

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI XALQ TA'LIMI VAZIRLIGI

ABDULLA QODIRIY NOMLI JIZZAX DAVLAT

PEDAGOGIKA INSTITUTI

“UMUMIY FIZIKA”

KAFEDRASI

“Himoya qilishga ruxsat beraman”

Fizika-matematika fakulteti dekani

_____ dots. Ergashev B

“_____” _____ 2012 y.

5140200 – Fizika –matematika fakulteti Fizika-astronomiya yo'nalishi bo'yicha
bakalavr darajasini olish uchun

**“3.25 A GeV/c IMPULSLI ^{16}O p-TO'QNASHUVLARIDA KO'P
NUKLONLI TIZIMLAR VA YADROLAR HOSIL BO'LISHI”**

mavzusida bajarilgan

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Bajaruvchi: Tursunova S.

Ilmiy rahbar: O'q. Qurbonov A.R.

Ishni himoyaga tavsiya etaman:

Ilmiy rahbar: O'q. Qurbonov A.R.

Taqrizchi: f.m.f.d., prof. O'. Yo'ldoshev

f.m.f.n, dotsent I. Mo'minov

BMI “ Umumiy fizika” kafedrasi yig'ilishi qarori bilan
(Qaror № _____. _____, 2011 y) himoyaga tavsiya
etilgan.

Kafedra mudiri: dots. Doniyorov SH.

JIZZAX - 2012

M U N D A R I J A

KIRISH	3
1-BOB. Tajriba uslubiyati	7
1.1. Pufakchali vodorod kamerasining asosiy xarakteristikalar.....	8
1.2. Stereofotografiyalarni qayta ishlash uslubiyati.....	8
1.3. Voqealarni qarash, ajratish va o'lchash.....	9
1.4. Ikkilamchi zaryadli zarralar va fragmentlarni kinematik xarakteristikalarini o'lchashdagi xatoliklar.....	12
1.5. Tajriba ma'lumotlari.....	13
 2-BOB. ^3H va ^3He yadrolarining hosil bo'lish o'rtacha ko'pligi	
2.1. Yadrolarning hosil bo'lishi.....	16
2.2. Massa soni $A_f \leq 3$ bo'lgan engil fragmentlarni ajratish.....	18
2.3. ^3He yadrolarining hosil bo'lish asoslari.....	23
 XULOSA	28

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

KIRISH

Yuqori energiyali adronlar va yadrolarning yadrolar bilan to'qnashuvlarini tadqiq qilishdagi asosiy muammolardan biri yadrolarning parchalanish mexanizmlarini aniqlashdan iborat. Yadrolar parchalanishi mexanizmlarini o'rganish kuchli o'zarota'sir dinamikasi haqida, yadrolar strukturalari to'g'risida, hamda yadro materiyasining holatlari tenglamalarini aniqlashga imkon beradi. Parchalanish hodisasi o'tgan asr 40-yillarining oxirida kosmik nurlar ustida olib borilgan tajribalar asosida ochilishiga qaramay, ushbu hodisani nazariy va tajribaviy tadqiqot qilish 25 yillardan keyin, ya'ni og'ir ionlar tezlatgichlari ishga tushgandan so'ng yanada keng taraqqiy qildi.

70-yillarga kelib, Dubna shahridagi (Rossiya) Birlashgan yadro tadqiqotlari institutining (OIYaI) yuqori energiyalar fizikasi laboratoriyasi (LVE) sinxrofazotronida dastlabki yadrolar dastasi nurlantrilgach (energiyasi $E=5$ GeV/nuklongacha), yadro fizikasida g'aroyib holatlarni kuzatish erasi boshlandi. Yadro-yadro ta'sirlashuvlarda hosil bo'ladigan fragmentatsiya jarayonlari o'rganila boshlandi, bu jarayonlar mexanizmini o'rganish uchun turli xil modellar yaratildi va rivojlantirildi. Dastlab yadro-yadro to'qnashuvlarini o'rganishda fotoemulsiya usulidan foydalanildi. Ma'lumki bu usul yordamida ikkilamchi zarralarning, ayniqsa fragmentlarning impulsi va zaryadini o'lchab bo'lmaydi va ma'lumotlarni tahlil qilish imkoniyatlarini chegaralab qo'yadi. Elektron tajribalarida zarrachalar juda qisqa burchak oraliqlarida qayd qilinib o'lchanadi, va bu katta statistik material bo'lishligiga qaramasdan to'liq tahlil qilish uchun kerakli ma'lumotlarni olish imkoniyatini bermaydi.

Bugungi kunda yadrolar fragmentatsiyasi jarayonini to'liq tushuntiruvchi nazariy mavjud emas. Bu bir tomondan yuqori

energiyali adronlarning yadrolar bilan to'qnashuv jarayonlarining murakkabligida (ko'p ketma-ketlikda yuz berishi) bo'lsa ikkinchi tomondan ikkilamchi zarralarning to'liq qayd qilinmasligi, ko'p zaryadli fragmentlarni ularning massalari bo'yicha ajratib bo'lmasligidadir. Shu munosabat bilan 4π geometriya sharoitida ikkilamchi zarralarni to'liq identifikatsiya qiluvchi va impulslarini aniq o'lchovchi tajribalar o'tqazish dolzarb masalalardan hisoblanadi. Bunday imkoniyatlar magnit maydoniga o'rnatilgan pufakchali kameralarda, ayniqsa suyuqvodorodli pufakchali kameralarda mavjud. Bu kamera yordamida ishchi suyuqliq zichligining kichikligi tufayli zarracha impulsini yuqori aniqlikda o'lchash va massa va zaryadlari bo'yicha identifikatsiya qilish mumkin. Bularning hammasi ikkilamchi barcha zarralarni bir-biriga solishtirib o'rganish imkoniyatini beradi.

Yadro fragmentatsisi muommolarini echishning effektiv usullaridan biri bo'lib, to'liq geometriya sharoitida engil fragmentlarning (p , d , t , ^3He va ^4He) hosil bo'lish jarayonini tadqiq qilish hisoblanadi. Buni quydagicha tushuntirish mumkin. Birinchidan, engil zarralarning chiqish ehtimoliyatlarini (kesimi) to'qnashuvning to'liq kesimiga nisbatan aniqlash mumkin. Ikkinchidan, fragmentlarning asosiy qismi dastlabki to'qnashuv jarayonida hosil bo'lib, to'qnashuv dinamikasi haqida axbarot olish mumkin.

Bugungi kunda yuqori va past energiyali og'ir va engil yadrolarning nuklonlar va yadrolar bilan bo'ladigan to'qnashuvlarida hosil bo'ladigan fragmentlarning xususiyatlari ko'plab tajribalarda va nazariy ishlarda o'rganilgan. Nuklon-yadro va yadro-yadro to'qnashuvlarida hosil bo'luvchi fragmentlar bo'yicha juda ko'plab ma'lumotlar to'plangan.

