirok etuvchi zarralarga
 - c) Kuchsiz o'zaro ta'sirlashuvlarda ishtirok etuvchi zarralarga
 - d) Mezonlar to'planmiga.
3. "parton" so'zining ma'nosi nima va uni fanga kim kiritgan?
 - a) protoncha, kichik proton. E.Rezerford.
 - b) qism, bo'lak. R.Feynman.
 - c) qism, bo'lak. E.Fermi.
 - d) qism, bo'lak. M.Gell-Mann va K.Nishidjima.

1.6. Mavzu: Kvarklar.

Reja:

1. Adronlarni sistemaga solishda paydo bo'lgan qiyinchiliklar.
2. Kvarklar tushunchasi. Kvarklarning kvant sonlari.
3. Adronlarning kvarkli tuzilishi.

Tayanch so'zlar: fundamental, sistema, adron, rezonans, kvark, hid, zaryad, tarkib, mezon, barion, graviton.

Darsning maqsadi: Adronlarni sistemaga solishda paydo bo'lgan qiyinchiliklar va ularning sabablarini talabalarga tushuntirish. Kvarklar tushunchasi bilan tanishish va ularning kvant sonlarini o'rganish. Adronlarning kvarkli tuzilishini o'rganish.

Adronlarni sistemaga solish, ya'ni sinflarga birlashtirishdan tashqari, ularning har birini kichik miqdordagi fundamental zarralardan tuzilganini aniqlashga urinishlar ko'p bo'ldi.

1964 yilda M.Gell-Mann, J.Sveyglar bir-birlaridan mustasno giperzaryadi kasrli bo'lgan adronlarning unitar triplet oilasi mavjud bo'lishi kerakligini aytdilar. Bu triplet a'zolarini Sveyg «tuzlar» deb atadi, Gell-Mann esa ularga «kvarklar» nomini berdi. Keyinchalik kvark termini keng ishlatila boshlandi.

Dastlabki vaqtda uchta kvark va uning antikvarklari bor deb qaraldi.

Antikvarklar kvant sonlarining (spin I va izotopik spin T dan tashqari) ishorasi bilan o'z kvarklaridan farqlanadilar.

Kvark modeliga ko'ra, mezonlar, kvark va antikvark q, q juftlikdan tashkil topgan masalan, π^+ -mezon, U-kvark va d-antikvarkdan tashkil topgan bo'lishi kerak. π^+ -zaryadi uni tashkil etgan kvark-antikvark zaryadining yig'indisiga teng, $+\frac{2}{3} + \frac{1}{3} = 1$, uning barion zaryadi esa $\frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$ va h.k. Kvark modeliga ko'ra

barionlar uchta kvarkdan tuziladi. M: proton p(uud), elektr zaryadi $+\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$, barion zaryadi $\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 1$, g'alatligi S=0 va h.k. Xuddi shuningdek n(udd), Λ^0 (uds), Σ^0 (dds), Σ^+ (uus), Ξ^0 (dss), Ξ^0 (uss).

Turli mezon va barionlarni tashkil etuvchi ikki kvark-antikvark yoki uch kvarkli sistemalar orbital momenti nolga teng holatda bo'lib, massasi minimal bo'lishi yoki orbital qo'zg'olishlar natijasida massalari ortib, spin hamda juftliklari o'zgarishi ham mumkin. Natijada ular oktet yoki deket sistemalarini hosil qiladi. Kvarklar massalarini quyidagicha deb qaraladi: $m_u=3,5-5$ MeV, $m_d=6,5-10$ MeV, $m_s=100-250$ MeV, $m_c=1,35$ GeV, $m_b=4,7$ GeV, $m_t>22$ GeV.

Barionlar spini I=1/2 bo'lishi uchun barionni tashkil etgan uchta kvarklardan spinlari ikkitasi parallel, bittasi antiparallel deb qaraladi. I=3/2 bo'lishi uchun esa uchala kvarklarning spinlari parallel bo'lishi lozim, masalan, 3/2 spinli barion deket

$$\Delta^+=ddd \quad \Delta^0=udd \quad \Delta^+=uud \quad \Delta^{++}=uuu \quad 1232 \text{ MeV}$$

$$\Sigma^-=dss \quad \Sigma^0=uds \quad \Sigma^+=uus \quad 1385 \text{ MeV}$$

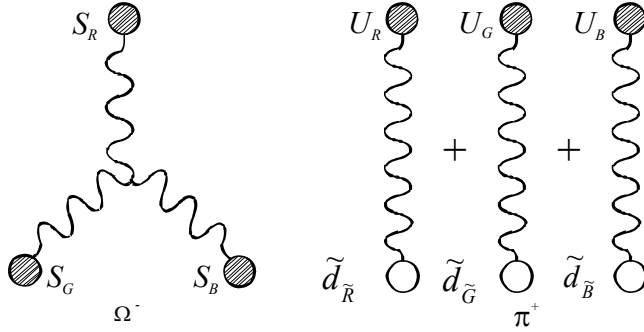
$$\Xi^-=dss \quad \Xi^0=uss \quad 1530 \text{ MeV}$$

$$\Omega^-=sss \quad 1672 \text{ MeV}$$

Kvarklar yarim spinli fermionlardan iborat bo'lgani uchun ular Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunadi. Lekin, ba'zi barionlar, masalan, Ω^+ -giperon uchta bir xil spin yo'nalishiga ega bo'lgan s-kvarklardan tashkil topgan deb tushuntirishga to'g'ri keldi. Bu esa Pauli prinsipiga to'g'ri kelmaydi. Bu qarama-qarshilikni bartaraf etish uchun turli mulohazalar o'rtaq tashlandi. M.I.Xan, Y.Nambu (ikkalasi ham AQSh dan),

A.Tavxeldze (sobiq SSSR), Y.Miyamoto (Yaponiya) lar har bir kvark qo'shimcha kvant songa, ya'ni uchta ranga ega bo'lishi kerak deb bu muammoni hal etdilar. Ranglar qizil, yashil va ko'k, antikvarklar esa «antiqizil»-havo rang, «antiyashil»-to'q qizil, «antiko'k»-sariq tuslangan deb hisoblanadi. Rang tushunchasining kiritilishi kvarklar sonini uch marta ko'paytiradi.

Endi zarralar quyidagicha tuziladi. Barionlar turli rangli uchta kvarklardan, mezonlar biror rangli kvark va antirangli antikvarklardan tashkil topadi. Masalan, Ω^- -giperon endi ranglari qizil R(red), yashil G(green) va ko'k B(blue) bo'lgan uch s-kvarkdan tuziladi. Mezonlar kvark va antikvarklardan tuziladi, lekin ularning rangi oldin qizil-antiqizil, so'ng yashil-antiyashil va ko'k-antiko'k rangga almashinadi (1-rasm).



1-rasm.

1974 yili AQSh ning Bruksheyven tezlatgichida Be nishonini protonlar bilan bombardimon qilishda va Stenfordda elektron-pozitronlarning qarama-qarshi oqimida massasi 3,096 GeV I/ψ zarra kashf etildi. Bu zarra yashash vaqti katta holat kengligi 60 keV, odatda bu kenglik 10-70 MeVlar bo'lishi kerak edi. Bu yana qandaydir bir kvant soni bilan man etilgan bo'lishi kerak. Bu holatni tushuntirish uchun to'rtinchi maftunkor kvark (inglizcha charm-maftun) soni kiritildi. I/ψ -mezon (ss)-kvarklardan tashkil topgan. Keyinchalik ko'plab maftunkor va pinhoniylar maftunkor zarralar topildi.

1977 yili L.Liderman rahbarligida Bataviyada Fermi nomli laboratoriyada o'ta og'ir massasi 9,4 GeV va 10,0 GeV ga teng kichik holat kengligiga ($\sim 0,04$ MeV) ega bo'lgan epsilon Y-mezonni kashf etdi. Bu xil zarralarni beshinchi b (beauty-go'zal, chiroyli) kvarkni kiritish bilan tushuntirildi. Mavjud kvarklardan zaryadi $+2/3$ bo'lgan yuqori, zaryadi $-1/3$ bo'lgan pastki kvarklar bor, zaryadlar simmetrikligiga ko'ra oltinchi kvark ham bo'lishi kerak. Albatta bu kvark yuqori kvark, ya'ni zaryadi $+2/3$ bo'lishi lozim. Bu kvarkni t (truth-haqqoniy) kvark deb nom berildi. Adronlar parchalanishida kvark sonlari kuchli va elektromagnit ta'sirlashuvlarda saqlanadi, kuchsiz ta'sirlashuvda buzilishi mumkin. Adronlar elektr zaryadi barcha kvant sonlari bilan quyidagicha ifodalanadi

$$q = T_z + \frac{B + S + C + b}{2} \quad (25)$$

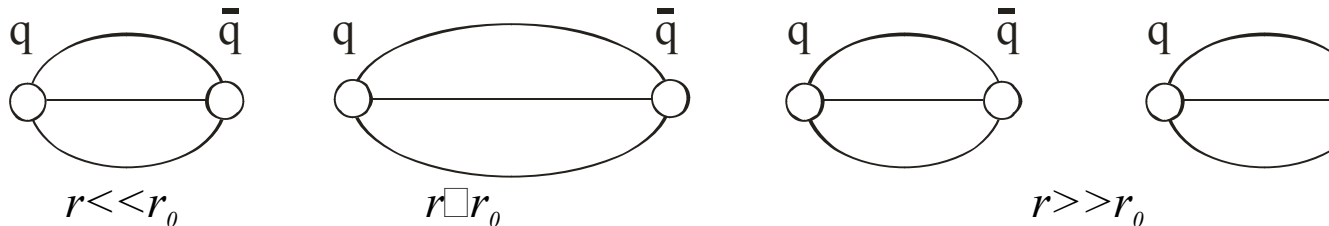
Rang tushunchasi kiritilgach, kvarklar xili ularning xushbo'yliqi deb atala boshlandi, ya'ni kvarklar u, d va s xushbo'ylikka ega deyiladi. Har xil xushbo'ylikli kvarklar massalar bo'yicha bir-biridan farqlanadi, lekin rangli bir xil xushbo'ylikka ega bo'lgan kvarklar bir-biridan faqat rangi bilan farqlanadi. Kvark nazariyasiga rang tushunchasi kvark statikasi muammosini hal qilish uchun kiritilgan edi. Kvarklarni adronlar ichida bir-biri bilan bog'lab, ushlab turuvchi kuch shu rang tufayli yuzaga keladi deb qaraladi.

Kvarklar o'zaro massasiz, spini 1 ga teng bo'lgan glyuonlar (glue-inglizcha yelim) bilan ta'sirlashadilar. Kvarklarning glyuonlar almashinuvida kvarklarning rangi o'zgaradi, turi esa o'zgarmaydi, qolgan kvant sonlari saqlanadi. Masalan, u-kvark glyuon berib yoki glyuon olib, u-kvarkning boshqa rangida namoyon bo'ladi. Glyuonlar kvarksiz ham o'zaro ta'sirlashishi mumkin. Lekin elektromagnit maydon fotonlari bunday xususiyatga ega emas.

Glyuonlar soni 8 ta hisoblanadi. Har bir glyuon rang va antirangga ega bo'lsa, 3 ta rang va antirangdan 9 ta kombinasiya tuzish mumkin.

Kvark nazariyasiga ko'ra kvark atrofida hosil bo'lgan rang zaryadi kvarkdan uzoqlashganda o'zgarmasligi, balki ortishi lozim. Buning natijasida kvarklar orasidagi masofaning ortishi bilan ularning o'zaro ta'sir energiyasi ortib ketadi. Kvarklar adron ichida, bir-biriga juda yaqin joylashganligi uchun ular orasidagi o'zaro ta'sir kam va kvarklar zarra ichida o'zlarini erkin zarralar kabi tutadi. Kvarklar orasidagi masofaning ortishi bilan sistemaning rang zaryadi ortib ketib ular orasidagi ta'sir energiya ham ortadi. Shuning uchun kvarklarni markazda erkinlikda, periferiyda esa «qullikda, asirlikda» deyishlik mumkin. Balki kvarklarni erkin holatda kuzatilmasligi ham mana shundan bo'lsa kerak. Adronlar ichida kvarklarning o'zaro kuchli bog'langan bo'lishi uchun masofa ortishi bilan kvark rangi zaryadining cheksiz ortishi zarur emas. Rang zaryadining ortishi, energiyaning yangi kvark va antikvark jufti hosil bo'lishiga yetarli bo'lgan qiymatiga qadar ortishi darajasida o'zgarishiga sabab bo'lsa, yetarli bo'lishi mumkin. Rang zaryadi shu qiymatga erishganda yangi kvark antikvark jufti hosil bo'ladi. Adron ichida tez elektron urib chiqargan kvark o'rnini yangi hosil bo'lgan kvark egallaydi. Urib chiqarilgan kvark esa yangi hosil bo'lgan antikvark bilan qo'shilib mezonni hosil qiladi.

Kvarklarning adronlar ichidan erkin chiqadiganligini tushuntiruvchi bir necha modellar mavjud, jumladan, tor modeliga ko'ra tor cho'zilganda uning taranglik energiyasi ortgani singari, bir-biridan uzoqlashtirilgan ikki kvark orasidagi glyuon maydon ortadi. Kvarklar glyuon maydondan yasalgan tor tufayli bir-biri bilan bog'langan bo'ladi. Kvarklar orasidagi masofa yanada ortganda torda to'planuvchi glyuon maydon energiyasi kvark antikvark juftligini hosil qilishga yetarli bo'lib qolsa tor uziladi. Tor uzilgan joyda yangi kvark va antikvark hosil bo'ladi. Shunday qilib, erkin kvarklar hosil bo'lish o'rniga mezonlar vujudga keladi (2- rasm).



2-rasm.

Bu holni to'g'ri magnitni ikkiga bo'lganimizda, yana ikki qutbli magnit hosil bo'lishiga o'xshatish mumkin.

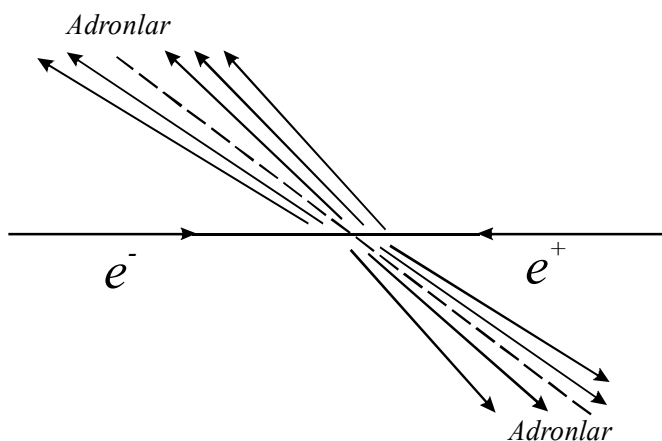
Ma'lumki, nuklonlar o'rtasidagi kuchli o'zaro ta'sirni mezonlar orqali deb tushuntiriladi. Endi kvant xromodinamikasiga ko'ra esa kvarklar vositasida amalga oshiriladi deb qaraladi. Kuchli o'zaro ta'sirlashuv vositachisi glyuonlar, glyuon rang almashinuvi bilan oshiradilar deb qaraladi. Lepton, foton, oraliq bozonlar o'zlari bilan rang olib o'tmaydilar, shuning uchun kuchli ta'sirlashuvda qatnashmaydilar.

Adron zarralarni valentli, tokli kvarklar va atrofida glyuonlar «dengizi» turlicha xushbo'ylik va rangli kvark va antikvarklar qoplab olgan deb tasavvur etish mumkin. Valentli kvarklar adronlar tarkibini tashkil etishda qatnashsa, tokli kvarklar glyuonlarni yutadi yoki chiqaradi, bu bilan kuchli ta'sirlashuvni amalga oshiradi.

Yana aytish mumkinki, virtual kvarklar antikvark glyuonlar bilan birgalikda partonlarni tashkil etadilar.

Nuklonlar orasidagi o'zaro ta'sirda birinchi nuklondagi kvark ikkinchisiga, ikkinchi nuklondagi kvark birinchi nuklonga o'tadi. Natijada kvark antikvark q-q jufti bilan, ya'ni pion bilan almashish yuz beradi.