Fragmentlar haqidagi dastlabki ma'lumotlarning katta qismi radioximik usullar bilan olingan. Og'ir ionlar tezlatgichlari ishga tushirilgandan keyin fragmentlarni aniq o'rganish bo'yicha tadqiqotlar boshlandi. Mukammallashgan qayd qilgichlardan foydalanish natijasida radioximik usullar boyitildi va keyinchalik bular ko'p sonli zarralarni sanagichlar bilan almashtirildi. Fragmentlarning hosil bo'lish jarayoni protonlar oqimidan og'ir ionlar oqimiga o'tganda hech qanday o'zgarmaydi. Asosiy farq-og'ir fragmentlarning xususiyatlarini o'rganish imkoniyatidir. Nishon yadrosining bo'linishidan hosil bo'lgan fragmentlar nishon moddasida sekinlashadi va to'xtab qoladi, tez harakat qiluvchi snaryad fragmentlarini esa spektrometrlar yordamida o'rganilishi mumkin. Hisob sistemasini laboratoriya sistemasidan snaryadning tinchlikdagi sistemasiga burish imkoniyati (antilaboratoriya sistemi) $A < 60$ yadrolarning fragmentatsiyalari bo'yicha tajribalar qilishga olib keladi.

Bugungi kunda adron-yadro va yadro-yadro to'qnashuvlaridagi fragmentatsiya va multifragmentatsiya hodisalari haqida juda katta hajmdagi muhim tajriba natijalari mavjud, jumladan yadrolarning fragmentlashuv jarayoni ketma-ketlik xarakteriga ega. Fragmentlar tarkibiga yadro α -klasterli tuzulishining ta'siri tajribada tasdiqlangan, va tajriba natijalarini nazariy hisob-kitoblarning yozib beraolmasligi ko'rsatilgan.

Bitiruv malakaviy ishining maqsadi birlamchi impulsdagi 3.25 A GeV/c bo'lgan kislorod-16 yadrosining protonlar bilan bo'ladigan to'qnashuvlarida fragmentlarning hosil bo'lish jarayonlarini tadqiq qilish hisoblanadi.

Bitiruv malakaviy ishining 1-bo'limida tajribaviy uslubiyat masalalari va tajriba natijalariga ishlov berish keltirilgan: tajribaviy

qurilma va yadro dastasi xarakteristikalarini; «voqealarni» tanlash va analiz (taxlil) qilish, tajribada to'qnashishlarni o'rganish uchun olingan plyonkalarni qarash va o'lchash, matematik taminot hamda ikkilamchi zarralarni ajratib identifikatsiya qilish masalalari qarab chiqilgan. masalalari batafsil yoritilgan.

II-bo'limda impulsleri 3.25 A GeV/c bo'lgan ^{16}O -ta'sirlashuvlarida kislorod yadrosining bo'linishida turli xil kanallardan massa soni $A_f \leq 3$ bo'lgan engil fragmentlarni ajratish, engil yadrolarining hosil bo'lish o'rtacha ko'pligi va inklyuziv kesimi masalalari to'liq bayon qilingan.

1-BOB. TAJRIBA USLUBIYATI

Bitiruv malakaviy ishida Birlashgan yadro tadqiqotlari institutining yuqori energiyalar fizikasi laboratoriyasi (LVE OIYaI)da 1 metrlik vodorod kamerasidan olingan tajribaviy natijalardan foydalanildi.

Kameraga tushayotgan relyativistik kislorodlarning har bir nukloniga to'g'ri keluvchi impuls $3.25 \pm 0,05 \text{ GeV/c}$ ga teng. Ushbu zarralar oqimi LVE OIYaI sinxrofazotronida olingan.

Malumki, pufakchali kamera boshqa kameralarga nisbatan bir qator ustunliklarga ega. Masalan: ikkilamchi to'qnashuv maqsulotlarini qayd qilish va to'qnashuv jarayonini 4π geometriyasida to'g'ridan to'g'ri kuzatish.

Ikkinchidan, pufakchali kameralarda nishonning aniq bir sirti bilan tasirlashuvini registratsiya qilinadi.

Uchinchidan, pufakchali kameralarda kerakli aniqlikda neytral zarralar ham registratsiya bo'ladi (gamma-kvantlar, neytral g'alati zarralar $\Lambda^0 \bar{\Lambda}^0$, $\bar{K}^0 \Sigma^0$, va neytronlar).

Ikkilamchi zarralarning impulslari va uchib chiqish burchaklari etarlicha aniqlikda o'lchanadi.

Ushbu ishda tajriba ma'lumotlarini olish uchun 1 metrlik vodorod kamerasidan foydalanilgan. 1 metrlik vodorod kamerasi bian bog'liq bo'lgan uslubiy masalalarni qarab chiqamiz.

1.1. Pufakchali vodorod kamerasing asosiy xarakteristikalar

1 metrlik pufakchalik vodorod kamerasi 3.25 A GeV/c impulsli relyativistik kislorodlar oqimi bilan birlashgan yadro tadqiqotlari instituti, yuqori energiyalar fizikasi sinxrofazatroni yordamida nurlantirildi.

Tezlashtirilayotgan birlamchi kislorod yadrosi oqimi ichida boshqa yadrolarning (^{12}C , ^{14}N) ulushi 15% ni tashkil qiladi. Kamera magnit maydoniga joylashtirilgan bo'lib, magnit maydoni kuchlanganligi $H \approx 18.5$ kGauss ni tashkil qiladi. Kuchlanganlikning vertikal tashkil etuvchisi H_z bir jinsli bo'lmaganligi uchun kuchlanganlikning uchta komponentalari H_x , H_y , H_z qiymatlari o'lchandi. Ishchi suyuqliqning (vodorodniki) zichligi $\rho = (0.0584 \pm 0.0001) \text{ g/cm}^3$ ga teng.

Vodorod kamerasing (VPK-100) ishchi hajmi 4 ta fotokamera yordamida su'ratga olindi. Bu kameralarning optik o'qlari bir-biriga parallel joylashgan bo'lib, rasmga tushirish bazislari VPK-100 ning ko'ndalang yo'nalishi bo'yicha 500 mm ni bo'ylama yo'nalishi bo'yicha 310 mm ni tashkil qiladi. VPK-100 ning rasmga oluvchi hajmi $960 \times 360 \times 295 \text{ mm}^3$ ni tashkil qiladi.

1.2. Stereofotografiyalarni qayta ishlash uslubiyati

Stereograflar 10 marta kattalashtirib beradigan proektsion stollar yordamida eng kamida 3 martadan qarab chiqildi. Birinchi va ikkinchi qarashlar bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda amalga oshirildi; uchinchi, hal qiluvchi qarashda dastlabki ikkala qarashlarning natijalari bir-biriga solishtirildi, va asosiy e'tibor birinchi va ikkinchi qarashlarda bir-biridan farq qiluvchilarga qaratildi.

Tarkibida hosil bo'luvchi ikkilamchi zaryadli zarralar soni $n_{ch} \geq 3$ dan katta bo'lgan voqealar uchun ikki marta qarash effektivligi 100% ga yaqin bo'ldi. Ikki zarachali voqealar uchun 90% ni tashkil qiladi.

1.3. Voqealarni qarash, ajratish va o'lchash

VPK-100 da olingan stereofotografiyalarni qarash elektr zaryadi saqlanishini (ikkilamchi zarralar zaryadlari yig'indisi 9 ga teng bo'lishi kerak) hisobga olgan holda amalga oshirildi. Har bir to'qnashuvlar uchun ikkilamchi larralarning to'liq soni, V^0 -larralar soni, Dalittsa juftligi soni, musbat bir zaryadli zarralar soni va zaryadlari $8 \geq Z \geq 2$ bo'lgan birlamchi yadro fragmentlari soni aniqlandi.

“Voqealarni” tanlab olishda, har bir qayd etilgan birlamchi “yulduzda” quyidagi xarakteristikalar aniqlandi:

n_- - manfiy zaryadli zarralar soni, identifikatsiyalangan elektronlardan tashqari;

n_+ - musbat zaryadli zarralar soni, identifikatsiyalangan proton va pozitronlardan tashqari;

n_r - identifikatsiyalangan protonlarning $20 \leq R \leq 1200$ MeV/c intervalidagi soni.