Kvark modeli elektron-pozitron annigilyasiyasida hosil bo'luvchi adronlar oqimini yaxshi tushuntiradi. Yuqori energiyali qarama-qarshi oqimdagi $ye^- ye^+$ o'zaro to'qnashganda annigilyasiyalanib virtual fotonni hosil qiladi, bu virtual foton o'z navbatida kvark antikvark juftini hosil qiladi. Bu hosil bo'lgan kvark antikvark qarama-qarshi yo'nalishda bir-biridan uzoqlasha boshlagach ular orasidagi glyuon maydon ortadi. Bu glyuon maydon energiyasi hisobiga vakuumdan bir necha qo'shimcha kvark antikvark jufti hosil bo'ladi. Yangi kvark va antikvarklar bir-birlari bilan qo'shilib pionlarni hosil qiladi. Yangi hosil bo'lgan kvark va antikvarklarning bir jufti boshlang'ich fotondan hosil bo'lgan kvark antikvark jufti bilan qo'shilib eng yengil U va d kvarklardan tashkil topgan mezonlarni hosil etadi. Natijada dastlabki kvark va antikvark yo'nalishidagi ikkita qarama-qarshi adronlar oqimi kuzatiladi.(3-rasm)



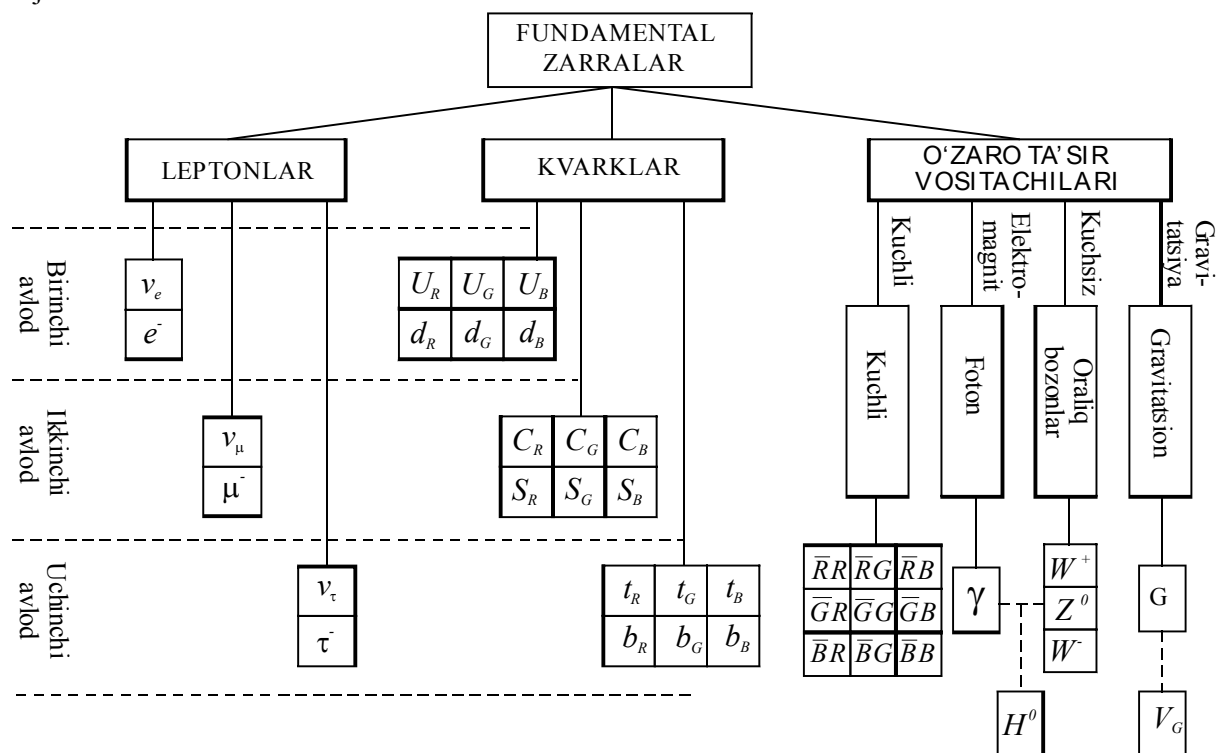
3-rasm.

Yuqoridagi bayon etilganlar asosida elementar zarralar haqida quyidagicha xulosalar chiqarish mumkin:

- 1) Haqiqiy elementar zarralarga leptonlar va kvarklarni aytish mumkin. Leptonlarni bevosita qayd qilishlik mumkin. Kvarklar adronlar tarkibiga kiradi;
- 2) Kvark va leptonlar 6 tadan iborat bo'lib, bunga xushbo'ylik deb ataladi;
- 3) Lepton va kvarklar xushbo'yli 2 tadan 3 ta bosqichga ega. Har qaysi bosqich yuqori va pastki zarralarga bo'linadi;
- 4) Lepton oq, kvarklar uchta rangdan iborat;
- 5) Mezonlar kvark va antikvark va qo'shimcha rangdan, barionlar uchta kvark va har xil uch rangdan iborat, shuning uchun adron leptonga o'xshash oq rangda bo'ladi.

Shunday qilib, haqiqiy elementar zarralar 6 ta xushbo'ylikka ega kvark va leptonlar, 3 ta rang va bularning antikvark va antileptonlari bo'lishi kerak (3-jadval). Bulardan tashqari o'zaro ta'sirlashuvni tashuvchilari: 8 ta glyuon, foton, $W^\pm$, z^0 -bozonlar va G-gravitonlar.

3-jadval



Kvarklar xushbo'yligi:

U – yuqori (up), d – past (down),

s – g'alati (strange), C – maftun (charmed),

t – haqiqiy (truth), b – go'zal (beauty).

Kvarklar rangi: R – qizil (red), G – yashil (green), B – ko'k (blue)

Nazorat savollari:

1. Kvarklarni erkin holda kuzatish mumkin emaslik sabablari.
2. Adronlarning kvark tarkibi.
3. Parton, glyuon nima?
4. Kvark nazariyasiga ko'ra adronlar o'zaro ta'sirlashuv mexanizmi.
5. Fundamental zarralar. Nima uchun fundamental zarralar hisoblanadi?

Test savollari:

1. Kvarklarning nechta turi mavjud?
 - a) 4 ta
 - b) 5 ta
 - c) 6 ta
 - d) 7 ta

2. Barionlar nechta kvarkdan iborat?
 - a) ikkita,
 - b) uchta,
 - c) to'rtta,
 - d) beshta.
3. Λ^0 – giperonning kvarkli tuzilishini aniqlang.
 - a) dds
 - b) uus
 - c) dss
 - d) uds
4. Qaysi zarracha **uus** kvarkli tuzilishga ega va uning massasi qanday?
 - a) Δ^- - rezonans, 1232 MeV.
 - b) Σ^- -mezon, 1385 MeV.
 - c) Σ^+ -mezon, 1385 MeV.
 - d) Ω^- -giperon, 1672 MeV.
5. Glyuonlar soni nechta?
 - a) oltita
 - b) sakkizta
 - c) o'n oltita
 - d) o'ttiz ikkita.

Adabiyotlarlar

1. R.B.Bekjonov. Atom yadrosi va zarralar fizikasi. T.1995. 433-570 betlar.
2. Muminov T.M., Xoliqulov A.B., Xushmurodov Sh.X. Atom yadrosi va zarralar fizikasi maruzalar matini Samarqand, 2001.
3. К.Н.Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Т.2, М.1974.92-333с.
4. Ю.М.Широков, Н.П.Юдин. Ядерная физика. М.1980. 273-429 с.
5. К.Т.Тешабоев. Ядро va elementar zarralar fizikasi. Т.1992. 190-221 betlar.
6. А.И.Наумов. Физика атомного ядра и элементарных частиц. М. 1984. 260-382 с.

II Bo'lim. Eksperimental qism.

2.1. Mavzu: 500 litr hajmli propanli pufakchali kamera. Zaryadlangan zarrachalar izlarini o'rganish.

Reja:

1. 500 litr hajmli propanli pufakchali kamera.
2. Birlamchi trek yo'nalishiga tuzatmalar kiritish.
3. Impulslari o'lchanmagan va o'tkazib yuborilgan zarrachalarga tuzatma.
4. Elastik o'zaro ta'sirlashuvlarni ajratish.
5. Yadro-snaryad diffraksion dissotsiatsiyasi yuz beruvchi voqealarni ajratish.

Tayanch iboralar: pufakchali kamera, propan, zaryadlangan zarracha, nishon, trek, effektivlik, proton, deyteriy, tritiy, uglerod, kamera, maydon kuchlanganligi, nurlantirish, impuls, elastik, diffraksion dissotsiatsiya, voqea, to'qnashuv, yadro, asimmetriya, ajratish, taqsimot, burchak.

Darsning maqsadi: Talabalarga pufakchali kameralar haqida umumiy tushunchalar berish. 500 litr hajmli propanli pufakchali kamera tuzilishi va ishlash prinsipi haqida batafsil ma'lumotlar berish. Birlamchi trek yo'nalishiga tuzatmalar kiritish yo'llarini tushuntirish. Impulslari o'lchanmagan va o'tkazib yuborilgan zarrachalarga tuzatmalar kiritish zarur ekanligini va buning yo'llarini o'rgatish. Elastik to'qnashuvlarni ajratish bo'yicha ko'rsatmalar berish. Yadro-snaryad diffraksion dissotsiatsiyasi yuz bergan voqealarni ajratish uslubini bayon qilish.

2.1.1. 500 litr hajmli propanli pufakchali kamera

Mazkur uslubiy ish DTPK-500 rusumli kamerani Birlashgan yadro tadqiqotlari instituti yuqori energiyalar fizikasi laboratoriyasining sinxrofazatronida har bir nukloniga to'g'ri keluvchi impuls $4,2 \text{ GeV/c}$ ga qadar tezlashtirilgan $P, d, {}^4\text{He}$ va ${}^{11}\text{C}$ yadrolari bilan nurlantirish (4-jadval) natijasida olingan stereofotografiyalardan foydalanildi. Bu nurlantirishlar seriyasida kameraning ishchi hajmida bir-biridan 93 mm masofada uchta tantal plastinkasi o'rnatilgan. Ularning o'lchami $(140 \times 70 \times 1) \text{ mm}^3$.

Kameraning har bir sikli uchun fototasvirlar har biri uchtdan obyektivga ega bo'lgan "Russar-44B" rusumli ikkita fotoapparat yordamida olindi. Tasma kengligi 50 mm. Kameraning birinchi yarmini 1,2,3 obyektivlar, ikkinchi yarmini esa 4,5,6 obyektivlar suratga oladi (8-rasm). Tasmalarni ko'rish jarayonida 1,2 hamda 5,6 obyektivlar asosiy va 3,4 obyektivlar yordamchi obyektivlar bo'lib hisoblanadi. 1,2 va 5,6 obyektivlarning bazalari birlamchi dasta yo'nalishiga perpendikulyar bo'lib, ularda tushirilgan tasvirlar mos geometrik programma asosida kameraning ishchi hajmida voqeaning fazoviy "manzaralari"ni tiklash uchun xizmat qiladi. 3,4 obyektivlardan

lingan fototasvirlar birlamchi dasts yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan treklarni ko'rish va o'lchash uchun xizmat qiladi. Kameraning o'rtacha tekisligi uchun tasvirning masshtabi 13:1. Zarrachalar izining optik doimiylari va fazoviy koordi-natalari reper krestlar sistemasi yordamida tiklanadi. Kadrdagi ob'yektiv optik

o'qlarining reper krestlarga nisbatan joylashuvi 9-rasmda ko'rsatilgan. Bu kattaliklarni olish uslubi [2] ishda bayon qilingan.

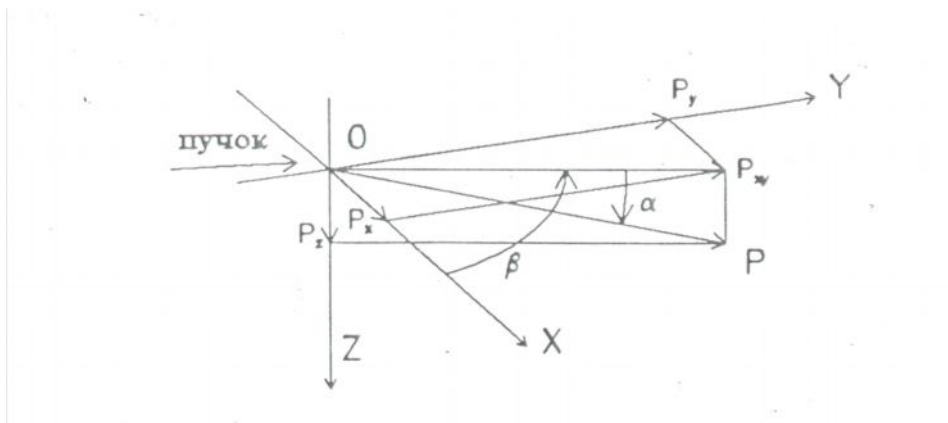
Kadrdagi kvazimostushuvchi nuqtalar koordinatalarini aniqlash prinsipi 10-rasmda keltirilgan. Kameraning katta oynalarida propan tomonidan 50 ta "ichki" reper kresti chizilgan (11a-rasm). Kamera tubida o'rnatilgan dyuralyumin plastinkasida 59 ta krest chizilgan bo'lib, u kameraning ikkala qismini "tikish" vazifasini bajaradi (11b-rasm)

4-jadval. Kamerani nurlantirishlar tipi. Qavs ichida kamerada o'lchashdan avval elektronika yordamida olingan qiymatlar keltirilgan

Nishon yadro	Tushuvchi yadro	Bitta nuklonga mos keluvchi impuls, GeV/c
Ta C H		
0 20	proton	2,2 (2,2)
1 21		4,2 (3,8)
2 22		5,4 (5,4)
9 29		9,9 (9,5)
3 23	He	2,3 (2,2)
4 24		4,2 (3,8)
5 25		5,1 (4,7)
6 26	C	2,3 (2,2)
7 27		4,2 (3,8)
8 28		5,1 (4,7)
10 30	d	2,3 (2,2)
11 31		4,2 (3,8)
12 32		5,1 (4,7)

Tantal plastinkalari kameraning birinchi yarmida joylashtirilgan. Kamera magnit maydoniga joylashtirilgan bo'lib, barcha nurlantirishlar jarayonida uning magnit maydoni kuchlanganligi 15 teslaga teng.

DTPK-500 suyuq propan (C_3H_8) bilan to'ldirilgan, suyultirilgan propaning zichligi $(0,43 \pm 0,01)$ g/sm³ ga teng. Kameraning ishchi temperaturasi 65 C. Kameraning tuzilishi va asosiy tuzilishi [1] ishda mufassal bayon qilingan.

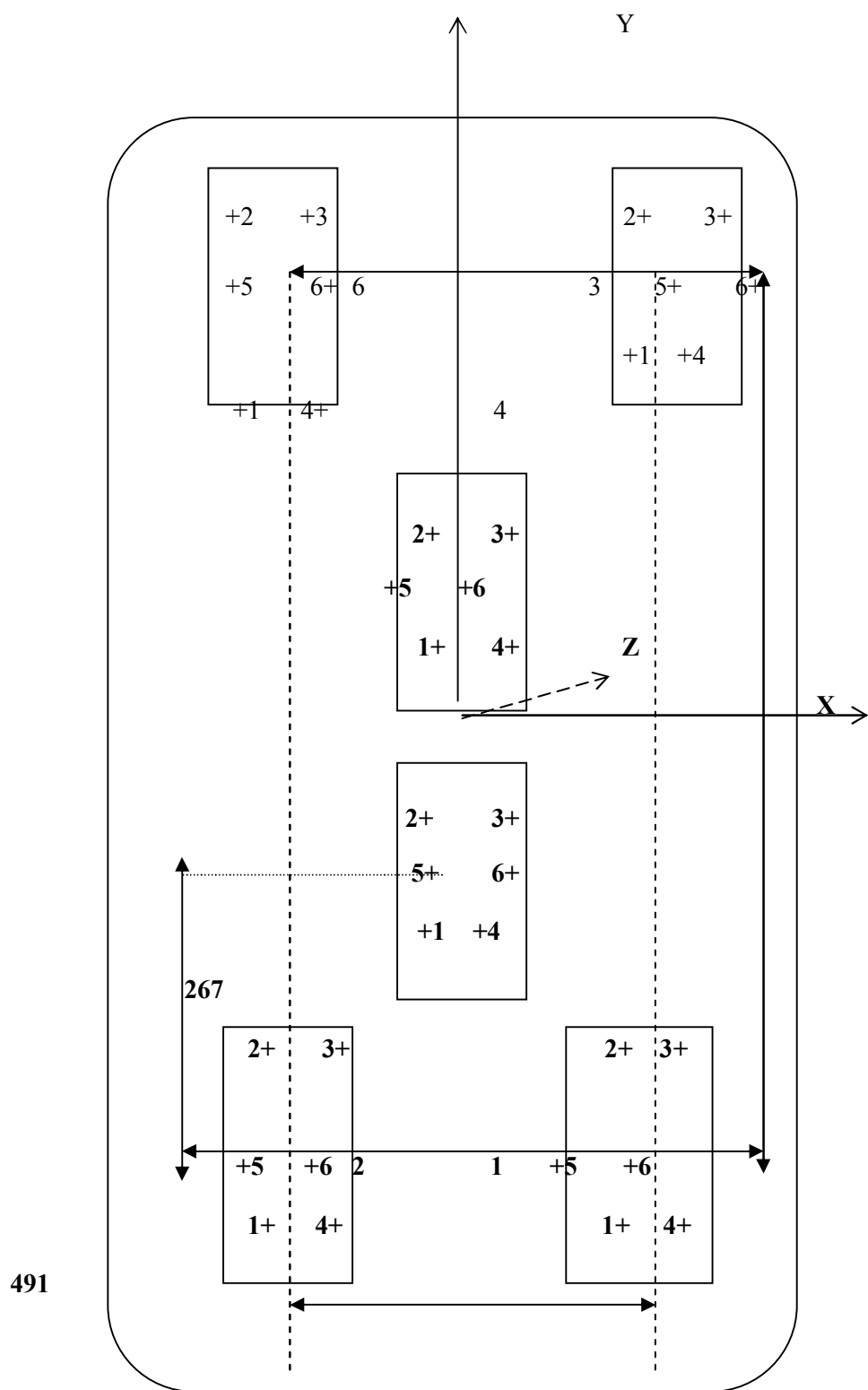


4-rasm. 500 litr hajmli propanli pufakchali kameraning koordinata sistemasi.