Identifikatsiyalash – kamera moddasi ichidagi erkin yugurish yo'li bo'yicha, ionizatsiya bo'yicha va δ - elektronlar bo'yicha, protondagi protonlarning minimal uzunligi 3mm, bu esa impuls bo'yicha proton uchun 140 MeV/c; $n_{\pm q}$, n_Q , n_r – ikkilamchi zaryadlangan zarralar “ko'pligi”.

n_r - identifikatsiyalangan protonlar soni, lekin $\Theta_{lob} > 90^0$, yani orqaga qaytgan protonlar soni;

n_γ - [γ -kvantlar soni, ular $e^+ e^-$ - juftlik hosil qiladi.]

n_v^0 - neytral “g’alati” zarralarning parchalanishini vizual kuzatilgan soni;

n_N - birlamchi to’qnashuvda hosil bo’lgan ikkilamchi “yulduzcha” lar soni, ular neytral adronlar tufayli hosil bo’ladi.

Hamma topilgan “yulduzchalar” to’qnashuv turiga qarab; n_- , n_+ , n_r , n_r^v va ular ΣQ_i zaryadiga qarab, barion soni va energiya impulsiga qarab identifikatsiyalanadi.

Qarashdan keyin ajratib olingan voqealarni o’lchash EHMLarga birdaniga chiqishga moslashtirilgan yarimavtomatli qurilma-PIK (qarash o’lchash qurilmasi) lar yordamida amalga oshirildi. O’lchashlarning matematik qayta ishlashi to’qnashuvlar geometriyasini hisobga olib tuzilgan maxsus modifikatsiya qilingan dastur asosida amalga oshirildi.

Ilgari ishlatilib kelingan, sinovdan o’tgan maxsus ishlab chiqilgan matematik qayta ishlash protsedurasi mahsulotidan: ZINPUT-GEOMOP-CLPHOP-PASPORT-COLLDS-DSTWRTOP dan foydalanildi. Bu erda qarashda olingan ma’lumotlar, dastlabki metodik taqsimotlar, xatolar ro’yxati va boshqa parametrlar hisobga olinadi.

Bu dastur “voqeani” fazoda aynan tiklab beradi va ikkilamchi zarralar parametrlarini aniqlaydi, shuningdek v^0 - zarra va γ - kvantlarni kinematik ishlab beradi. Zarralarning traektoriyasini geometrik tiklash ikkita proektsiyada koordinatalarni (nuqtalarni) o’lchash natijalariga ko’ra olindi.

O’lchangan treklar uchun quyidagi parametrlar aniqlandi. r -laboratoriya sistemasida zarra impulsi, $\text{tg}\alpha$ - burchak tangensi, yani iz yo’nalishi va XOY tekislik o’rtasidagi burchak, β -azimutal

burchak, OX o'qi bilan tasir nuqtasida o'tkazilgan iz proektsiyasi o'rtasidagi burchak. Zarra impulsi magnit maydonida izning egriligidan hisoblanadi va albatta ionizatsion va radiatsion yo'qotishlar hisobiga olinadi. Hamma qiymatlar boshlang'ich, birlamchi yaqinlashish hisoblanadi.

r , β , va $tg\alpha$ parametrlarning optimal qiymatlari minimizatsiyalash yo'li bilan topiladi

$$\chi^2 = \sum_{ij}^N (y_{\alpha i} - y_i) \cdot G_{il}^{-1} (y_{\alpha j} - y_j) \quad \text{bunda } u_{ei} \text{ va } u_{ej} - \text{o'lchangan,}$$

u_j va u_i - izlanayotgan parametrlar qiymati; G_{ij}^{-1} - matritsa, o'z ichiga o'lchash xatoligi, kulon sochilishi, ionizatsion yo'qotishlar, tormozlanish nurlanishi fluktuatsiyasi va magnit maydoni nobirjinsligi kabi parametrlarni oladi, N - o'lchangan nuqtalar soni. Alohida bir trekni o'lchash sifatida χ^2_{xu} va χ^2_z funktsionallari qiymatiga bog'liq bo'ladi. Birinchisi χ^2_{xu} - r va β ning optimal qiymatlarini hisoblashdagi aniqlikni xarakterlaydi, χ^2_z bo'lsa $tg\alpha$ - ning anikliqdagi aniqligi. Yaxshi o'lchash natijalarini olish uchun χ^2 qiymatlar bo'yicha ikkilamchi zarralar treklari taqsimoti olindi. Bu hisob-kitoblar asosida χ^2_{xu} , $\chi^2_z \leq 3,5$ deb tanlab olindi. Ularning o'rtacha qiymatlari esa

$$\langle \chi^2_{xu} \rangle = 0,96 \pm 0,02 \quad \langle \chi^2_z \rangle = 1,29 \pm 0,02$$

aslida, nazariy jihatdan $\langle \chi^2 \rangle = 1$ bo'lishi kerak edi. Yuqoridagi kriteriylarga mos keluvchi treklar uchun impuls va uchib chiqish burchaklari xatoliklari hisoblandi.

Protonlar va π^+ -mezonlar uchun taqsimotlar $p \leq 1.25$ GeV/c impulslar uchun olindi. Hamma manfiy zaryadga ega bo'lgan zarralar π^- -mezonlar deb hisoblandi, chunki, birlamchi $p_0 \leq 3.25$ A

GeV/c impulslarda K^- -mezonlar va proton-antiproton juftliklar paydo bo'lishini hisobga olmaslik mumkin.

1.4. Ikkilamchi zaryadli zarralar va fragmentlarni kinematik xarakteristikalarini o'lchashdagi xatoliklar

Impuls va uning xatoliklarini hisobga olishda quyidagilar hisobga olindi: treklarda o'lchangan nuqtalarning chetlanishi, magnit maydoni qiymatlaridagi noaniqliqlar, hamda zarralarning ko'pkarrali sochilishidan paydo bo'lgan xatoliklar.

1.1-jadval. VPK 100 da ikkilamchi fragmentlar impuls va burchaklarini o'lchashlikdagi xatoliklar.

Fragmenlar zaryadi	$\langle \Delta p/p \rangle$, %	$\langle \Delta \beta \rangle$, mrad	$\langle \Delta \alpha \rangle$, mrad
$Z = 1$ (birzaryadli musbat zarracha)	2.48 ± 0.01	0.60 ± 0.01	1.57 ± 0.02
$Z \geq 2$	3.34 ± 0.01	0.56 ± 0.01	1.50 ± 0.02

Ma'lumki, ikkilamchi zarralarnig impulsleri va uchib chiqish burchagidagi xatoliklar yuqorida ko'rsatilgan sabablardan tashqari ulchanayotgan treklar proektsiyalari uzunliklari, bu zarralar impulsleri, hamda zaryadlaridan alohida bog'liq. Bu ¹⁶Or-ta'sirlashuvlarida fragmentlar xarakteristikalarini o'rganishda alohida muhimdir. Bu omil fragmentlar xarakteristikalarini tahlil qilishda hisobga olinadi. Bir metrli kameraning ishchi hajmida uzunliklari $L > 40$ sm bo'lgan treklarning o'lchash xatoliklari zaryadlarning hamma qiymatlarida 3.5 % (1.1-jadvalga qarang) dan

oshmaydi va fragmentlar zaryadlari ishonchli identifikatsiya qilinadi.

Identifikatsiya qilingan protonlar (asosan turtki protonlar), π^+ va π^- -mezonlar uchun xudi shunday xarakteristikalar 2.2-jadvalda keltirilgan.

1.2-jadval. VPK 100 da ikkilamchi protonlar va π^+ - mezonlar impuls va burchaklarini o'lchashlikdagi xatoliklar.

Zarralar tipii	$\langle \Delta p/p \rangle$, %	$\langle \Delta \beta \rangle$, mrad	$\langle \Delta \alpha \rangle$, mrad
R	4.56 $\pm$ 0.01	5.74 $\pm$ 0.01	7.00 $\pm$ 0.02
π^+	2.62 $\pm$ 0.07	4.04 $\pm$ 0.12	5.25 $\pm$ 0.50
π^-	2.64 $\pm$ 0.06	4.32 $\pm$ 0.09	5.94 $\pm$ 0.13

1.5. Tajriba ma'lumotlari

Relyativistik kislarod yadrolarining fragmentatsiyalari bo'yicha ma'lumotlar impulsleri 3.25 A GeV/c bo'lgan kislorod-16 yadrosining protonlar bilan bo'ladigan to'qnashuvlarida fragmentlarning hosil bo'lish jarayonlarini o'rganish natijasida olingan. 1 metrlik pufakchalik vodorod kamerasi 3.25 A GeV/c impulsli relyativistik kislorodlar oqimi bilan birlashgan yadro tadqiqotlari instituti, yuqori energiyalar fizikasi (LVE OIYaI) sinxrofazotroni yordamida nurlantirildi. Ishdagi tajriba ma'lumotlari noelastik 11 ming ^{16}O p – to'qnashuvlari asosida olindi.

Voqealarni o'lchash O'R FA "Quyosh fizikasi" ishlab chiqarish birlashmasi Fizika-texnika instituti "Ko'plamchilik jarayonlari laboratoriyasi"da amalga oshirildi. ¹⁶Or – to'qnashuvlarida fazoviy koordinatalarni tiklash, ikkilamchi zaryadli zarralar kinematik xarakteristikalarini aniqlash, metodik qarash va yig'indi natijalar tasmasini olish bo'yicha hamma ishlar "Ko'plamchilik jarayonlari laboratoriyasi"da qilindi.

Magistrlik ishida olingan natijalar Jizzax davlat pedagogika institutida Pentium-IV personal kompyuteri yordamida amalga oshirildi.

Tajriba sharoitlari hamma ikkilamchi zarralar zaryadlari va fragmentlarni identifikatsiya qilish imkoniyatini beradi. Bir metrli kameraning ishchi hajmida uzunliklari $L > 35$ sm bo'lgan treklarning o'lchash xatoliklari zaryadlarning hamma qiymatlarida 3.5 % dan oshmaydi va fragmentlar zaryadlari ishonchli identifikatsiya qilinadi. Burchaklarni o'lchash xatoliklari $\Delta\theta \leq 0.1^\circ$ dan katta emas va bu $z_f \leq 4$ zaryadli fragmentlarni massalari bo'yicha ajratishga etarli darajada imkoniyat yaratadi.

Fragmentlarni massalari bo'yicha ajratib olish impuls va zaryadlarini o'lchash orqali amalga oshirildi. Rassmatrivalis fragmento' s izmerennoy dlinoy treka Trek uzunligi $L > 35$ sm bo'lgan fragmentlar ajratib o'rganildi, bu uzunlikdagi fragmentlarni massalari bo'yicha yaxshi ajratib kinematik xarakteristikalarini ishonchli o'rganish mumkin. Bir va ikki zaryadli fragmentlarning impulslari bo'yicha taqsimotlarini qaraganda $p = 1.25$ GeV/c da aniq pikni ko'rish mumkin, bu vodorod va geliy yadrosi izatoplariga mos keladi.

Fragmentlarni massa bo'yicha ajratish uchun quyidagi impuls bo'yicha natijaviy oraliqlar tanlandi. Agar bir zaryadli fragmentlar

impulsi $p = (1.75 - 4.75) \text{ GeV/c}$ bo'lsa, ular ^1H , $p = (4.75 - 7.8) \text{ GeV/c}$ bo'lsa - ^2H va $p > 7.8 \text{ GeV/c}$ bo'lsa - ^3H ; ikkizaryadli fragmentlar $p < 10.8 \text{ GeV/c}$ bo'lsa, ular ^3He , $p > 10.8 \text{ GeV/c}$ da ^4He ; zaryadlar soni 6 va impulslari $p = (36.5 - 44.0) \text{ GeV/c}$ bo'lgan fragmentlar ^{12}C deb hisoblandi. Fragmentlarni impulslar bo'yicha bunday ajratib o'rganish, massalari bir-biriga yaqin bo'lgan izotoplarning bir-biriga aralashishi 4 - 5 % dan oshmasligini ko'rsatadi.

Azimutal va chuqurlik burchaklarini o'lchashlikdagi absolyut xatoliklar mos ravishda $\langle \beta \rangle = (0.60 \pm 0.01) \text{ mrad}$ va $\langle \alpha \rangle = (1.50 \pm 0.02) \text{ mrad}$ ni tashkil qiladi.

II-BOB. ^3H VA ^3He YaDROLARINING HOSIL BO'LISH O'RTACHA KO'PLIGI

2.1. Yadrolarning hosil bo'lishi.

Yuqori energiyali adronlar va yadrolarning yadrolar bilan to'qnashuvlarini tadqiq qilishdagi asosiy muammolardan biri yadrolarning parchalanish mexanizmlarini aniqlashdan iborat. Yadrolar parchalanishi mexanizmlarini o'rganish kuchli o'zarota'sir dinamikasi haqida, yadrolar strukturalari to'g'risida, hamda yadro materiyasining holatlari tenglamalarini aniqlashga imkon beradi. Parchalanish hodisasi o'tgan asr 40-yillarining oxirida kosmik nurlar ustida olib borilgan tajribalar asosida ochilishiga qaramay, ushbu hodisani nazariy va tajribaviy tadqiqot qilish 25 yillardan keyin, ya'ni og'ir ionlar tezlatgichlari ishga tushgandan so'ng yanada keng taraqqiy qildi.

Hozirgi paytda adron va yadrolarning yadrolar bilan to'qnashuvi keng energetik (0.5–160) A GeV oraliqda hamda birlamchi yadrolarning vodoroddan qo'rg'oshinga qadar diapazonlarida tadqiq qilingan. Bu tajribalarning asosiy qismi yadroviy fotoemulsiyalarda bajarilgan bo'lib, ular adronlarning kvark-parton tuzilishiga asoslangan hozirgi zamon modellarining yadrolarda «suyuq-gaz» ko'rinishidagi fazoviy o'tish to'g'risidagi bashoratlarini tekshirishga bag'ishlangan. Ikkinchi tomondan, yadroviy fotoemulsiya usulida katta statistik material to'plash qiyinligi va ko'pnuklonli parchalarning massalarini aniqlash muammosi tufayli ushbu tajribalarda asosiy e'tibor bir zaryadli zarralarning har xil tavsiflarini markaziy sohada, nishon sohasida hamda uchuvchi yadro sohasida o'rganishga qaratildi. Elektronik uslub yordamida alohida olingan yadrolar va ularning izotoplari

uchun inklyuziv tavsiflar to'g'risida qator tajribaviy natijalar mavjud, holbuki jismoniy burchakning juda torligi yadro parchalanishi haqidagi foydali axborotlar imkoniyatini anchagina cheklaydi. Bir so'z bilan aytganda, ushbu tajribalarda ham, yadroviy fotoemulsiya yordamida olib borilgan tajribalarda ham yadrolar parchalanishini ko'plamchi zarralar tug'ilishi jarayonlari bilan birgalikda tadqiq qilish imkoniyati yo'q edi.