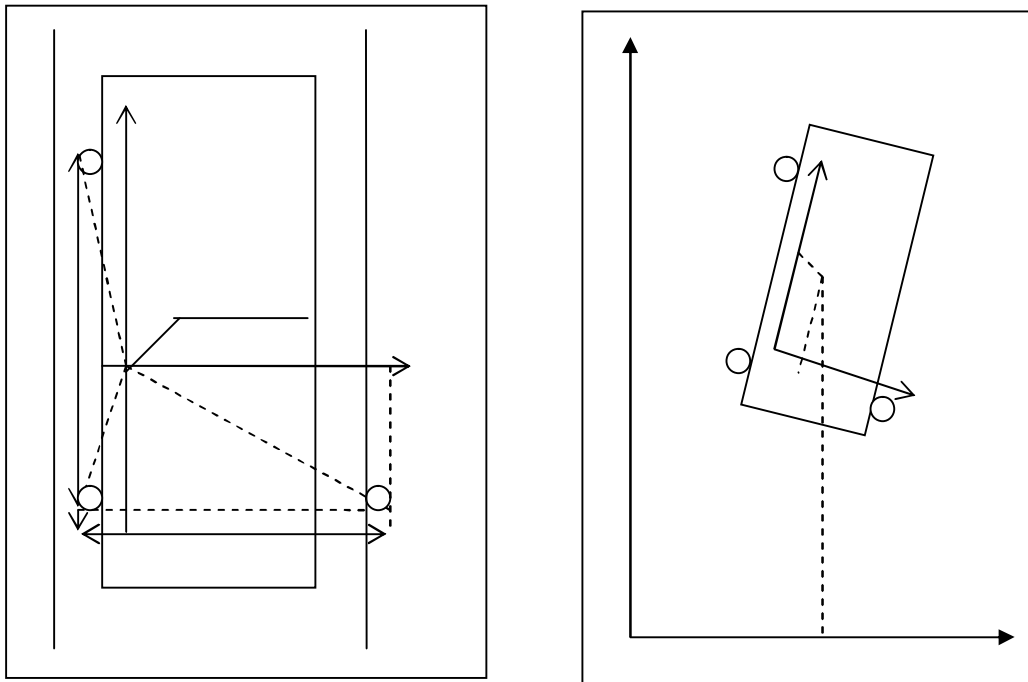
Kameraning zaryadlangan zarrachalarni qayd qilish hajmi $(210 \times 65 \times 43) \text{ sm}^3$. Kameraning koordinata sistemasi 4-rasmda ko'rsatilgan. Bundan tashqari fotoapparatni ushlab turuvchi oynalarda 6 tadan "tashqi" reper krestlari joylashgan. Yuqori energiyali o'zaro ta'sirlashuvlar yuz bergan voqealarni axtarish pufakchali kameradan tushirilgan fototasvirlarni proyeksion ko'ruv stollarida bevosita qarash orqali amalga oshiriladi. Bu stollarning o'lchami kamera o'lchamiga mos tushishi maqsadga muvofiqdir. Tasmadagi kadrlarni qarab chiqish asosan BPS-75 qarash-o'lchash stollarida hamda o'quv-laboratoriya ko'ruv stollarida (jumladan, SamDU yadro fizikasi kafedrasida o'quv laboratoriyalarida) bajariladi. Tanlab olib to'planilgan chizmalar va ma'lumotlar Birlashgan Yadro Tadqiqotlari Instituti (ByaTI) "Avtomatlashtirish va hisoblash texnikasi" laboratoriyasida va, shuningdek SamDU yadro fizikasi qoshidagi "Elementar zarralar fizikasi" ilmiy laboratoriyasida ilmiy xodimlar, aspirantlar hamda ilmiy tadqiqotchilar tomonidan amalga oshiriladi. Fototasmalarni qarashda ishchi kadr sifatida birlamchi treklar soni bo'yicha (yo'nalishi, egriligi, ionizatsiyasi hamda izdagi delta-elektronlar zichligi va h.k.larga ko'ra qo'yilgan ma'lum shartlarni qanoatlantiruvchi) qo'yilgan kriteriyalar bajarilgan kadrlar olinadi. Voqealarni ajratishda bir vaqtning o'zida (stereosnimkalar) fototasvirlarning 2 yoki 3 ta proyeksiyasi qaraladi. Fototasvirlarni qarash birlamchi zarrachalarning izi bo'yicha yagona prinsip bo'yicha olib boriladi:

- pufakchali kameraning ishchi hajmida birlamchi zarrachalar qayd qilinadi;
- birlamchi to'qnashuvda hosil bo'lgan barcha zaryadlangan zarrachalar ko'plamchiligi aniqlanadi;
- ikkilamchi zarrachalar zaryadining ishorasi bo'yicha ajratiladi va imkoni boricha identifikatsiyalanadi;

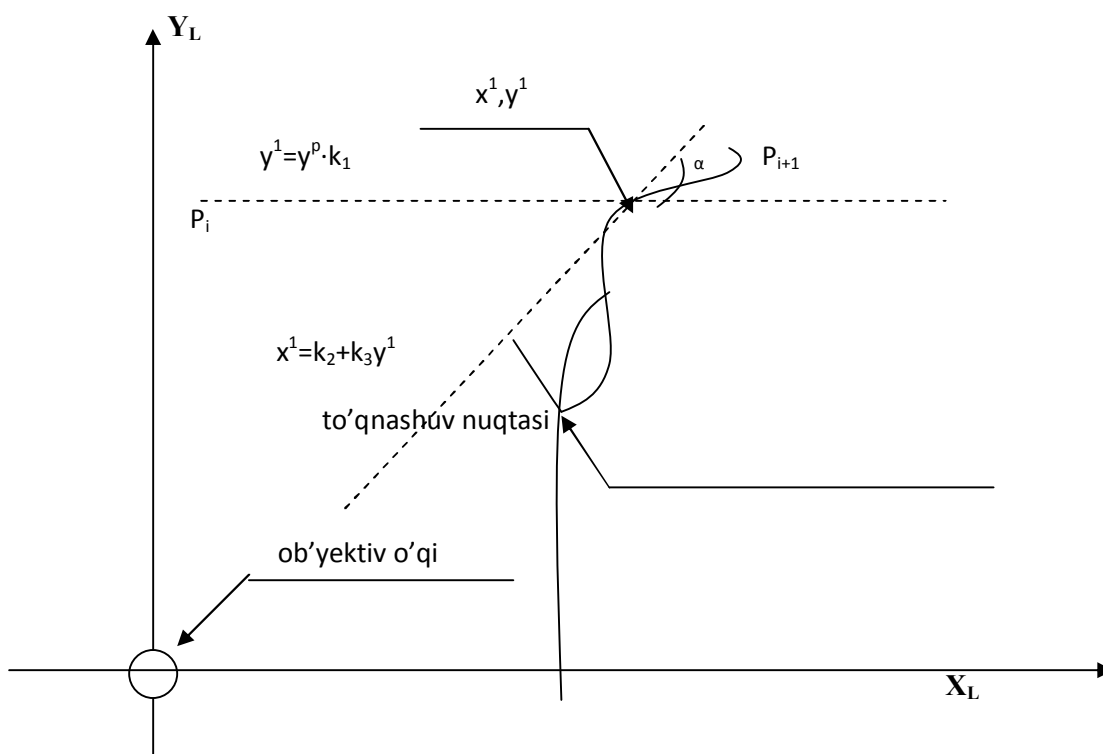
- Birlamchi to'qnashulardan hosil bo'lgan neytral zarrachalar (γ , n , V , K va h.k.) qayd etiladi. Jumladan γ -kvantlar soni ($e e$) juftining konversiyasi orqali qayd etiladi agar yulduzcha va ($e e$) – juftini birlashtiruvchi chiziqli elektron va pozitron treklari orasidan o'tsa. Tanlangan voqeada izlarning koordinatasi ByaTI dagi "PUOS" rusumli yarim avtomatik qurilmada o'lchanadi. Voqeaning fazoviy "manzarasi"ni tiklash uchun 2-metrli uchinchi proyeksiyadan ham foydalaniladi. Tantal plastinkasida yuz bergan voqealarni qayta ishlashda ikkilamchi zarra- chalar izidagi birlamchi nuqta plastinka tashqarisidan olinadi. Bu plastinka ichida yuz bergan voqea nuqtasini aniqlash qiyinligi sabablidir. TPK-500 kamerasini nurlantirishda hosil bo'lgan ikkilamchi zarrachalarning parametrlarini o'lchashdagi xatoliklar [6-8] ishlarda atroflicha keltirilgan.

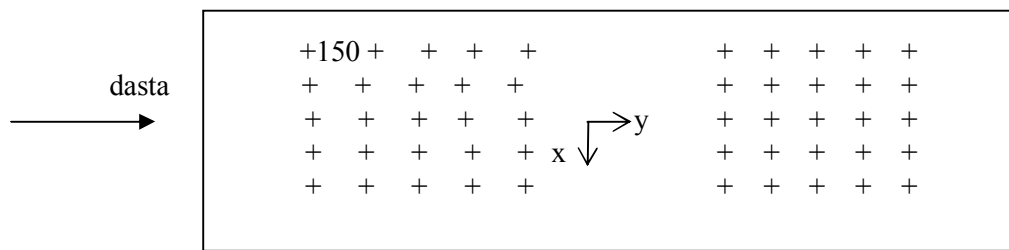


5-rasm. Fotoapparat maxkamlangan oynalarda va kamera kordinata sistemasida ob'yektivlarning hamda reper krestlarning joylashish sxemasi.

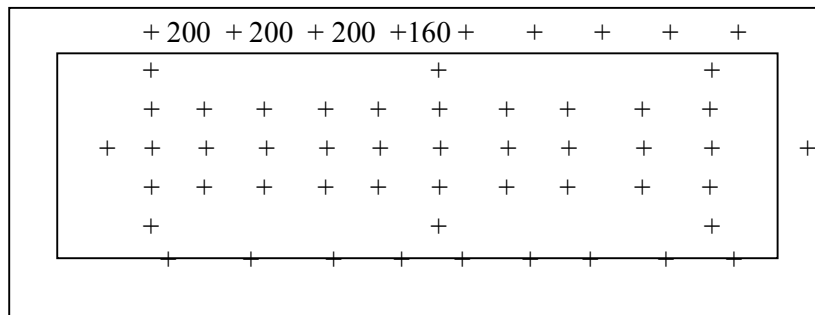


6-rasm. Kadrdagi reper krestlarga nisbatan optic o'qning joylashishi.





a)



b)

7-rasm.

2.1.2. Birlamchi trek yo'nalishiga tuzatmalar kiritish

Ma'lumki, magnit maydonida yadro izining (trekning) egrilik radiusi PA/z kattalikka proporsionaldir. Bu yerda P –yadroning bitta nukloniga to'g'ri keluvchi impuls, A –yadroning atom massasi, z –yadro zaryadi. Deyteriy, geliy va uglerod yadrosi uchun $A/z = 2 \cdot 4.2 \text{ GeV}/c$ birlamchi impulsda yadrolar treklarining egriligi rotonning $8.4 \text{ GeV}/c$ impulsiga to'g'ri keladi. GEOFIT programmasida d, α va ^{12}C bilan nurlantirishda birlamchi trek protonning impulsu $8.4 \text{ GeV}/c$ degan gipotezaga ko'ra, qayta ishlanadi. Impulsning P_0 boshlang'ich qiymatiga ionizasion yo'qotish va zarrachaning to'qnashuv nuqtasiga qadar ko'p karrali sochilishiga tuzatma bu holda ko'p zaryadli yadroga mos keluvchi qiymatdan farqlanadi. Bu esa birlamchi yadroning to'qnashuv nuqtasida trekning yo'nalishini o'lchashda ma'lum bir chetlanishlarga olib kjeladi, ya'ni ikkilamchi zarrachalarning birlamchi zarrachaga nisbatan chiqish burchaklaridagi chetlanishlarga: qutb burchagi θ –ikkilamchi zarracha va birlamchi zarracha yo'nalishi orasidagi burchakda hamda azimutal (φ) – ikkilamchi zarracha trekning birlamchi trek yo'nalishiga perpenduklyar tekislikka proyeksiyasi bilan kamera gorizonta o'qi orasidagi burchakka. Bunday chetlanishlarga yuqori energiyali treklarning azimutal burchaklari ko'proq sezgir bo'ladi. Bunday chetlanishlarning hissasini kamaytirish uchun kamera koordinata sistemasida birlamchi trekning α_1 va β_1 burchaklariga $\Delta\alpha_1$ va $\Delta\beta_1$ tuzatmalar kiritilgan. Bu tuzatmalar “yuqoriga-pastga” (A_1) va “o'ngga-chapga” (A_2) asimmetriya koeffitsiyentlarining nol (“0”)ga teng bo'lishi talabidan kelib chiqqan holda, aniqlanadi.

Bu tuzatmalar impulsu $3 \text{ GeV}/c$ dan katta bo'lgan bir zaryadli ikkilamchi zarrachalarning va snaryad yadroning barcha ko'p zaryadli fragmentlarining φ azimutal burchaklarning “yuqoriga-pastga” (A_1) va “o'ngga-chapga” (A_2) asimmetriya koeffitsiyentlarining nolga teng bo'lishi talabidan aniqlanadi.

$$A_1 = \frac{N_{\varphi < \pi} - N_{\varphi > \pi}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}} \quad \text{va}$$

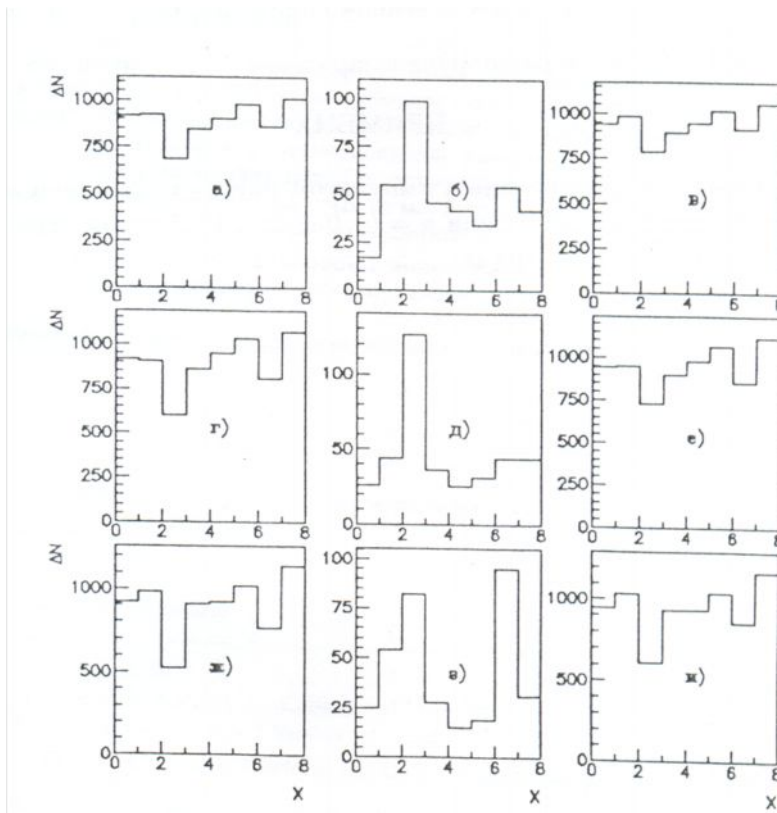
$$A_2 = \frac{N_{\varphi < \pi/2} + N_{\varphi > 3\pi/2} - N_{\pi/2 < \varphi < 3\pi/2}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}} \quad (1)$$

Tuzatmalarni aniqlashda ularning to'qnashish nuqtasi koordinatasidan hamda birlamchi trek burchagidan hisobga olinadi.

Ikkilamchi zarrachalarning tuzatma kiritilguncha va tuzatma kiritilgandan so'nggi azimutal burchaklari taqsimotlari 1-rasmda keltirilgan. Keltirilgan taqsimotlardan ko'rinib turibdiki, tuzatma asimmetriyani butunlay yo'qotadi. $\varphi \sim 90^\circ$ va $\varphi \sim 270^\circ$ larda qolgan cho'qqilar asosan ko'p zaryadli fragmentlarning taqsimotida kuzatilib, yo'qotilmagan. Buning sababi kameraning vertikal va gorizontal o'qlar bo'yicha o'lchashlarning aniq yemasligida bo'lishi mumkin. Bu hodisa [2] ishda to'liq tadqiq qilingan.

2.1.3. Impulslari o'lchanmagan va "o'tkazib" yuborilgan zarrachalarga tuzatma

Misol tariqasida 8-rasmda yadro- yadro ta'sirlashuvlarda hosil bo'luvchi "7" tipdagi ikkilamchi zaryadlangan zarrachalarning qutb burchagi θ ning har-xil oraliqlaridagi azimutal taqsimotlari keltirilgan.



8-rasm. "7"-tipdagi zarrachalarning azimutal taqsimoti a,г,ж-impulslari o'lchangan protonlar); "47"-tipdagi (б,д,з-impulslari o'lchanmagan protonlar); va yig'indi (7+47,в,с,и) – qutb burchagining har xil $40^\circ < \theta < 50^\circ$ (a,б,в), $50^\circ < \theta < 65^\circ$ (г,д,е) va $65^\circ < \theta < 80^\circ$ (ж,з,и). Absissa o'qi bo'yicha X o'zgaruvchi

azimutal burchakka proporsional: $\varphi = 0^\circ$ $X=0,5$ ga, $\varphi = 90^\circ$ $X=2,5$ ga, $\varphi = 180^\circ$ $X=4,5$ va $\varphi = 270^\circ$ $X=6,5$ ga mos keladi.

Ko'rinib turibdiki, impulsarlari o'lchanmagan ikkilamchi zaryadlangan zarrachalarning xossasi θ qutb burchagi intervallaridan va chiqish azimutal burchagidan kuchli bog'liqdir. U $60^\circ < \theta < 120^\circ$, $\varphi \sim 90^\circ$ va $\varphi \sim 270^\circ$ larda maksimaldir. Bu effektini tog'rilash uchun impulsarlari o'lchanmagan zarrachalarni hisobga oluvchi statistic

vaznlar kiritilgan. Har bir oraliqda zarrachaning θ va φ bo'yicha vaznlari quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$W_{un} = (N_{me} + N_{un}) / N_{me} \quad (2)$$

Bu yerda N_{me} – ansamblidagi θ va φ bo'yicha berilgan oraliqqa tushuvchi va shu turdagi impulsarlari o'lchangan zarrachalar soni, N_{un} – xuddi shu turdagi impulsarlari o'lchanmagan zarrachalar soni. $\varphi \sim 90^\circ$ va $\varphi \sim 270^\circ$ intervalda joylashgan, impulsarlari o'lchanmagan zarrachalarga vaznlar kiritish azimutal taqsimotlardagi kamchiliklarni yoqotishga to'la imkon bermaydi. O'tkazib yuborilgan zarrachalarni hisobga olish uchun qo'shimcha vaznlar kiritilgan.

Ularni aniqlash jarayoni quyidagicha. Har bir tipdagi zarrachalarning har-xil impulsarlari φ burchakning taqsimotlari kiritiladi. Taqsimotning

$$N_i < \langle N \rangle - 2 \cdot \sigma(N_i) \quad (3)$$

intervallarida

$$W_g = \langle N \rangle / N_i \quad (4)$$

vazn hisoblanadi. Bu yerda N_i – i -intervalidagi zarrachalar soni, $\langle N \rangle$ -zarrachalarning o'rtacha soni, $\sigma(N_i)$ – o'rtacha kvadratik chetlanish. $\langle N \rangle$ ni aniqlash uchun (3) shartni qanoatlantiruvchi taqsimotlar intervalida ketma-ket yo'qotiluvchi iteratsiyalash prosedurasini amalga oshirildi.

Propan (C_3H_8) murakkab tarkibli nishon bo'lganligi uchun yadro-yadro o'zaro ta'sirlashuvlar ansamblida yadroviy dastalarning uglerod yadrosi bilan ham, vodorod yadrosi bilan ham ta'sirlashuvlari mavjud bo'ladi. Shu sababli o'zaro ta'sirlashuvlarni alohida-alohida nishon-yadro bilan to'qnashuvlarini ajratish masalasi paydo bo'ladi. Yadro-proton o'zaro ta'sirlashuvlar ansamblini ansamblchalarga ajratish uchun ulardan elastik o'zaro ta'sirlashuvlar hamda snaryad-yadroning difraksion dissosiasiya voqealar ajratib tashlanadi.

2.1.4. Elastik o'zaro ta'sirlashuvlarni ajratish

Elastik to'qnashuvlarni ajratib olish uchun biz [3] ishda bayon qilingan kinematik kattaliklardan foydalanamiz va aynan quyidagi talablarga javob beruvchi bir va ikki nurli voqealar tanlab olinadi:

1. Snaryad proton holida: bitta protonli voqea impuls $P \geq 3$ GeV/c va uchib chiqish burchagi $\theta < 11^\circ$; ikki protonli voqealarda tez protonlar uchun ($P_1 \geq 3$ GeV/c, $\theta_1 < 11^\circ$) va sekin protonlar ($P_2 < 1$ GeV/c, $60^\circ < \theta_2 < 90^\circ$) uchun hamda ular orasidagi uchib chiqish burchagi azimutal tekislikda $\varepsilon > 160^\circ$, ($\varepsilon = \arccos(\cos(\varphi_1 - \varphi_2))$).
2. Snaryad deytрон holida: faqat bitta deytронli ($P_d \geq 6$ GeV/c, $\theta_d \leq 4^\circ$) va sekin protonli ($P_p < 0,7$ GeV/c, $67^\circ < \theta_p < 90^\circ$) tarqalish burchagi $\varepsilon > 160^\circ$.
3. Snaryad α -zarracha holida: faqat bitta ko'p zaryadli fragmentga ega bo'lgan bir nurli voqea

($P_a \geq 6 \text{ GeV}/c$, $\theta_j < 4^\circ$); bitta ko'p zaryadli fragmentli va sekin protonli ($P_p < 0,5 \text{ GeV}/c$, $75^\circ < \theta_p < 90^\circ$) voqea. Tarqalish burchagi $\epsilon > 150^\circ$.

4. Snaryad uglerod yadrosi bo'lgan holda: yuqoridagi kabi bir nurli voqea

($P_c \geq 6 \text{ GeV}/c$, $\theta_c < 4^\circ$) va ikki nurli voqea ($P_c \geq 6 \text{ GeV}/c$, $\theta_j < 4^\circ$) va

($P_p < 0,3 \text{ GeV}/c$, $80^\circ < \alpha < 90^\circ$), tarqalish burchagi $\epsilon > 120^\circ$.

Bir nurli voqealar uglerod yadrosida uning ichidagi proton tepki impulsi 150 MeV/c dan kichik bo'lgan proton va neytronlarda elastic sochilish kabi qaraladi. Ikki nurli voqealar esa vodorodda va yadro ichki protonlarida proton tepki impulsi 150 MeV/c dan katta bo'lgan elastic voqealar deb qaraladi.

2.1.5. Yadro-snaryad difraksion dissosiasiyasi yuz beruvchi voqvealarni ajratish

Difraksion dissosiasiyali voqealar deb quyidagi voqealar qaraladi:

– Tez protonli ($P_p \geq 3 \text{ GeV}/c$, $\theta_p < 4^\circ$) bir nurli d-propan o'zaro ta'sirlashuvlar hamda tez protonli ($P_1 \geq 3 \text{ GeV}/c$, $\theta_1 < 4^\circ$) va sekin protonli ($P_2 < 0,7 \text{ GeV}/c$, $67^\circ < \theta_2 < 90^\circ$) ikki nurli voqealar.

– Geliy yadrosi dissosiasiyasi yuz bergan voqealar deb, bitta ko'p zaryadli stripping fragment holi yoki ikkita bir zaryadli ($P \geq 3 \text{ GeV}/c$, $\theta < 4^\circ$), bittadan ko'p bo'lmagan sekin proton ($P_p < 0,5 \text{ GeV}/c$, $75^\circ < \theta_p < 90^\circ$) hosil bo'luvchi voqealar.

– Uglerod yadrosining difraksion dissosiasiyasiga oid voqyealarga barcha ikkilamchi zarrachalar stripping va bittadan ortiq bo'lmagan sekin protonli ($P_p < 0,3 \text{ GeV}/c$, $80^\circ < \theta_p < 90^\circ$) voqealar kiradi. Stripping fragmentlarning minimal yig'indi zaryadi $Q_{\min} = 2n_{z \geq 2} + n_{z=1} \leq 6$. Bu yerda $n_{z \geq 2}$ - ko'p zaryadli fragmentlar soni, $n_{z=1}$ - bir zaryadli fragmentlar soni.

Nazorat savollari

1. Pufakchali kamera suyuqligi qanday fizik hodisaga ko'ra ishlaydi?
2. Suyultirilgan gazlar qanday fizik xususiyatlarga ega?
3. 2-metrli kameraning ishchi hajmi deganda nimani tushunasiz?
4. 500 litr hajmli kamera koordinata sistemasini tushuntiring.
5. Kameraning qayd qilish effektivligi ishchi moddaning qanday fizik parametrlariga bog'liq?
6. Birlamchi trek deganda nimani tushunasiz va ular soniga qanday chegara qo'yilgan?
7. Asimmetriya koeffitsiyenti nima?
8. Elastik va noelastik o'zaro ta'sirlashuvlar haqida tushuncha bering.
9. Elastik o'zaro ta'sirlashuvlarni ajratish qoidalarini tushuntiring.
10. Yadro-snaryad difraksion dissotsiatsiyasi hodisasini tushuntiring.
11. "Vazn" haqida tushuncha bering.

Test savollari

1. 500 litr hajmli propanli pufakchali kameraning ishchi hajmini ko'rsating:
 - a) $21 \times 65 \times 43 \text{ sm}^3$
 - b) $200 \times 55 \times 43 \text{ sm}^3$
 - c) $210 \times 65 \times 43 \text{ sm}^3$
 - d) $200 \times 65 \times 55 \text{ sm}^3$
2. Propanli pufakchali kamerada birlamchi zarrachaning yo'nalishi deb qaysi koordinata o'qi qabul qilingan?
 - a) X o'qi,
 - b) Y o'qi
 - c) Z o'qi
 - d) Barcha o'qlar.
3. 500 litr hajmli kamerada nechta tantal plastinkasi o'rnatilgan?
 - a) 1 ta
 - b) 2 ta
 - c) 3 ta
 - d) 4 ta
4. TPK-500 kamerasinig ishchi moddasi – suyultirilgan propanning zichligi va temperaturasi qanday?
 - a) $0,43 \text{ g/sm}^3$, 65°C
 - b) $7,8 \text{ g/sm}^3$, 100°C
 - c) $11,2 \text{ g/sm}^3$, 50°C
 - d) $0,43 \text{ g/sm}^3$, 75°C
5. Impulsi 3 GeV/c dan katta bo'lgan bir zaryadli ikkilamchi zarrachalarning va snaryad yadrolarning barcha ko'p zaryadli fragmentlarning azimutal burchak bo'yicha "o'ngga-chapga" asimmetriya koeffitsiyentini ko'rsating.
 - a)
$$A = \frac{N_{\varphi < \pi} + N_{\varphi > \pi}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}}$$
 - b)
$$A = \frac{N_{\varphi < \pi} - N_{\varphi > \pi}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}}$$
 - c)
$$A = \frac{N_{\varphi < \pi/2} + N_{\varphi > 3\pi/2} - N_{\pi/2 < \varphi < 3\pi/2}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}}$$
 - d)
$$A = \frac{N_{\varphi < \pi/2} + N_{\varphi > 3\pi/2} + N_{\pi/2 < \varphi < 3\pi/2}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}}$$
6. Impulsi 3 GeV/c dan katta bo'lgan bir zaryadli ikkilamchi zarrachalarning va snaryad yadrolarning barcha ko'p zaryadli fragmentlarning azimutal burchak bo'yicha "Yuqoriga-pastga" asimmetriya koeffitsiyentini ko'rsating.
 - a)
$$A = \frac{N_{\varphi < \pi} + N_{\varphi > \pi}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}}$$

- b)
$$A = \frac{N_{\varphi < \pi} - N_{\varphi > \pi}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}}$$
- c)
$$A = \frac{N_{\varphi < \pi/2} + N_{\varphi > 3\pi/2} - N_{\pi/2 < \varphi < 3\pi/2}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}}$$
- d)
$$A = \frac{N_{\varphi < \pi/2} + N_{\varphi > 3\pi/2} + N_{\pi/2 < \varphi < 3\pi/2}}{N_{0 < \varphi < 2\pi}}$$

7. Har bir oraliqda zarrachaning θ va φ bo'yicha vaznlar qandayi formula bo'yicha hisoblanadi?

- a) $W_{un} = (N_{me} + N_{un}) / N_{me}$
- b) $N_i < \langle N \rangle - 2 \cdot \sigma(N_i)$
- c) $W_g = \langle N \rangle / N_i$
- d) $W_{un} = (N_{me} - N_{un}) / N_{me}$

8. Snaryad proton holida va bitta protonli voqea uchun voqealarni tanlab olish shartini ko'rsating.

- a) $P > 3 \text{ GeV/c}, \theta < 3^0$
- b) $P > 3 \text{ GeV/c}, \theta < 11^0$
- c) $P < 3 \text{ GeV/c}, \theta < 11^0$
- d) $P < 3 \text{ GeV/c}, \theta > 11^0$

9. Tez protonli va bir nurli d(C H)-o'zaro ta'sirlashuvlar uchun difraksion-dissitsiyali bo'lishlik shartini ko'rsating.

- a) $P > 3 \text{ GeV/c}, \theta < 2^0$
- b) $P > 3 \text{ GeV/c}, \theta < 90^0$
- c) $P < 8,4 \text{ GeV/c}, \theta < 4^0$
- d) $P > 3 \text{ GeV/c}, \theta < 4^0$

10. Snaryad deytron holida faqat bitta deytronli elastik o'zaro ta'sirlashuv shartini ko'rsating.

- a) $P_d > 6 \text{ GeV/c}, \theta_d > 4^0$
- b) $P_d > 6 \text{ GeV/c}, \theta_d < 4^0$
- c) $P_d > 8,4 \text{ GeV/c}, \theta_d < 4^0$
- d) $P_d < 8,4 \text{ GeV/c}, \theta_d < 3^0$

2.2. Mavzu: Propanli voqealarni yadro-yadro ta'sirlashuvlariga ajratish.

Reja:

1. Ansamblarni yadro-vodorod va yadro uglerod o'zaro ta'sirlashuvlarga ajratish.
2. Zarrachalarni identifikatsiya qilishdagi xatoliklar bilan bog'liq bolgan tuzatmalar.
3. Yig'indi tuzatma.
4. DST formati.
5. Zarrachalarning belgilari.

Tayanch so'zlar: ansambl, yadro, proton, identifikatsiya, nishon, chiqish burchagi, impuls, pion, proton, yarim sfera, spektr, musbat, manfiy, vazn, uglerod, sekin protonlar, approksimatsiya, kesim, tuzatma, format, belgi.

Darsning maqsadi: Talabalarga ansamblarni sof yadro-yadro to'qnashuvlarga ajratish yo'llarini bayon qilish. Zarralarni identifikatsiya qilishdagi xatoliklar bilan bog'liq bo'lgan tuzatmalarni o'rgatish. Talabalarni DST va uning formati bilan tanishtirish. Asosiy zarrachalar belgilarini talabalar yodida qoldirish.