Hozirgi paytda adronlar va yadrolarning yadrolar bilan yuqori energiyalardagi to'qnashuvlarini tavsiflashga bag'ishlangan ko'plab yarimmikroskopik va fenomenologik nazariy modellar mavjud. Afsuski ularning hech biri yadrolarning parchalanishi bo'yicha olingan tajribaviy natijalar majmuasini miqdoriy jihatdan tavsiflay olmaydi. Bunga sabab tajribaviy axborotlarning kamligi, ularning ma'lum bir tizimga keltirilmaganligi va eng asosiysi, ushbu jarayonning murakkab va ko'p pog'onali xususiyatga egaligidir.

Yuqorida keltirilgan muammolardan kelib chiqib yadrolar parchalanishini katta statistik materiallarda, ko'plamchi zarralar tug'ilishi jarayonlari bilan birgalikda, jami ikkilamchi zarralarni va parchalarni massa va zaryad jihatidan aniqlash va to'liq geometriya sharoitida tadqiq qilish imkonini beruvchi usul yordamida o'rganish katta qiziqish uyg'otadi. Bularning hammasi pirovard natijada yadrolar parchalanish mexanizmlarini aniqlashga va ularning ko'plamchi zarralar tug'ilish mexanizmlari bilan o'zaro bog'liqligi yoki bog'liq emasligi to'g'risida keng axborot olishga imkon beradi. Bu esa yuqori energiyalarda adronlar va yadrolarning yadrolar bilan to'qnashuvida vujudga keluvchi o'zaro kuchli ta'sir haqidagi bizning tushunish doiramizni yanada kengaytiradi.

Ishning maqsadi 3.25 A GeV/c impulsli kislorod yadrolarining protonlar bilan o'zarota'sirlarida parchalanishini kompleks tadqiq qilish hamda fragmentlar hosil bo'lish mexanizmlarini aniqlashdan iborat.

Qo'yilgan maqsadga erishi uchun quyidagi vazifalar amalga oshirildi:

- 3.25 A GeV/c impulsli kislorod yadrolarining protonlar bilan to'qnashuvlari bo'yicha yangi statistik material – voqealar sonini 2500 taga ko'paytirish va umumiy statistikani 13500 taga etkazish;
- 3.25 A GeV/c impulsli ^{16}O -to'qnashuvlarida hosil bo'luvchi massa sonlari $A=2$ va 3 ga teng bo'lgan engil yadrolar tug'ulishi qonuniyatlarini tadqiq qilish va tug'ilish mexanizmlarini aniqlash;
- 3.25 A GeV/c impulsli ^{16}O -to'qnashuvlarida fragmentlar hosil bo'lishining asosiy mexanizmlari va qonuniyatlarini o'rganish, geliy-4 yadrosi hosil bo'lishida noturg'un ^8Be va ^9B yadrolarining hamda uyg'otilgan uglerod-12 yadrolarining hissalarini hisoblash imkonini beruvchi fenomenologik modellarni yaratish;
- 3.25 A GeV/c impulsli ^{16}O -to'qnashuvlarida zaryadi 1 dan 8 gacha bo'lgan turg'un va noturg'un izotoplarning tug'ilish ko'ndalang kesimlarini aniqlash;

2.2. Massa soni $A_f \leq 3$ bo'lgan engil fragmentlarni ajratish

Yengil fragmentlarni ajratish o'ziga xos bo'lgan tajribaviy muammolarga ega.

Ilk bor to'la geometrik sharoitda 3.25 A GeV/c impulsli ^{16}O -to'qnashuvlarda deytron, ^3H va ^3He «oynaviy» yadrolarning

inklyuziv hosil bo'lishlari tadqiq qilindi. Ularning kislorod yadrosi tinch holat sistemasidagi impuls taqsimotining $0.40 < p < 0.55$ GeV/c soha-sida «elka» kuzatildi va bu holatni kaskad nuklonlarining birlashuv mexanizmi, nisbatan tezkor engil parchalarning emirilishi va, yoinki ularni proton-nishonning kislorod yadrosidan to'g'ridan to'g'ri kvazielastik urib chiqarishi bilan bog'lash mumkin. Birlashuv (koalestsentsii) modeli engil yadrolar – ^2H , ^3H va ^3He energetik spektrini $T > 75$ MeV kinetik energiya sohasida muvaffaqiyatli tavsiflaydi. Ushbu yadrolarning burchak taqsimotlari tahlili asosida emiriluvchi yadro-qoldiq-ning burchak momentiga egaligi ko'rsatildi.

Ilk marotaba 3.25 A GeV/c dagi ^{16}O -to'qnashuvlarda ^3H i ^3He «oynaviy» yadrolar o'xshash fizik sharoitlarda hosil bo'lishi va bunda proton-nishon va dastlabki yadro orasida kechuvchi zaryad almashinuv jarayonlari hech qanday ta'sir etmasligi ko'rsatildi.

To'liq geometriya sharoitida 3.25 A GeV/c dagi ^{16}O -to'qnashuvlari-da geliy-4 yadrolari hosil bo'lishi tadqiq qilindi, noturg'un ^5Li , ^8Be , ^9B yadrolar va uyg'otilgan $^{12}\text{S}^*$ yadrolarining α -zarrachalar inklyuziv ko'nda-lang kesimiga qo'shgan hissalarini aniqlandi. Tez ($T \geq 120$ MeV) α -zarra-chalarning energetik taqsimotini birlashuv modeli qoniqarli tavsiflashi ko'rsatildi.

3.25 A GeV/c impulsli ^{16}O -to'qnashuvlarida ilk bor zaryadi 1dan 8gacha bo'lgan turg'un va noturg'un izotoplarning ko'ndalang kesimlari topildi. Massa sonlari asosiy massa soni ($A=2Z$) dan $\Delta A=q1$ ga farq qiluvchi turg'un va noturg'un izotoplar ko'ndalang kesimlari bir-biriga tengligi ko'rsatildi. Ushbu qonuniyatning o'ta periferik to'qnashuvlarda hosil bo'luvchi ^{15}N va ^{15}O izotoplari uchun ham bajarilishi kuzatildi.

3.25 A GeV/c impulsli ^{16}O -to'qnashuvlarida uyg'otilgan $^{12}\text{S}^*$ yadrolari emirilishining 3ta α -zarrachalar hosil bo'lish kanaliga qo'shgan hisssasi 30 foizligi ilk bor ko'rsatildi. Ushbu kanalning qolgan 70 foizi bevosita fermi-emirilish yoki kuchsiz bog'langan 3ta α -zarrachali qoldiqdan bitta α -klasterni kvazielastik urib chiqarilishi nati-jasida hosil bo'lishi mumkinligi to'g'risida xulosa qilindi.