2.2.1. Ansamblarni yadro-vodorod va yadro-uglerod o'zaro ta'sirlashuvlarga ajratish

Yadro-proton o'zaro ta'sirlashuvlar statistik jihatdan nishondagi uglerod (C) va nishondagi vodorod (H) bilan to'qnashuvlarga ajratiladi. Ugleroddagi voqealarning asosiy qismi quyidagi kriteriyalar asosida ajratiladi:

1. Barcha qayd qilingan ikkilamchi zarrachalarning yig'indi zaryadi $2n_{z \geq 2} + n_{z=1} - n_{z=-1} > z_{A_i} + 1$;
2. Sekin protonlar $P \leq 0,75 \text{ GeV}/c$ soni $n_p > 1$;
3. Laboratoriya sistemasida orqa yarim sferaga uchib chiquvchi protonlar soni $n_p^b > 0$.
4. pC voqealar uchun $n_{z=1} > 1$, dC, αC va CC- voqealar uchun $n_{z=1} > 2$;
5. pC va dC voqealar uchun voqealardagi zaryadlangan zarrachalar soni $n_{z=\pm 1}$ -toq;
6. Nishon massasining kriteriyasi $M_t > 1,5 \text{ mp}$. Bu yerda $M_t = \sum (E_i - p_i \cos \theta_i)$. Bunda E_i - energiya, $p_i \cos \theta_i$ - ko'ndalang impuls, m_p - proton massasi. Summalashtirish snaryad stripping fragmentlari ($P_p \geq 3 \text{ GeV}/c$, $\theta_p < 4^\circ$) va nishonning bug'lanuvchi fragmentlari ($P_p < 3 \text{ GeV}/c$) dan tashqari barcha neonlar va protonlar bo'yicha olinadi.

Voqea uglerod yadrosida sodir bo'lishi uchun yuqoridagi kriteriyalarning bittasi bajarilishi yetarli. Biroq, bu kriteriyalardan foydalanishda 70% atrofidagi yadro-uglerod voqealar ajralib, ularning soni o'zaro ta'sirlashuvlarning ma'lum kesimlari bilan baholangan va shuning uchun qolgan voqealar statistik jihatdan uglerod-yadro va proton-yadro ansamblchalariga voqealar vaznini kiritish yordamida ajratilgan. Vazn uglerod va vodoroddagi voqealar soni noy elastik to'qnashuvlarning ma'lum bo'lgan kesimlaridan kutiluvchi voqealar soniga mos bo'lishi sharti orqali aniqlanadi [3].

2.2.2. Zarrachalarni identifikatsiya qilishdagi xatoliklar bilan bog'liq bo'lgan tuzatmalar

Propanli pufakchali kamerada musbat pionlar va protonlar $\sim 0,5 \text{ GeV}/c$ impulsqa qadar ishonarli identifikatsiya qilinadi. Yuqori impulslarda ularni statistik vazn kiritish orqali ajratishga to'g'ri keladi. Bu vaznlarni hisoblash uchun biz dC, αC va CC – o'zaro ta'sirlashuvlardagi ikkilamchi zarrachalar izotopik

simmetriyaga ega va, binobarin, musbat va manfiy zarrachalar impulslari mos tushishlari lozim degan fikrdan foydalaniladi. Bu hol 0,5 GeV/c qiymatga qadar o'rinli bo'lganidan, undan yuqori qiymatlarda musbat zarrachalar spektri π^+ - mezonlar va protonlar spektrlariga har-xil impulslar intervalida vaznlar kiritish bilan π^+ va π^- mezonlar spektrlarining teng bo'lishiga yerishiladi. Bu olingan vaznlar keyinchalik d_p , a_p va C_p – o'zaro ta'sirlashuvlarga ham kiritiladi. Hisoblangan vaznlar yadro-snaryaddan bog'liq bo'lmasligi uchun biz ularni faqat pp- va pC- o'zaro ta'sirlashuvlarda qo'llaymiz.

2.2.3. Yig'indi tuzatma

Shunday qilib, o'lchashlarning barcha uslubiy imkoniyatlarini hisobga oluvchi tuzatmalar olinadi. Birlamchi trek yo'nalishiga tuzatma bevosita $t\alpha_1$ va β_1 burchaklarga kiritildi. Voqyealarning ugleroddagi va vodoroddagi elastic, difraksion o'zaro ta'sirlashuvlarga tegishli ekanligi voqea shapkasida maxsus vazn kiritish bilan belgilangan. Impulslari o'lchanmagan zarrachalarga va zarrachalarning yo'qotilishiga tuzatma hamda π^+ va protonlarga ajratish bilan bog'liq bo'lgan tuzatmalar mos keluvchi ikkilamchi trekka vazn sifatida kiritilgan. Bu ishda neytral zarrachalarning qayd qilish yeffektivligi tahlil qilinmaydi.

Barcha voqealar PK qattiq diskiga ketma-ket keluvchi binar fayllar ko'rinishida yozilgan. Yozuvda haqiqiy REAL(R) va butun INTEGER*4(I) sonlar uchraydi.

2.2.4.DST formati

I. Daraja I – “shapka” (kadrlarni qarash bo'yicha o'lchashlardan so'ng tuzatmalar kiritilgan ma'lumotlar) (birinchi 24ta so'z).

1. NWORDS – yozuvdagi so'zlar miqdori, (I).

2. NCOLL – hamkorlik qatnashchilarining tartibi:

1-Budapesht, 2- Varshava, 3- Dubna, 4- Krakov, 5- Praga, 6- Toshkent, 7- Tbilisi, 8- Ulan-Bator, 9- Buxarest, 10- Yerevan, 11- Olmata, 12- Sofiya, 13- Moskva, 14- Belgrad, 15- Varna, 16- Kishinev,(I).

3. NTYPE –nurlantirish turi, (I).

4. NZON= $N_{zona} \cdot 10 + N_{plast}$, (I); propandagi to'qnashuvlar uchun $N_{plast}=0$.

5. $NPRONG = NCHSC \cdot 10^6 + N_- \cdot 10^4 + N_+ \cdot 10^2$, (I).

Bu yerda NCHSC – zaryadlanganlar soni (yelektronlar va pozitronlardan tashqari), N_- -manfiy zaryadlangan zarralar soni (yelektronlardan tashqari), N_+ - musbat zaryadlangan zarralar soni (pozitronlardan tashqari). $NCHSC=N_-+N_+$.

6. $NPT = N_{03} \cdot 10^6 + N_{\pi^+} \cdot 10^4 + N_{03b} \cdot 10^2$, (I). Bu yerda N_{03} - impulsi $P < 0,7$ GeV/c bo'lgan protonlar soni, N_{π^+} - qayd qilingan π^+ mezonlar soni, N_{03b} - orqa yarim sferadagi kuchli ionizasiyalı zarralar soni.

7. $NS = NSO3 \cdot 10^6 + NSREL \cdot 10^4$, (I). Bunda NSO3- kuchli ionizasiyalı stripping zarrachalar ($z \geq 2$), NSREL- bir zaryadli stripping zarrachalar soni.

8. $NGVE = N_\gamma \cdot 10^6 + N_{\nu^0} \cdot 10^4 + N_{e^+} \cdot 10^2 + N_{e^-}$, bunda N_γ - yulduzdagi γ - kvantlar soni, N_{ν^0} - V^0 zarrachalar soni, N_{e^+} - pozitronlar soni, N_{e^-} - elektronlar soni.

9. $NVM = NCHV \cdot 10^6 + NV_- \cdot 10^4 + NV_+ \cdot 10^2$ (I). Bunda NCHV- yulduzdagi o'lchanmaydigamn zarralar soni, NV_- -o'lchanmaydigan π^- - mezonlar soni, NV_+ - o'lchanmaydigan π^+ - mezonlar soni. $NCHV \geq NV_- + NV_+$

10.Bo'shliq

11. WE – voqeaga vazn, (R). Agar WE=-1 bo'lsa, elastik sochilish, WE=-2 bo'lsa, yadro-snaryadning difraksion dissosiasiyasi sodir bo'luvchi voqyealar, $0 < WE \leq 1$ bo'lsa, propandagi noy elastik o'zaro ta'sirlashuv, WEe vaznli yadro-uglerod o'zaro ta'sirlashuv, (1-WE) vaznli yadro-proton o'zaro ta'sirlashuv.

12.Bo'shliq

13. $NPLCD - N_{plyonka} \cdot 1000 + N_{kadr}$, (I)

14. P_1 - birlamchi zarracha impulse, GeV/c, (R).

15. $tg\alpha_1$ - birlamchi zarrachaning chuqurlashuv burchagi, (R).

16. β_1 - birlamchi zarrachaning yassi burchagi, rad, (R).

17. ΔP_1 - birlamchi zarracha impulsining xatoligi, GeV/c, (R).

18. $\Delta tg\alpha_1$ - birlamchi zarracha chuqurlashuv burchagi tangensining xatoligi, (R).

19. $\Delta\beta_1$ - birlamchi zarracha yassi burchagining xatoligi, rad, (R)

20. L_1 - birlamchi trekning o'lchangan uzunligi, sm, (R).

21. X_1 - dastaga nisbatan to'qnashuv nuqtasining ko'ndalang koordinatasi, sm, (R).

22. Y_1 - To'qnashish nuqtasining bo'ylama koordinatasi, sm, (R).

23. Z_1 - to'qnashish nuqtasining vertikal koordinatasi, sm, (R).

24. Bo'shliq

Eslatma

1. Har bir voqyea alohida yozuvda.

2. DST ga voqyealardagi ikkilamchi zarrachalar soni
 $NP = (NWORDS - 24)/12$

5 dan 9 gacha so'zlar uslubiy qarashlarda to'ldiriladi.

3. Kameraning koordinata sistemasi 7-rasmda ko'rsatilgan.

II.Daraja II- zaryadlangan zarrachalar (har bir zarrachaga 12 tadan so'z).

1.IPR- zarrachaning belgisi, (I).

2.P- zarrachaning impulsi, GeV/c, (R).

3. $tg\alpha$ - chuqurlashuv burchagining tangensi, (R).

4. β - yassi burchak, rad, (R).

5. ΔP - impulsning xatoligi, rad, (R).

6. $\Delta tg\alpha$ - chuqurlashuv burchagi tangensining xatoligi, (R)
7. $\Delta\beta$ - yassi burchak xatoligi, rad, (R)
8. L- trekning o'lchangan uzunligi, sm, (R)
9. X_{xy}^2 - trekda o'lchanayotgan nuqtalarning parabola bilan approksimasiyalanishida chetlanishni xarakterlovchi kattalik, ®
10. wu- impulsi o'lchanmagan zarrachalarga kiritilgan vazn, (R). Bu faqat 5,6,7,22 va 57 tipdagi zarrachalar uchun aniqlangan.
11. wp- proton vazni, (R). 7,5,57,22 tipdagi zarrachalar wp vazn bilan, π^+ - mezonlar (1-wp) vazn bilan.

- II. Daraja III- γ - kvantlar va V^0 zarrachalar (har bir zarrachaga 12 ta so'zdan).
1. IPR- zarrachaning belgisi, (I).
2. P- zarrachaning impulsi, GeV/c, (R).
3. $tg\alpha$ - chuqurlashuv burchagining tangensi, (R).
4. β - yassi burchak, rad, (R).
5. ΔP - impulsning xatoligi, rad, (R).
6. $\Delta tg\alpha$ - chuqurlashuv burchagi tangensining xatoligi, (R)
7. $\Delta\beta$ - yassi burchak xatoligi, rad, (R).
8. λ^2 - zarrachaning qaralayotgan yulduzda yotuvchanligini xarakterlovchi kattalik.
9. X- γ - kvant konversiyasi yoki V^0 zarracha yemirilish huqtasining koordinatasi, sm, ®
10. Y- γ - kvant yoki V^0 zarracha yemirilish huqtasining koordinatasi, sm, ®
11. Z- γ - kvant yoki V^0 zarracha yemirilish huqtasining koordinatasi, sm, ®
12. WVG- zarrachaning vazni, (R), WVG- $W_1*W_2*W_3$, bunda W_1 - geometric vazn, W_2 - gipoteza vazni, W_3 - o'lchab bo'lmaydigan $\gamma(V^0)$, yulduzcha yaqinidagi yo'qotish va boshqalarga kiritiluvchi tuzatmalarni hisobga oluvchi vazn.

2.2.5.Zarrachalarning belgilari

- 5- π^+ - mezon
- 6- π^- - mezon
- 7- p- proton
- 8- e^- - γ -kvantdan yelektron
- 9- e^+ - γ -kvantdan poszitron
- 17- γ kvant
- 18- e^- - γ -kvantdan filtrlashdan so'ngi yelektron
- 19- γ -kvantdan filtrlashdan so'ngi pozitron
- 22- d,t- deyteriy yoki tritiy (impuls $1 < P_{22} < 3$ GeV/c, zaryad $z=1$, kuchli ionizasiya).

- 23- Λ^0 - giperon
- 32- K^0 - mezon
- 45- π^+ - mezon, impulsi o'lchanmagan
- 46- π^- - mezon, impulsi o'lchanmagan
- 47- p- proton, impulsi o'lchanmagan
- 57- $\pi^+ / p - \pi^+$ yoki p bo'linmagan gipoteza, impulsi o'lchangan
- 65- zaryad ishoprasi aniqlanmagan qisqa trek, impulsi o'lchanmagan
- 77- zaryadi $z \geq 2$ bo'lgan yadro-snaryadning fragmenti
- 105- π^+ - mezon, K^0 dan
- 106- π^- - mezon K^0 yoki Λ^0 dan
- 107- p- proton Λ^0 dan
- 115- π^+ - mezon, K^0 dan fitlashdan so'ng
- 116- π^- - mezon K^0 yoki Λ^0 dan fitlashdan so'ng
- 117- p- proton Λ^0 dan fitlashdan so'ng
- 457- π^+ / p - bo'linmagan (aniqlanmagan) gipotezali trek, impulsi o'lchanmagan
- 477- zaryadi $z \geq 2$ bo'lgan yadro-snaryadning fragmenti, impulsi o'lchanmagan

Eslatma

Impulsi o'lchanmagan treklarga $p = (0,5 \pm 3,0)$ GeV/c, yadro-snaryad stripping fragmentlariga $p = (4,0 \pm 3,0)$ GeV/c fiktiv impulsar yozilgan.

Nazorat savollari

1. Ansambl haqida tushuncha bering.
2. Qanday protonlar bug'lanish protonlari deyiladi?
3. Proton-propan to'qnashuvlardan proton-uglerod to'qnashuvlari ajratib olish uchun voveadagi manfiy zaryadli zarralar soni uchun qanday shart bajarilishi lozim va uni asoslang.
4. AC-voqealarni nishondagi uglerod va noshondagi proton bilan yuz beruvchi voqealarga ajratish kriteriyalarini tushuntiring.
5. Ikkilamchi zarralar identifikatsiyasi qanday belgilarga va parametrlarga ko'ra amalga oshiriladi?
6. DST nima?
7. Zarralarning DSTdagi belgilari haqida tushuncha bering.
8. Zarrachaning yassi,azimutal va chuqurlashuv burchaklari nima? Ularning o'zgarish sohalari qanday?

Test savollari

1. Ansambl nima?
 - a) Birlamchi zarracha,
 - b) Bir turdagi zarrachalarning to'qnashuvlaridagi voqealar,
 - c) Voqeada kuzatilgan barcha protonlar soni,
 - d) Voqeadagi Pi-mezonlar soni.
2. Yadro-uglerod to'qnashuvlarda uglerod bilan sodir bo'lgan voqealarni ajratish uchun nechta Kriteriyadan foydalaniladi?
 - a) 2 ta
 - b) 8 ta
 - c) 5 ta
 - d) 6 ta
3. Uglerodli voqealarni ajratib olish uchun nishon massasiga qo'yilgan kriteriyani ko'rsating.
 - a) $M < 1,5m$
 - b) $M = 2 m$
 - c) $M < 3 m$
 - d) $M > 1,5 m$
4. Barcha to'qnashuvlardan yadro-uglerod to'qnashuvlarni ko'rsatigan kriteriyalar asosida ajratib olinganda necha foiz yadrouglerod voqealar ajratib olinadi?
 - a) 50 %
 - b) 100%
 - c) 70 %
 - d) 95 %
5. DST formati nechta so'zdan iborat?
 - a) 20 ta
 - b) 24 ta
 - c) 22 ta
 - d) 30 ta
6. DST formatida qandai tipdagi sonlar ishlatiladi? (R-haqiqiy, I-butun, M-mavhum)

- a) I va M tiplardagi
 - b) R tipidagi
 - c) I va R tiplardagi
 - d) R va M tiplardagi
7. “5”, “6”, “7” raqamlar mos holda qaysi zarrachalarning belgilari?
- a) π^+ , π^- , p
 - b) π^- , π^+ , p
 - c) p, π^+ , π^-
 - d) π^+ , p, π^-
8. DST formatida “47” belgisi qanday zarrachani bildiradi?
- a) Impulsi o'lchanmagan protonni
 - b) Impulsi o'lchanmagan π^- -mezonni
 - c) Impulsi o'lchanmagan π^+ -mezonni
 - d) Neytral zarrachani
9. DST formatida “45” belgisi qanday zarrachani bildiradi?
- a) Impulsi o'lchanmagan protonni
 - b) Impulsi o'lchanmagan π^- -mezonni
 - c) Impulsi o'lchanmagan π^+ -mezonni
 - d) Neytral zarrachani
10. DST formatida “46” belgisi qanday zarrachani bildiradi?
- a) Impulsi o'lchanmagan protonni
 - b) Impulsi o'lchanmagan π^- -mezonni
 - c) Impulsi o'lchanmagan π^+ -mezonni
 - d) Neytral zarrachani

2.3. Mavzu: Uglerod yadrosi to'qnashuvlarining o'ziga xos tomonlari

Reja:

1. Uglerod yadrolarining to'qnashuvlarida spektator zarrachalarni tadqiq qilish.
2. Tajriba uslubining o'ziga xos tomonlari.
3. Spektatorlarning burchak taqsimoti.

Tayanch so'zlar: to'qnashuv, spektator, kamera, nishon, uyg'onish, uglerod, yadro, ishtirokchi protonlar, tez protonlar, sekin protonlar, chiqish burchagi, mezon, aralashma, cho'qqi, interval, proton, deyteriy, triy.

Darsning maqsadi: propanli pufakchali kamerani protonlar hamda uglerod yadrosi bilan nurlantirilgandagi o'zaro ta'sirlashuvlarda hosil bo'lgan proton spektatorlarnin ajratib olish uslubini talabalarga yetkazish. Tajriba uslubining o'ziga xos tomonlarini ko'rsatish. Spektatorlarning burchak taqsimotlarini o'rganish.

2.3.1. Uglerod yadrolarining to'qnashuvlarida spektator zarrachalarni tadqiq qilish.

Ushbu paragrafda propanli pufakchali kamerani protonlar hamda uglerod yadrosi bilan nurlantirilgandagi o'zaro ta'sirlashuvlarda hosil bo'lgan proton-spektatorlarni ajratib olish va tadqiq qilishni ko'rib chiqamiz. Kuchli o'zaro ta'sirlashuvlar jarayonida qatnashuvchi zarrachalarni ishtirokchi zarrachalar va boshqa zarrachalarni ishtirok etmovchi zarrachalar, ya'ni kuzatuvchi yoki spektator zarrachalar deyiladi. Bundan so'ng biz spektator deyilganda snaryad yadrodan hosil bo'luvchi spektatorlarni tushunamiz. Tajribada sof holda faqatgina ishtirok etmovchi zarrachalar uchun fizik taqsimotlar olish mumkin emas. Shuning ucnun ularning nazariy hisoblar orqali olingan taqsimotlaridan foydalaniladi. [1-2] ishlarda uglerod nishon yadrosida hosil bo'luvchi bug'lanish protonlari hamda uglerod snaryad yadrosidagi proton-spektatorlarning impul's xarakteristikallari bo'yicha taqsimot olingan. Har bir nukloniga 4,2 GeV/c impul's to'g'ri keluvchi yadro ta'sirlashuvlarida ishtirok etmovchi protonlarni ajratish uchun propanli kollaboratsiya ishlarida ikkilamchi protonlarning (laboratoriya sistemasida) quyidagi xarakteristikalaridan foydalaniladi:

a) uyg'ongan uglerod yadrosida hosil bo'luvchi sekin protonlar uchun bug'lanish protonlarining impul'si 0,30 GeV/c dan kichik bo'lishi sharti qo'yiladi.

b) Tez protonlar uchun ularning impul'si 3,0 GeV/c dan katta va θ burchak 4° dan kichik sharti kiritiladi [3]. (Ивановская И.А. Сообщение ОИЯИ. P1-91-264. Дубна, 1991.)

Ishtirok etmovchi tez protonlarning impul'si va burchagi orasida kinematik munosabat mavjud [2]. Biroq tajribada olingan fizik ma'lumotlar tahlilida impul's- burchak taqsimoti kiritilmagan. Shuningdek, $P < 0,30$ GeV/c, $P > 3,0$ GeV/c va $\theta < 4^\circ$ kattaliklar hisoblashlar orqali olingan. Propanli pufakchali kamera yordamida to'planilgan katta tajribaviy material foydalaniluvchi kattaliklardan ishtirok etmovchi protonlarni ajratish uchun, impul's-burchak taqsimotini aniqlash uchun, spektator zarrachalar tarkibini chuqurroq o'rganish uchun imkoniyat beradi. Olingan natijalar yadro o'zaro ta'sirlashuvlarida ishtirok etuvchi zarrachalarni ajratishga aniqliklar kiritishga imkon beradi.

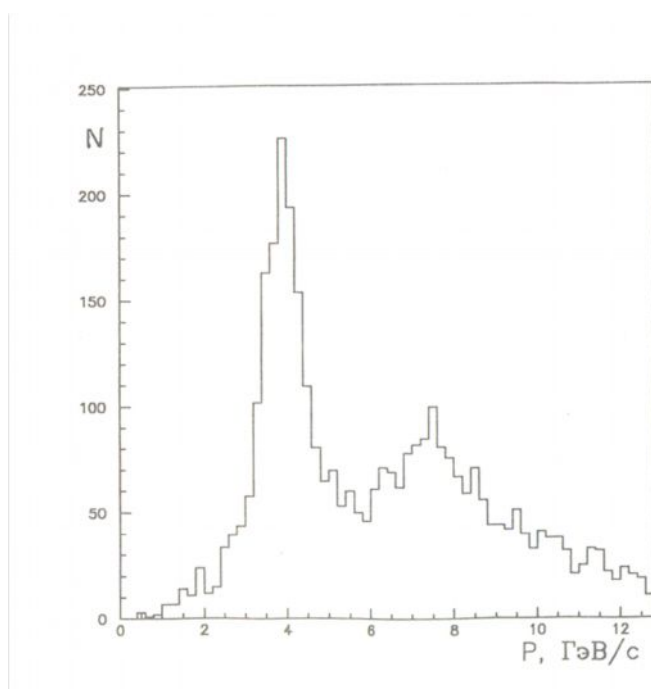
2.3.2. Tajriba uslubining o'ziga xos tomonlari.

Ikkilamchi zarrachalar impul'sini o'lchash aniqligi 12% va burchaklarni o'lchash aniqligi $0,5^\circ$ [4]. Odatda zarracha impul'si kattaligiga nisbiy xatolik 30% dan katta bo'lmasligi talab etiladi. Agar ikki va uch marta o'lchashlardagi nisbiy xatolik 30% dan katta bo'lsa u holda bu voqeadagi o'lchashlar qoldirib ketiladi.

Lekin bunday o'lchashlar juda kam. Ko'p hollarda trek egriligi bo'yicha impul'sini o'lchab bo'lmaydigan qisqa treklar uchraydi. Bu treklar hisoblar uchun qo'shilmaydi (aynan bizning ishimizda). Barcha manfiy zarrachalar π^- -mezonlar deb hisoblanadi (yaqqol ko'ringan elektronlardan tashqari). Impul'si 1 GeV/c dan yuqori bo'lgan barcha musbat zarrachalar protonlar deb qabul qilinadi (ularning ichida π^- -mezonlar aralashmasi 16% dan oshmaydi).

2.3.3. Spektatorlarning burchak taqsimoti.

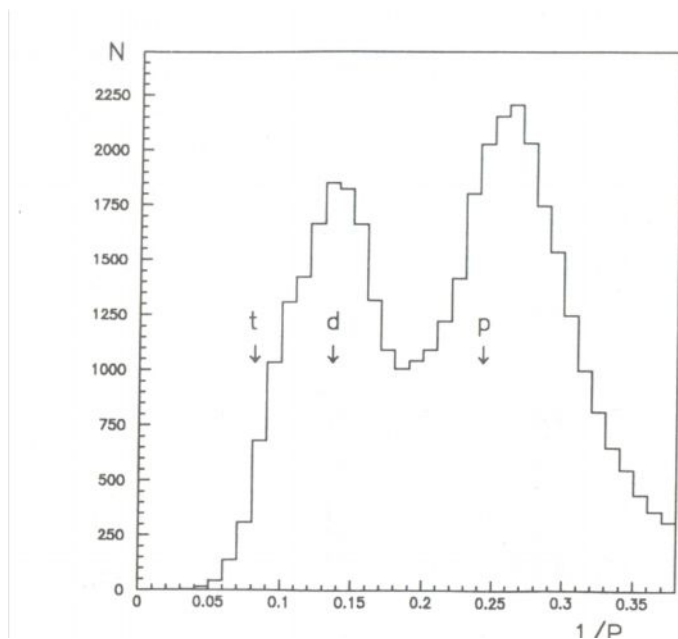
$C(C_3H_8)$ -o'zaro ta'sirlashuvlardagi $0-1^\circ$ burchak oralig'ida olingan proton-spektatorlarning impul's bo'yicha taqsimotida 4 GeV/c sohada katta cho'qqini ko'rish mumkin (9-rasm). Cho'qqida protonlar 4,2 GeV/c qiymat yaqinida guruhlanadi. Proton-spektatorlar katta cho'qqisidan o'ng tomonda 8 GeV/c atrofida biroz yapaloqlangan ikkinchi cho'qqi va 12 GeV/c atrofida juda kam seziluvchi uchinchi maksimumni ko'rish mumkin. Zarrachalarni ta'sirlashuvga qadar bog'lab turuvchi to'g'ri chiziqni shartli holda, asosiy deb olamiz. Laboratoriya sistemasida spektatorlar zarracha-snaryad yo'nalishidagi tor konus bo'ylab uchib chiqadi. Proton-spektatorlar impul's taqsimotining laboratoriya sistemasidaburchakdan bog'liqligini keltiramiz (9-rasm). Bunda burchak bo'yicha qadam $\Delta\theta = 0,5^\circ$ olingan. Keltirilgan rasmlardan ko'rinib turibdiki, proton-spektatorlar soni doimiy osha borib, $\theta = 0,5^\circ-1,5^\circ$ burchaklarda maksimumga erishadi va 3° dan katta burchaklarda kamayadi. **



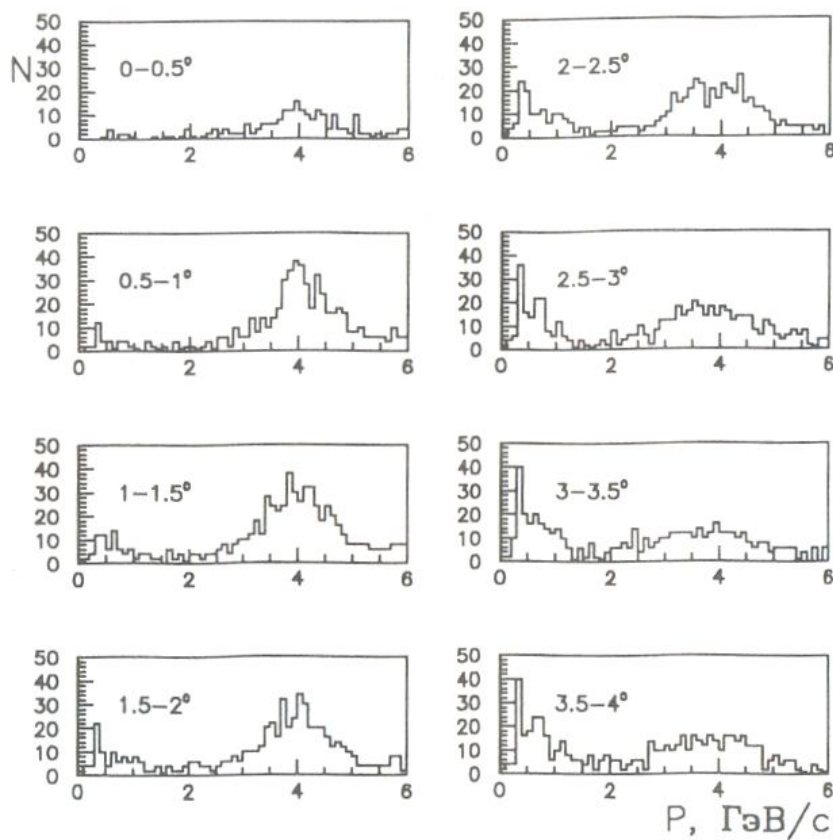
9-rasm. 4.2 A*GeV/c impulsli uglerod-propan o'zarota'sirlashuvlardagi protonlarning $0-1$ gradus burchak ichida impuls bo'yicha taqsimoti (laboratoriya sistemi).

Agar θ o'rniga $\cos\theta$ kattalikdan foydalanganda ham xuddi shunday taqsimotlar olingan bo'lar edi. 9-rasmdagi 4,2 GeV/c sohadagi cho'qqining o'ng tomonidagi zarrachalarni tahlil qilish uchun $1/p$ (impul'sning teskari qiymati) kattalikdan foydalanamiz. Buning natijasi 10-rasmda keltirilgan. Grafik uchun zarrachalar $\theta \leq 4^\circ$ sohadan tanlangan. 10-rasmda o'ng cho'qqi (proton-spektatorlar) va chap cho'qqi (deytron-spektatorlar) yaxshi ko'rinib turibdi. Ko'rsatuvchi belgilar bilan $1/p$ kattalikning tritiy (t), deyteriy (d) va proton (p) – spektatorlar ko'rsatilgan. 9-rasmda $1/p$ kattalikning $0,5^\circ$ qadam bilan θ burchakdan bog'liqligi keltirilgan.

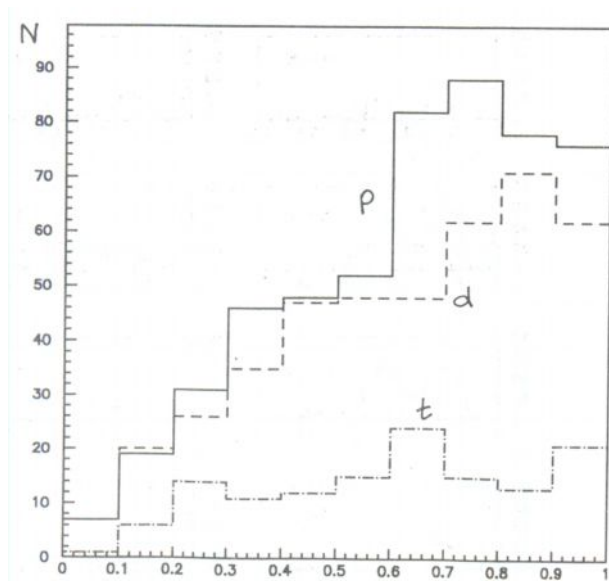
Rasmlardan ko'rinib turibdiki, deytron-spektatorlar yo'qola boradi (ularning maksimumi $0,5^\circ$ - 1°), tritiy-spektatorlar esa yanada tezroq kamayadi (ularning maksimumi 0° - $0,5^\circ$).



10-rasm. Zarrachalarning impulsning teskari qiymati bo'yicha taqsimoti (4 gradusdan kichik burchakda).



11-rasm. Protonlar impulsi taqsimotining fazoviy burchak kattaligidan bog'liqligi.



12-rasm. 0-1 gradus intervalida spektator zarrachalarning burchak taqsimoti.