Kaskadli parchalanish va bug'lanish modeli engil yadrolar – ^2N , ^3H va ^3He hosil bo'lishi to'g'risidagi tajriba ma'lumotlari (ko'plamchilik, impuls taqsimotlari va ko'plamchilikning boshqa turdagi parchalar chiqishi bilan o'zaro bog'liqligi)ni tavsiflay olmaydi. Engil parchalar hosil bo'lishining realistik kartinasini yaratish uchun yuqori energiyali adron-yadro to'qnashuvlarida bug'lanish mexanizmini (hatto engil yadro ^{16}O uchun ham), kaskadli nuklonlarning birlashuv mexanizmini, hamda engil yadrolarning α -klasterli strukturasini hisobga olish kerakligi ko'rsatildi. Bundan tashqari parchlanuvchi yadroning burchak momentiga ega bo'lishligini hisobga olish zarurligi ta'kidlandi.

1 metrli vodorodli pufakchali kameraning asosiy tavsifi, birlamchi yadrolar dastasi hamda suratli axborotlar uslubi to'g'risida qiqacha ma'lumotlar keltirilgan. U erda 2 metrli propanli va 30 dyuymli vodorod-neonli pufakchali kameralarda olingan tajribaviy materiallarning qisqacha tavsifi ham keltirilgan.

Stereosuratlar taxminan kameralardagi haqiqiy o'lchamlarga yaqin tasvir beruvchi proektsiyalovchi stollarda qaraldi. Zaryadli zarrachalar soni $n_{\text{ch}} \geq 3$ bo'lgan «yulduzlar» uchun ko'ruv samaradorligi 100 foizga yaqin, ikki nurli «yulduzlar» uchun bu kattalik 90 foizni tashkil qildi.

Protonlar bilan π^+ -mezonlarni farqlash ko'ruv yordamida hamda ularning impulslarini e'tiborga olgan holda amalga oshirildi:

DTPK-500 uchun impuls chegarasi $r < 750 \text{ MeV/c}$, VPK-100 va NVPK-30 – $r < 1.25 \text{ GeV/c}$.

Hodisalarni o'lchash EHMga bevosita ulangan yarim avtomatik qurilmalarda amalga oshirildi.

Protonlarning impulslarini o'lchashlardagi o'rtacha nisbiy xatoliklar DTPK-500 uchun $(5.0 \pm 0.3)\%$ va NVPK-30 uchun $(5.4 \pm 0.3)\%$ ga teng.

VPK-100 ishchi hajmida izlarining proektsiyalari uzunligi $L > 40 \text{ sm}$ bo'lgan parchalar uchun impulsni o'lchashdagi o'rtacha nisbiy xatolik barcha parchalar va zarrachalar uchun 3.5% dan oshmadi va bu parchalarning zaryadini va massasini ($A \leq 9$ izotoplar uchun) juda ishonchli aniqlash imkonini berdi. Parchalarning XOY tekisligidagi azimutal burchagini o'lchashdagi o'rtacha mutlaq xatolik $\langle \Delta\beta \rangle = (0.60 \pm 0.01) \text{ mrad}$ ga teng chiqdi, chuqurlik burchagini o'lchashdagi o'rtacha mutlaq xatolik – $\langle \Delta\alpha \rangle = (1.50 \pm 0.02) \text{ mrad}$.

O'lchangan hodisalarning birlamchi impuls va turlar bo'yicha statistikasi 1-jadvalda keltirilgan.

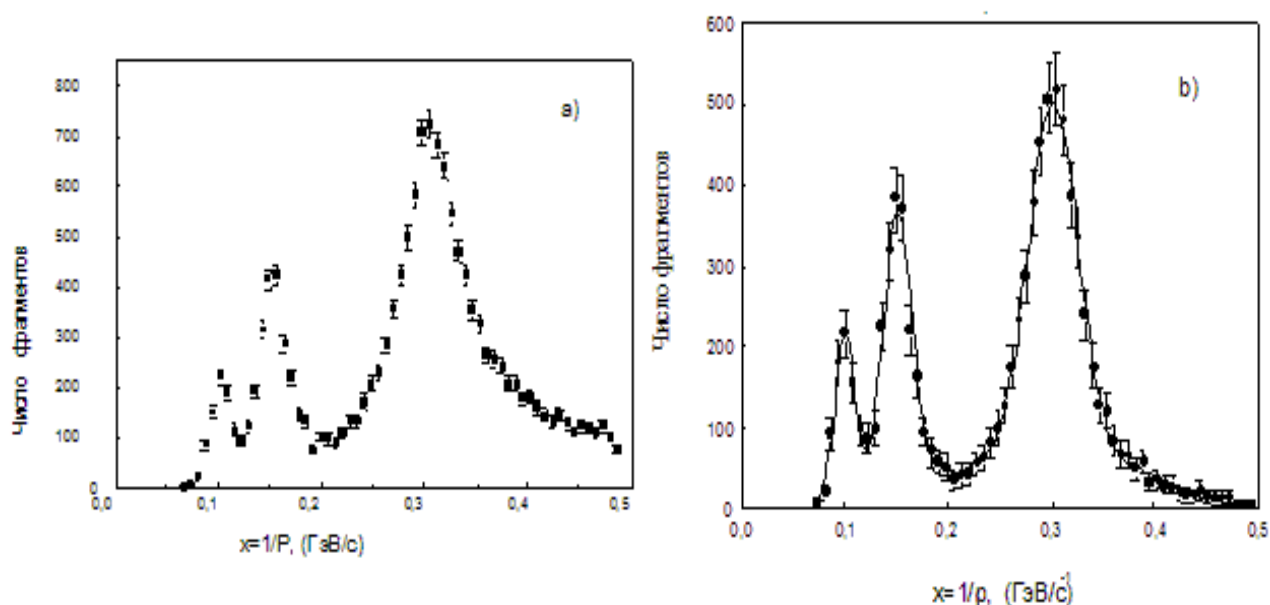
Shuni ta'kidlash lozimki, ko'rilayotgan hodisalardan barcha elastik va kogerent voqealar chiqarib tashlangan. 2.1-jadvalda bir zaryadli fragmentlarning ulushi keltirilgan.

2.1-jadval

^{16}O -ta'sirlashuvlarida birzaryadli va ikkizaryadli (% da)
izotoplarning chiqishi

Fragment zaryadi,	A, izotopning massa soni	W, izotop chiqish	Statistik chetlanish, ΔW
	^1H	67.7	
1	^2H	22.9	0.6
	^3H	9.4	
	^3He	19.8	
2	^4He	79.7	0.9
	^6He	<0.5	

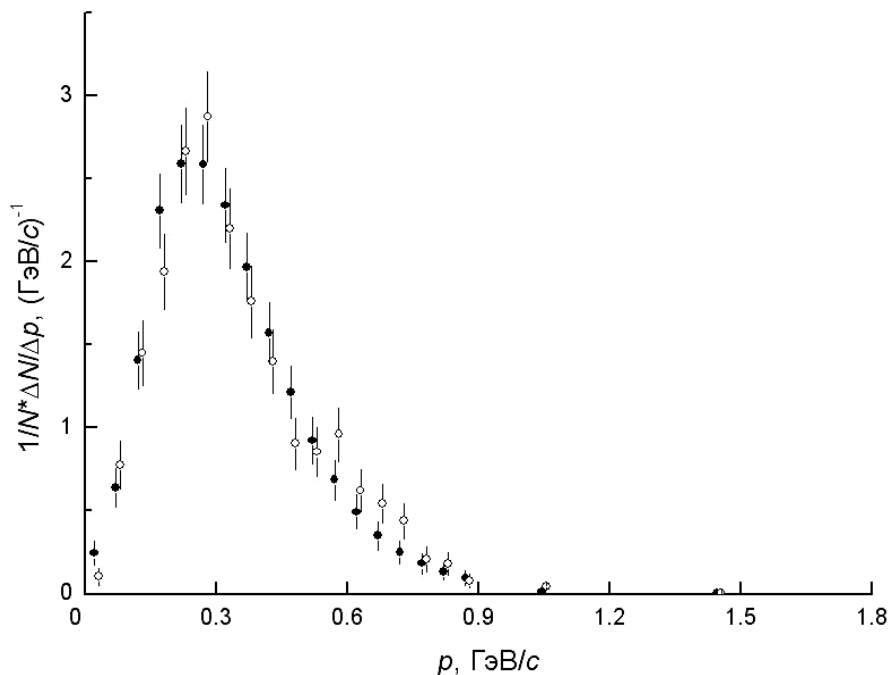
Spektrdan ko'rinib turiptiki, turli xil massali izotoplar yaxshi ajraladi.