Deyteriy, proton-spektatorlardagi taqsimotlarga nisbatan tritii-spektatorlarning burchak taqsimoti juda kichik burchak bilan xarakterlanadi va bu tritii yadrosining burchak taqsimotining burchak bo'yicha yanada kichik qadamlar bilan aniq ajratib olinishi uchun foydalidir. 12-rasmda (qadam $\Delta \theta = 0,1^\circ$) tritii yadrosi uchun keng maksimum aniq ko'rinadi. 13-rasmdagi taqsimotlardan p,d,t yadrolarining har xil burchak oraliqlaridagi p,d,t munosabatlarini baholash mumkin. Biroq avval yadrolarning o'zaro aralashma hissasini baholash zarur. Bu baholash 0° - 4° burchak oralig'ida amalga oshirildi. Spektatorlar kiruvchi sohalar deb quyidagi intervallar olinadi:

P uchun $1/p=0,19-0,28,$

d uchun $1/p=0,09-0,14,$

t uchun $1/p=0,06-0,09.$

$1/p$ ning spektatorlar uchun chegaraviy qiymati 0° - $0,5^\circ$ burchaklar uchun $1/p$ taqsimot asosida aniqlanadi. Burchaklarning bu sohasida spektatorlar yanada aniqroq aniqlanadi. p,d,t lar uchun bu burchaklar intervalida spektatorlar taqsimoti Gaussning uchta egri chizig'i bilan birgalikda MINIUT programmasi minimumlashtirishi yordamida approksimatsiya qilindi. 0° - $0,5^\circ$ burchakda p,d,t –spektatorlar uchun ular o'rtacha qiymatlarining kattaliklari va unga mos dispersiyalari aniqlandi:

P uchun o'rtacha $x=0,236,$ $\sigma=0,036,$

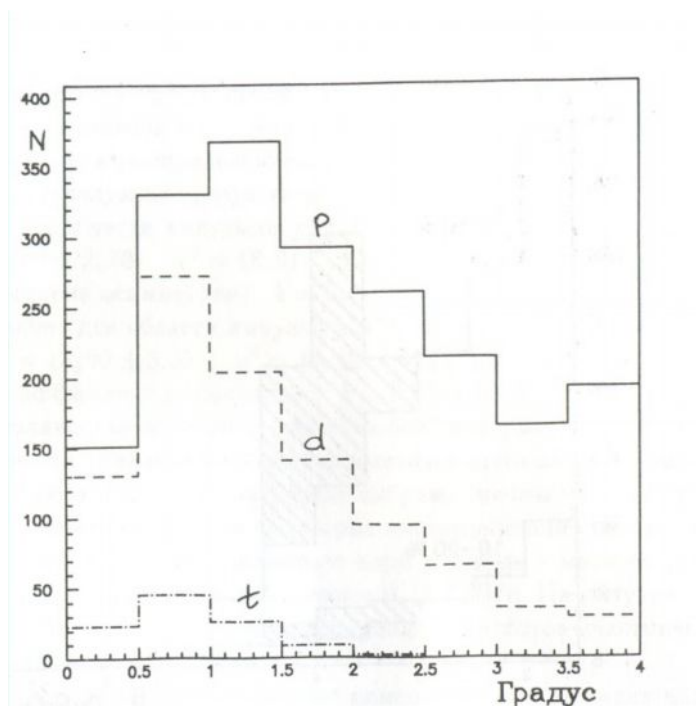
d uchun o'rtacha $x=0,122,$ $\sigma=0,019,$

t uchun o'rtacha $x=0,077,$ $\sigma=0,010.$

0° - $0,5^\circ$ burchaklar uchun o'rtacha kattalik x va dispersiya σ boshqa burchak intervallari ($0,5^\circ$ - 4°) uchun asos qilib olindi. Spektatorlarning o'zaro aralashmalari $x-3$ dan $x+3$ gacha interval ichida har bir spectator uchun tadqiq qilinli. 0° - 4° burchaklar uchun tahlil $0,19-0,28$ (protonlar) interval ichida deyteriy va

tritiy aralashmalari yo'q. 0,09-0,14 (deyteriy) interval ichida protonlar aralashmasi 4,1%, tritiylar aralashmasi 3,2% (deyteriy yadrolari soniga nisbatan). 0,06-0,09 (tritiy) interval ichida protonlar aralashmasi yo'q, deyteriy aralashmasi o'rtacha 68,5% (tritiy yadrolari soniga nisbatan). Aralashmalarni chiqarib tashlangandan so'ng $C(C_3H_8)$ -ta'sirlashuvlarda har xil burchaklar intervallarida p,d,t yadrolarining soni olindi. Natijalar jadvalda keltirilgan (2-jadval).

Burchaklar graduslarda keltirilgan. 13-rasmda p,d,t spektatorlarning aralashmalar chiqarib tashlangandan so'nggi burchak taqsimotlari keltirilgan. p,d,t spektatorlarning laboratoriya sistemasidagi burchak taqsimotlari har xil bo'lishi spektatorlarning nuklonlarning yadro ichida "yopishib" qolishi hisobiga paydo bo'lishi mexanizmi tajriba natijalariga mos kelmaydi.



13-rasm. 0-4 gradus intervalida spektator zarrachalarning burchak taqsimoti.

Nazorat savollari

1. Spektator zarrachalar deb qanday zarrachalarga aytiladi?
2. Spektator zarrachalarni ajratib olish shartlarini ayting.
3. Ikkilamchi zarrachalar biror turining fazoviy burchak bo'yicha taqsimotidan qanday xulosalar qilish mumkin?
4. Ikkilamchi zarrachalar biror turining impulsi bo'yicha taqsimotidan qanday xulosalar qilish mumkin?
5. Nima uchun biz o'rganayotgan to'qnashuvlar jarayonida ikkilamchi zarrachalar ko'proq kichik θ burchak ostida uchib chiqadi?

6. Impulsning teskari qiymati ($1/P$) taqsimotini o'rganishning afzalligi nimada?
7. Spektator deutronlar deb qanday zarrachalarga aytiladi?
8. p, d, t – zarralar uchun keltirilgan rasmdan $1/P$ ning qiymatini aniqlang
9. Spektator zarrachalar impulsining chegaraviy qiymmati qanday?
10. Ishtirokchi protonlar deb qanday protonlarga aytiladi?

Test savollari

1. Spektator protonlar uchun P impuls va θ burchakning chegaraviy qiymatini ko'rsating.

- e) $P = 1 \text{ GeV}/c, \theta < 4^\circ$
- f) $P > 3 \text{ GeV}/c, \theta < 4^\circ$
- g) $P < 3 \text{ GeV}/c, \theta > 4^\circ$
- h) $P = 3 \text{ GeV}/c, \theta = 0^\circ$

2. Buglanish protonlaru deb qanday protonlarga aytiladi?

- a) Impulsi $P > 100 \text{ MeV}/c$
- b) Impulsi $P < 100 \text{ MeV}/c$
- c) Impulsi $P > 300 \text{ MeV}/c$
- d) Impulsi $P < 300 \text{ MeV}/c$

3. 500 litr hajmli propanli pufakchali kamerada ikkilamchi zarrachalar impulsini o'lchash aniqligini ko'rsating.

- a) 5 %
- b) 15 %
- c) 12 %
- d) 20 %

4. O'zaro ta'sirlashuvda ishtirok etmovchi zarrachalarga qanday zarrachalar deyiladi?

- a) spektator
- b) tez protonlar
- c) og'ir zarrachalar
- d) engil zarrachalar

5. Bixning uslubimizda impuls $1 \text{ GeV}/c$ dan katta bo'lgan zarracha qanday zarrachalar deb Ataladi va ularga qnday belgi beriladi?

- a) π^+ -mezon, “5”
- b) π^- -mezon, “6”
- c) elektron, “8”
- d) proton, “7”

2.4. Mavzu: Taqsimotlardan spektatorlarni chiqarib olish.

Reja:

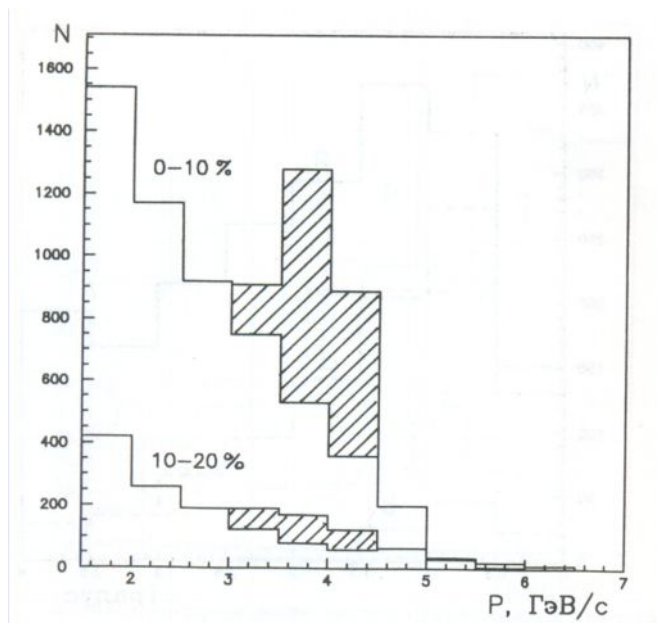
1. Spektator zarrachalar impulsining chegaraviy qiymati.
2. Uglerod-propan taqsimotlarni spektatorlardan tozalash.
3. Spektator zarrachalar va uglerod-snaryad yadrosining fragmentatsiyasi.

Tayanch so'zlar: spektator, ishtirokchi, pkamera, to'qnashuv, voqea, asimmetriya, kriteriya, interval, nazariy hisob, tozalash, chegaraviy impuls, fragmentatsiya, deytron-fragment- spektator.

Darsning maqsadi: Spektator zarrachalar impulslarining chegaraviy qiymatlarini aniqlash yo'lini talabalarga tushuntirish va o'rgatish. Ishning muhim tomonlarini ko'rsatish. Uglerod-propan taqsimotlarni spektator zarralardan tozalash yo'llarini o'rganish. Yadro fragmentatsiyasini topish yo'llarini talabalarga tushuntirish.

2.4.1. Spektator zarrachalar impul'sining chegaraviy qiymatlari.

Uglerodning propan bilan to'qnashuvlarida 4,2 GeV/c impul's qiymati sohasiga proton-spektatorlar va ishtirokchi protonlar tushadi. 4,2 GeV/c sohadagi taqsimotni ishtirokchi protonlardan tozalash uchun quyidagi jarayonlar qo'llaniladi. Propanli kamerani 4,2 GeV/c impul'sli protonlar dastasi bilan nurlantirishdan foydalanamiz. Bu nurlantirishda snaryad zarracha proton bo'lib, proton spektatorlar yo'q. Ikkinchi tomondan, propanli kamerada proton-proton ba proton-uglerod elastik to'qnashuvlar mavjud. Bunday to'qnashuvlar kamerani uglerod yadrosi bilan nurlantirilganda bo'lmaydi. Protonli nurlanish voqealaridan pp va pC –elastik sochilish jarayonlaridagi tez protonlarni chiqarib tashlaymiz. pp va pC –noelastik to'qnashish jarayonlaridagi ishtirokchi protonlarning laboratoriya sistemasidagi impul's taqsimoti ~2,5 GeV/c gacha, elastic jarayondagi protonlarning taqsimoti esa yanada kattaroq qiymatga cho'ziladi. 14-rasmda $p(C_3H_8)$ to'qnashuvlardagi protonlarning impul's taqsimoti keltirilgan.



14-rasm. Proton-propan to'qnashuvlardagi protonlarning impuls taqsimoti (impul'sni 0-10% va 10-20% aniqlikda o'lchash uchun)

Bunda bitta taqsimot ikkilamchi protonlar impul'sini 0-10% chegarada aniq o'lchash uchun, ikkinchi taqsimot 10-20% chegarada o'lchash uchun. Impul'sning 3-4,5 GeV/c sohasida $p(C_3H_8)$ elastik sochilishi tufayli sodir bo'lgan voqealar ortiqchaligi ko'rinib turibdi. O'lchash aniqligi 20% dan yuqori bo'lgan taqsimotlar uchun ortiqcha voqealar yo'q. 3,0 GeV/c dan kichik bo'lgan sohadan 4,5 GeV/c dan katta bo'lgan sohaga o'tish parabola bilan approksimatsiyalangan (bunda 3-4,5 GeV/c oralig'dagi zarrachalar soni tashlab yuboriladi). Ortiqchalikdagi voqealarning yig'indi miqdori 1630 ta. [4] ga ko'ra pp-elastik sochilishi voqealari, qo'pol baholashda, 1045 ta voqeani tashkil etadi. $P(C_3H_8)$ -o'zaro ta'sirlashuvlarning tahlili uchun $14042-1630=12412$ voqea qoldirildi. So'ngra 37939 ta $C(C_3H_8)$, 12412 ta $p(C_3H_8)$ -o'zaro ta'sirlashuvlar uchun p^* va $\cos \theta^*$ orqali ikki o'lchamli taqsimotlar olindi. Bu yerda *-belgisi voqealar tushuvchi zarracha tinch holati sistemasida qaralganligini bildiradi. $C(C_3H_8)$ voqealarning miqdori $p(C_3H_8)$ voqealar soniga normallashtirilgan. $p^* \geq 0,11$ GeV/c impul'sdan boshlab (impul'sning o'sishi bo'yicha 0,01 GeV/c qadam bilan) $p(C_3H_8)$ voqealarni $C(C_3H_8)$ voqealardan ayirib tashlash boshlangan. Har bir ayirishdan so'ng qolgan protonlar burchak taqsimotining burchak taqsimoti izotropligiga tekshirildi. Burchak taqsimoti izotropiyasining sifatini nazorat qilish uchun asimmetriya koeffisienti hamda burchak taqsimoti o'rtacha qiymatining χ^2 kriteriya bo'yicha mos tushish ehtimoliyati hisoblandi va natijada quyidagi qiymatlar olindi:

$p^* \leq 0,15$ GeV/c impul'slar sohasi uchun:

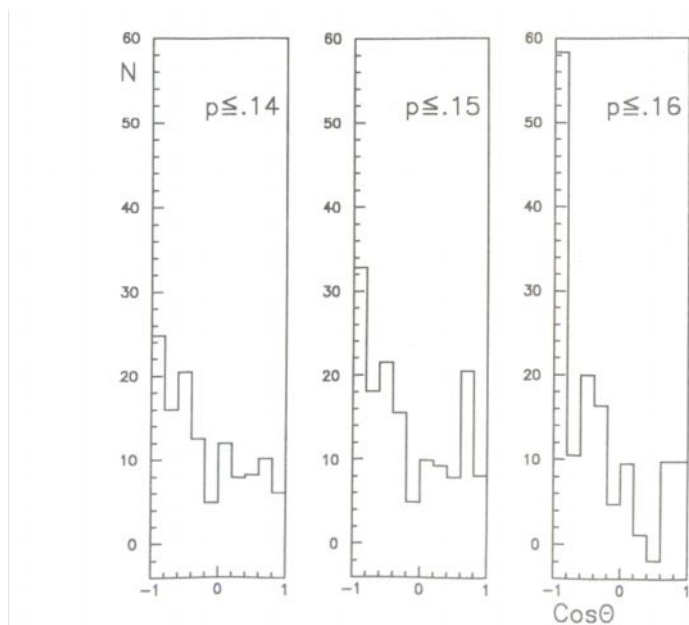
$N \approx 14,8 \pm 2,7$, $\chi^2 = 18,91$, $W(\chi^2) = 2,6 \cdot 10^{-2}$ to'qqizta erkinlik darajasi uchun,

assimmetriya koeffisienti $k = 0,25 \pm 0,13$.

$p^* \leq 0,16$ GeV/c impul'slar sohasi uchun:

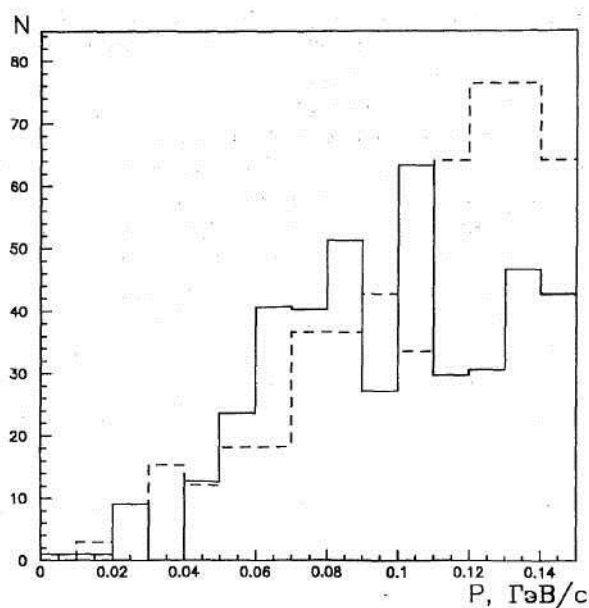
$N \approx 13,9 \pm 5,35$, $\chi^2 = 34,42$, $W(\chi^2) = 7,5 \cdot 10^{-5}$ to'qqizta erkinlik darajasi uchun,

assimmetriya koeffisienti $k = 0,59 \pm 0,15$.



15-rasm. Tushuvchi uglerod yadrosining tinch holat sistemasida proton- spektatorlarning ularning impulsaridan bog'liq holdagi burchak taqsimoti (impulsar 0-0,14, 0-0,15, 0-0,16 GeV/c).

$N \sim \Delta \cos \theta \approx 0,2$ bo'lgan bitta ixtiyoriy intervaldagi voqealar miqdori. Shunday qilib, proton-spektatorning (tushuvchi yadro tinch holat sistemasida) chegaraviy impul'si uchun 0,15 GeV/c impul's tanlandi (15-rasm). Uglerod-uglerod o'zaro ta'sirlashuvlarning simmetriyasidan uyg'ongan nishon-uglerod yadrosida "bug'lanish" jarayonida hosil bo'luvchi protonlar ham impul'sning 0,15 GeV/c ga teng chegaraviy qiymatiga ega bo'lishi lozim. 16-rasmda 0-0,15 GeV/c sohada bug'lanish protonlarining hamda ishtirokchi protonlarning impul's taqsimotlari keltirilgan.