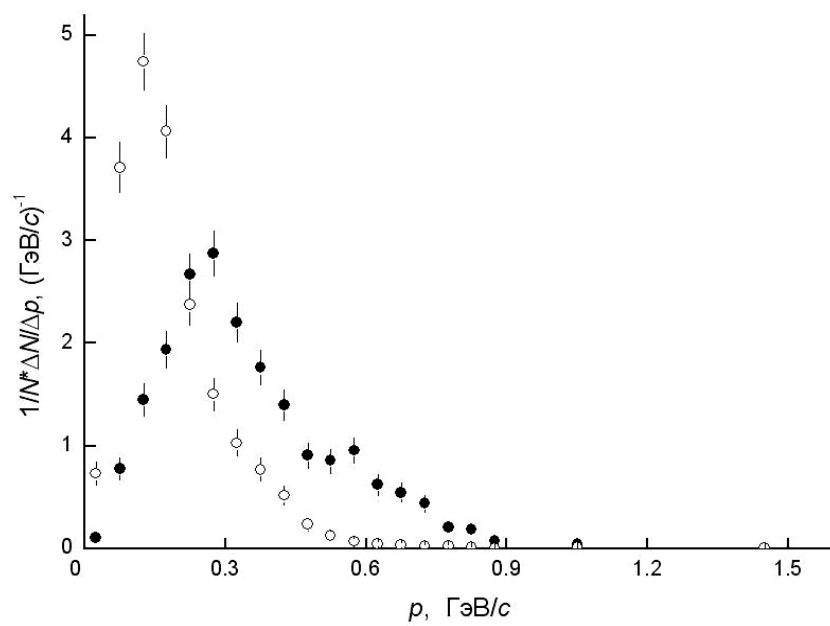
2.1-rasm. $x=1/p$ bo'yicha bir zaryadli musbat zarralar taqsimoti; a) barcha zarralar uchun; б) $\theta < 3.56^\circ$ zarralar uchun, $P_\perp(p) < 200 \text{ МэВ/c}$ ga mos keladi. Chiziqlar –Gauss funktsiasi yig'indilari bo'yicha taqsimot natigalari.

2.3. ^3He yadrolarining hosil bo'lish asoslari

Yadro massasining va α -klasterli strukturaning reaksiya xususiyatiga ta'sirini tahlil qilish maqsadida ^{16}Op - va ^4Hep -to'qnashuvlarida ^3H yadrolarining impuls taqsimotlarini qiyosiy o'rganish impuls taqsimotlari ikkala parchalanuvchi yadrolar uchun bir-biridan katta farq qilishi kuzatildi. Ma'lumki, ^4Hep -to'qnashuvlarida ^3H yadrolari hosil bo'lishining asosiy mexanizmi proton-nishon tomonidan ^4H yadrosidan bita protonni urib chiqarishdan yoki perferik to'qnashuv natijasida yadroning bita protonni «bug'lanish» asosida chiqarib yuborishidan iborat, boshqacha qilib aytganda ushbu yadrolar periferik ^4Her -to'qnashuvlarida hosil bo'ladi. ^{16}Op -o'zarota'sirlarida hosil bo'lgan ^3H yadrolar impuls taqsimotining ^4Hep -to'qnashuvlaridagiga nisbatan ancha kenligini ^{16}Or -o'zarota'sirlarida bunday yadrolar hosil bo'lish mexanizmlarining ko'pligi bilan izohlash mumkin.



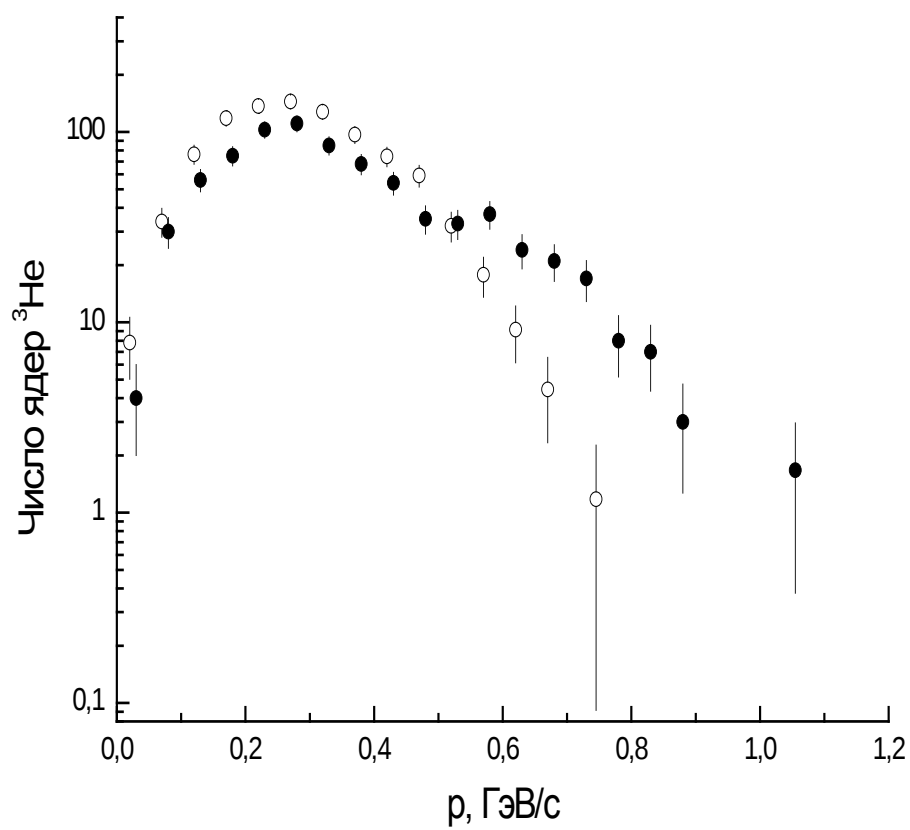
2.2-расм. ^{16}Op -to'qnashuvlarida ^3H (○) va ^3He (●) yadrolarining antilaboratoriya sanoq sistemasidagi impuls taqsimotlar