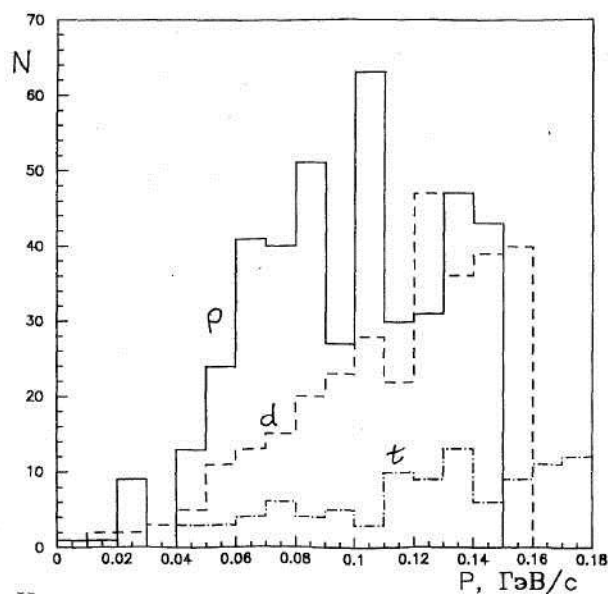
16-rasm. 0-0,15 GeV/c sohada (laboratoriya sistemas) bug'lanish protonlari va ishtirokchi protonlarning impuls taqsimoti. _____ bug'lanish protonlari, - - - - - ishtirokchi protonlar.

Propanli kamerada protonlar 0,15 GeV/c impul'sga qadar ko'rinmaganligi uchun laboratoriya sistemasida biz bug'lanish protonlarini mutlaqo ko'rmaymiz. Nazariy hisoblashlar ham 0,14 GeV/c impul'sga qadar 94% bug'lanuvchi nuklonlar, 0,14-0,17 GeV/c sohada yana 4% bug'lanuvchi nuklonlar hosil bo'lishini ko'rsatadi. Deyteriy va tritiy uchun impul'sning chegaraviy qiymatini aniqlash maqsadida proton-spektatorlardagi kabi protsedura qo'llaniladi. Natijada quyidagilar olindi:

d uchun $p^*=0,16$ GeV/c,

t uchun $p^*=0,18$ GeV/c.

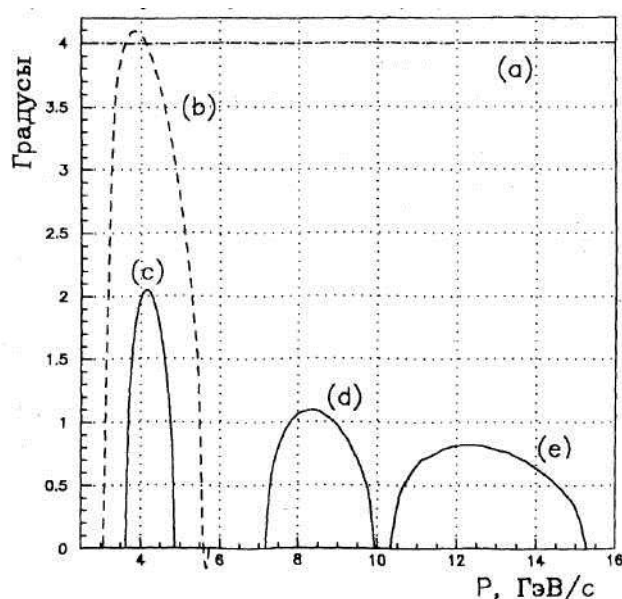
17-rasmda p,d,t spektatorlarning tushuvchi uglerod yadrosining tinch holat sistemasidagi impul'slari bo'yicha taqsimotlar keltirilgan.



17-rasm. Spektator zarrachalarning tushuvchi uglerod yadrosining tinch holat sistemasidagi impuls taqsimoti.

2.4.2. Uglerod-propan taqsimotlarni spektatorlardan tozalash.

Odatda spektatorlarni ajratish uchun impul'si 3 GeV/c dan yuqori va burchagi 4° dan kichik zarrachalar ajratiladi. Bunda impul's va burchakning bog'liqlik taqsimoti qaralmagan edi. 22-rasmda bu ikki shart to'g'ri burchakni hosil qiladi ((a)figura). Parametrlariga ko'ra to'g'ri burchak ichiga tushuvchi barcha zarrachalar spektatorlar deb hisoblanadi va fizik taqsimotlardan olib tashlanadi. Biroq, olib tashlangan zarrachalarda spektatorlarning hissasi $75 \pm 2\%$ ni tashkil etadi. 22-rasmda spektator zarrachalar uchun impul's-burchakning bog'liqligi protonlar uchun (b) va (c) egri chiziqlar bilan, deyteriy uchun (d) egri chiziq bilan, tritiy uchun (e) egri chiziq bilan ko'rsatilgan. Tajribada bu egri chiziqlardan foydalanish juda noqulay. Taqsimotni spektator-zarrachalardan tozalash uchun ikkita parameter (impul's, burchak) kiritish o'rniga bitta parametr, ya'ni snaryad bo'lgan uglerod yadrosining tinch holat sistemasida spectator impul'sining chegaraviy qiymatini kiritish taklif qilinadi. Bu koordinata sistemasida spektatorlar uchun burchak taqsimoti izotropdir va shuning uchun burchakka shart kiritish kerak emas. Treklar egriligini hisoblashda deyteriy va tritiy yadrolariga protonning tinch holat massasi qo'shiladi. Deyteriy uchun protonlar shkalasida spektatorlar uchun maksimum 8,4 GeV/c dan bir oz kamroqda, tritiy yadrosi uchun 12,6 GeV/c dan bir oz kamroqda bo'ladi. Shunday qilib, proton-spektatorlarni ajratish uchun 4,2 GeV/c impul'sda uglerod snaryad yadrosining tinch holat sistemasiga o'tib 0,15 GeV/c, deyteriy uchun 8,4 GeV/c da protonlar bo'yicha 0,16 GeV/c,



18-rasm. Burchak-impuls bog'liqligi (laboratoriya sistemasi).

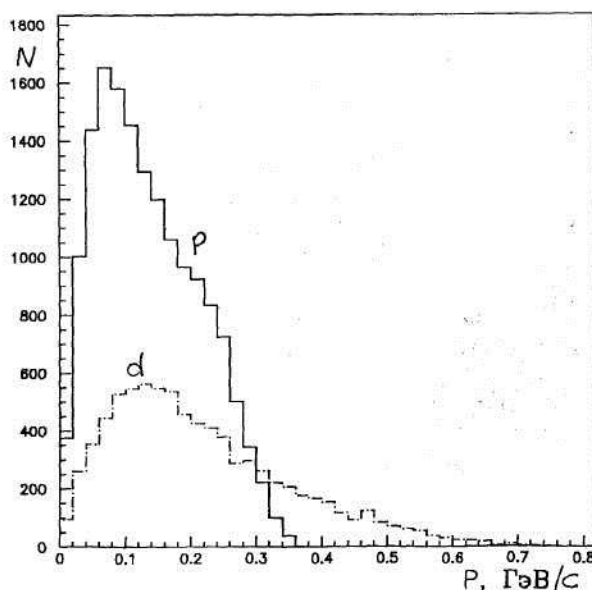
- (a) – impulsning $p = 3,0$ GeV/c va burchakning $\theta=4^\circ$ qiymati uchun (protonlar),
- (b) - impulsning $p = 3,0$ GeV/c qiymati uchun (protonlar),
- (c) - impulsning $p = 0,15$ GeV/c qiymati uchun (protonlar),
- (d) - impulsning $p = 0,16$ GeV/c qiymati uchun (deyteriy),
- (b) - impulsning $p = 0,18$ GeV/c qiymati uchun (tritiy).

tritiy uchun 12,6 GeV/c da protonlar bo'yicha 0,18 GeV/c impul's berish lozim. Chegaraviy impul'sdan kichik impul'sga ega bo'lgan barcha zarrachalar tashlab yuboriladi, qolganlari esa qayta ishlash uchun laboratoriya sistemasiga qaytariladi. π -mezonlar spectator hisoblanmaydi va ularni boshqa sistemaga o'tkazish va tashlab yuborish kerak emas. 13-rasmdan ko'rinib turibdiki, proton-spektatorlar 3,6-4,9 GeV/c impul'sga ega va maksimal burchak $\theta=2,1^\circ$. Deyteriy yadrosining spektatorlari 7,1-10 GeV/c impul'sga ega va maksimal burchak $\theta=1,1^\circ$. Tritiy yadrosining spektatorlari 10,3-15,4 GeV/c oraliqdagi impul'sga ega bo'lib, ular uchun maksimal burchak $\theta=0,8^\circ$. Protonlar shkalasi bo'yicha 4,9 dan 7,1 GeV/c gacha impul'sdagi uzilish tajribada bo'shliq bo'lmasdan magnit maydonida treklarni o'lchashda paydo bo'luvchi xatoliklar tufayli paydo bo'lgan proton-spektatorlar va deyteriy yadrosi spektatorlari bilan to'lgan. Avval qo'llanilgan [3] sxemada taqsimotlardan $27 \pm 1\%$ ishtirokchi protonlar chiqarib tashlangan va ularning orasida $P \leq 0,3$ GeV/c impul'sli sekin ishtirokchi protonlarning hissasi 22% ni tashkil etadi. Taklif etilayotgan yangi sistema bo'yicha ishtirokchi protonlarning yo'qotilishi 0,6% ni tashkil etadi.

3. Spektator zarrachalar va uglerod-snaryad yadrosining fragmentatsiyasi.

Odatda yadro ta'sirlashuvlari ikki bosqichda sodir bo'ladi deb qaraladi [8]. [9] ishda yadro-yadro to'qnashuvlarida hosil bo'luvchi α -zarrachalarning odatiy $P_{\perp}$ bo'yicha taqsimot oxiridagi katta qiymatlarini tushuntirish uchun α -zarrachalar paydo bo'lishining boshqa mexanizmini kiritish lozimligi aytilgan. [10] ishda yadro o'zaro ta'sirlashuvlarini to'la ifodalash uchun ikkita bosqichga uchinchi bosqichni qo'shish taklif etiladi. Bu so'nggi (uchinchi) bosqichda qoldiq snaryad-yadro ikki yoki ko'proq qismlarga (fragmentlarga) bo'linadi. Uglerod yadrosi nisbatan yengil bo'lgani uchun fragmentlar vazifasini nuklonlar yoki deyteriy yadrosi

bajarishi mumkin. Nuklon-fragment-spektatorlar ko'ndalang impul'sining qiymatlari proton-spektatorlar ko'ndalang impul'slarining odatdagi qiymatlaridan farq qilishi va sezilarli bo'lishi mumkin.



19-rasm. Uglarod-proopan o'zaro ta'sirlashuvlarda hosil bo'lgan rotonlar va deytronlarning ko'ndalang impuls bo'yicha taqsimoti.

19-rasmda $C(C_3H_8)$ -to'qnashuvlardagi spektator zarrachalarning ko'ndalang impul's bo'yicha taqsimoti keltirilgan. Bunda protonlar $1/p=0,19-0,28$, deytronlar $1/p=0,09-0,14$ sohadan olingan. Olingan natijalarga ko'ra proton spektatorlar $0,15 \text{ GeV}/c$ ko'ndalang impul's qiymatiga ega. $P \geq 0,15 \text{ GeV}/c$ impul'sli protonlarni proton-fragment-spektatorlarga qo'shish lozim. Bularning barcha proton-spektatorlardan bo'lgan hissasi $\sim 40\%$. Deytron-fragment-spektatorlar uchun xuddi shu kattalik $\sim 59\%$. Shuning uchun qandaydir ko'ndalang impul'sga ega bo'lgan yadro fragmentlari nuklonlar (deytronlar)ga spektatorli impul's berib va yana o'zining ko'ndalang impul'sini qo'shib ularni "bug'lantiradi".

Nazorat savollari

1. Spektator zarrachalar impulsining chegaraviy qiymati nima?
2. Spektator zarrachalar uchun impulsning chegaraviy qiymat qanday topiladi?
3. Zarrachalar fragmentatsiyasi deganda nimani tushunasiz?
4. Deyteriy va tritiy yadrolar uchun impulsning chegaraviy qiymatlari qanday topiladi?
5. Ikki o'llchamli taqsimotlar haqida tushuncha bering.
6. O'zaro ta'sirlashuvlar necha bosqichdan iborat? Ularni tushuntirib bering.

Test savollari

1. Impulsning qanday qiymatidan boshlab $p(C_3H_8)$ voqealarni $C(C_3H_8)$ voqealardan ajratib tashlash boshlanadi?

- a) $P^* = 100 \text{ MeV/c}$
- b) $P^* > 300 \text{ MeV/c}$
- c) $P^* > 0,11 \text{ GeV/c}$
- d) $P^* < 0,2 \text{ GeV/c}$

2. Uglerod-uglerod o'zaro ta'sirlashuvlarda hosil bo'luvchi bug'lanish protonlari

Impulsining chegaraviy qiymatini ko'rsating.

- a) $P^* > 0,1 \text{ GeV/c}$
- b) $P^* > 0,25 \text{ GeV/c}$
- c) $P^* < 0,3 \text{ GeV/c}$
- d) $P^* = 0,15 \text{ GeV/c}$

3. Deyteriy uchun impulsning chegaraviy qiymatini ko'rsating.

- a) $P^* = 0,16 \text{ GeV/c}$
- b) $P^* > 0,2 \text{ GeV/c}$
- c) $P^* = 0,15 \text{ GeV/c}$
- d) $P^* < 0,01 \text{ GeV/c}$

4. Tritiy uchun impulsning chegaraviy qiymatini ko'rsating.

- a) $P^* = 0,16 \text{ GeV/c}$
- b) $P^* > 0,2 \text{ GeV/c}$
- c) $P^* = 0,18 \text{ GeV/c}$
- d) $P^* < 0,01 \text{ GeV/c}$

5. Impulsi chegaraviy impulsdan kichik bo'lgan barcha zarrachalar ...

- a) protonlar deb hisoblanadi
- b) π -mezonlar deb hisoblanadi
- c) neytral zarralar deb hisoblanadi
- d) tashlab yuboriladi

Adabiyotlar

1. Balandin N.P., Borisov N.G. yetc. all. A 2-metre propane bubble chamber. –Nuclear instruments and methods. 1963.VI.20, p.110-113.
2. Нгуен Дин Ты, Пенев В.Н., Смирнов Н.А., Соловьёв М.И. Определение констант оптической системы двухметровой пропановой пузырьковой камеры. –Препринт ОИЯИ, 13-59-42б Дубна, 1971.
3. Д.Перкинс. Введение в физику высоких энергий. Москва, Энергофтомиздат, 1991.
4. К.Н.Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Т.2.Физика элементарных частиц. Москва, Атомиздат, 1974.
- 5.К.Олимов, Э.Х.Базаров, Р.Н.Бекмирзаев и др. К вопросу об образовании кумулятивных протонов во взаимодействиях адронов и ядер с ядрами при высоких энергиях. Ядерная физика, 2007, т.70, №4, с.741-743.
- 6.Bekmirzaev R.N., Olimov Kh.K., Olimov K., Jomurodov D. Formation of the protons in Cta-colisions at 4.2 A GeV/c. The Sixth International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”, September 19-22, 2006.
- 7.Bekmirzaev R., Igamkulov Z., Sultanov M., Nodirov G. Characteristics of central CC and Cta Intractions at the momentum of 4.2 GeV/c per nucleon.
- 8.Lj.Simich, S.Backovich, D.Salihagich, A.P.Cheplakov, E.N.Kladnitskaya, R.R.Mekhdiev. Centrality depenence of pion and proton spectra in C+C and C+Ta intractions at 4.2 GeV/c. Physical Review C. Volume 52, number 1. July 1995.
- 9.Production of Δ^0 and Δ^{++} resonanses in collisions of ^4He nuclei with carbon nuclei at 4.2 GeV/c per nucleon.
- 10.Беляков В.А., Богданович Е. Сообщение ОИЯИ Р1-95-516, Дубна, 1995.
- 11.Беляков В.А., Богданович Е. Сообщение ОИЯИ Р1-96-238, Дубна, 1996.
- 12.Абдуразакова У.А. Ядерная физика, 1988, т.47,с.1299.
- 13.Strugalska-Gola E. et al. JINR Communication E1-97-129, Dubna, 1997.
- 14.Бекмирзаев Р.Н., Олимов К., Султанов М.У., Нодиров Г.Ю. Сравнительные характеристики центральных и нецентральных СС-взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. «Фундфментальные и прикладные вопросы физики». Материалы четвертой международной Конференции посвященной 80-летию академика М.С.Саидова. с.15.Ташкент-2010.