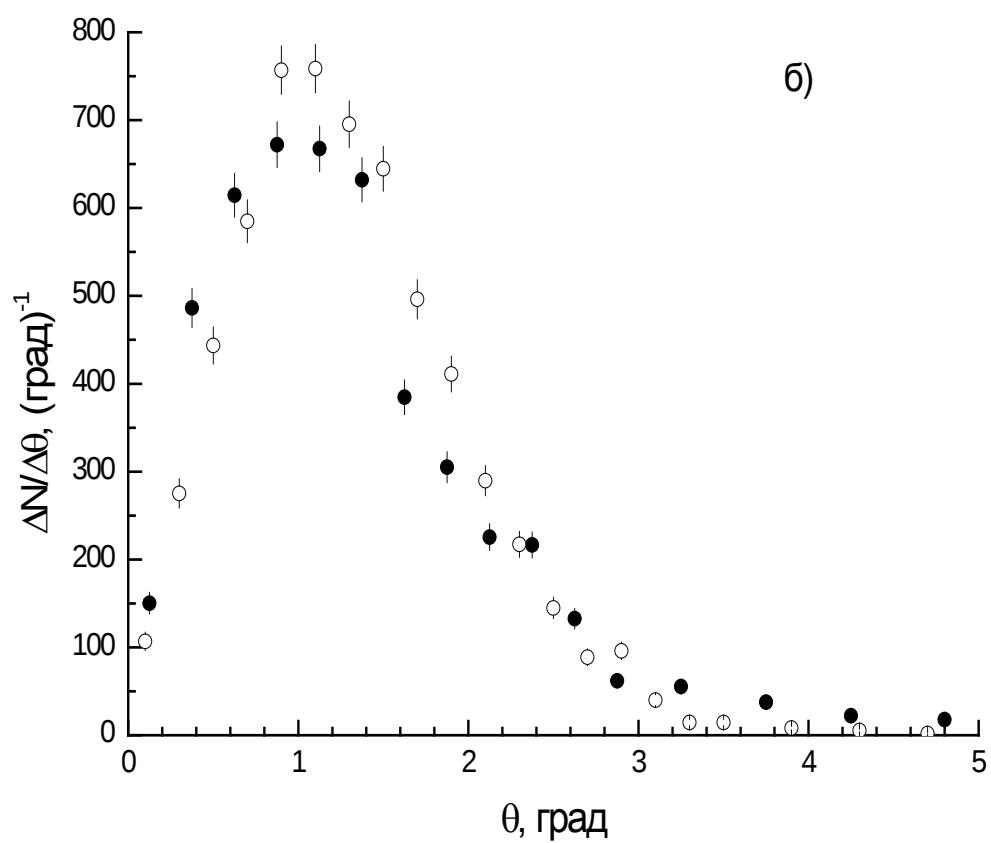
2.3-rasm. ^3H yadrolarining ^{16}Op (●)- va ^4Hep (○)-to'qnashuvlarida antilaboratoriya sanoq sistemasidagi impuls taqsimotlari

Kaskadli nuklonlar birikishi mexanizmi hamda dastlabki yadro α -klasteridan bitta nuklonni urib chiqarish mexanizmining tritiy yadrolari hosil bo'lishidagi hissasini aniklash uchun kinetik energiyalari $T > 70$ MeV bo'lgan tritiylarning ^{16}Op - va ^4Ner -to'qnashuv-laridagi ulushlarini aniqladik. Ular mos ravishda $(9.01 \pm 0.74)\%$ va $(0.61 \pm 0.04)\%$ teng ekan. ^4Hep -to'qnashuvlarida nuklonlar birikishi sodir bo'lmasligini hisobga olsak, bu ulushlar orasidagi farq ^{16}Op -to'q-nashuvlarida kaskadli nuklonlar birikishidan hosil bo'lgan tritiylarning hissasini ko'rsatadi. Ko'rinib turibdiki, ^{16}Op -to'qnashuvlari-da tez yadrolar asosan kaskadli nuklonlar birikishidan hosil bo'lar ekan.

^3H va ^3He yadrolarining burchak taqsimotlari tahlili shuni ko'rsatdiki, ular deyarli bir xil shaklga ega bo'lib, o'rtacha chiqish burchaklari ham statistik xatoliklar chegarasida bir-biriga tengdir: $\langle \theta(^3\text{He}) \rangle = (1.39 \pm 0.05)^\circ$; $\langle \theta(^3\text{H}) \rangle = (1.44 \pm 0.05)^\circ$. Impuls bo'yicha va burchak bo'yicha taqsimotlarning bir xilligidan ular ko'ndalang impulslarining ham aynan bir xilligi kelib chiqadi.



2.4-rasm. ${}^3\text{He}$ yadrolarining l.k.c.masida impul's bo'icha KFIM ($\circ$) va tagribada olingan ($\bullet$) taqsimotlari



2.5-rasm. ^3He yadrolarining l.k.c.masida burchak bo'icha KFIM ($\circ$) va tagribada olingan ($\bullet$) taqsimotlari

XULOSA

3.25 A GeV/c impulsli kislorod yadrolarining protonlar bilan o'zarota'sirlarda emirilish jarayonlarida hosil bo'luvchi parchalarning ko'pgina xarakteristikalarini tizimli ravishda tahlil qilindi va hamma parchalarning chiqish ko'ndalang kesimlari aniqlandi va ular hosil bo'lishining asosiy mexanizmlari va xususiyatlari topildi.

Kislorod yadrosining tinch holat sanoq sistemasida deytronlar impuls taqsimotining $0.40 < p < 0.55$ GeV/c sohasida ilk bor «elka» kuzatilib, uning nisbatan tez parchalarning emirilishi, kaskadli nuklonlarning birikish mexanizmi va deytronlarni proton-nishon tomonidan kislorod yadrosidan bevosita urib chiqarilishi tufayli hosil bo'lishi mumkinligi to'g'risida xulosa qilindi.

Parchalarning o'rtacha soni hodisalarda engil yadrolar – ^2H , ^3H va ^3He borligiga bog'liq, lekin ularning hosil bo'lish mexanizmlari bir-biriga bog'liq emas.

Birikish modeli engil yadrolar – ^2H , ^3H va ^3He energetik taqsimotlarini $T > 75$ MeV/c sohalarda muvaffaqiyatli tavsiflaydi.

Ikki va uchnuklonli parchalar burchak taqsimotlarining tahlili parchalanuvchi yadro burchak momentiga ega bo'lishini ko'rsatadi; ular hosil bo'lish ko'ndalang kesimlari chiqish burchagining kichik va katta qiymatlarida o'sish xususiyatini namoyish qiladi.

«Oynaviy» yadrolar – ^3H va ^3He hosil bo'lishi bir-biriga juda yaqin fizik sharoitlarda sodir bo'ladi, bunda proton-nishon va parchalanuvchi yadro orasidagi zaryad olmashtiruv jarayonlari hech qanday rol o'ynamaydi.

Engil parchalar hosil bo'lishi (ko'plamchilik, impuls taqsimotlari, har xil yadrolar va zarrachalar orasidagi bog'lanishlar) to'g'risidagi tajribaviy natijalarni KPBM tavsiflay olmaydi. Engil parchalar hosil bo'lishi to'g'risidagi real kartinani tavsiflash uchun modelda, «bug'lanish» mexanizmini (hatto engil ^{16}O yadrosi uchun ham) kaskadli nuklonlar birikishi mexanizmini va parchalanuvchi yadro α -klasterli strukturasini ham hisobga olish zarur. Bundan tashqari, parchalanuvchi yadroning burchak momentini ham hisobga olish kerak.

α -zarrachalar hosil bo'lishining barcha topolgik kanallari, ularning ko'plamchiligi tadqiq qilindi va ular hosil bo'lishining quyidagi qonuniyatlari topildi:

- kislorod yadrolarining ko'pparchalarga emirilish kanallari ichida ustivori geliy yadrolari hosil bo'ladigan topologiyalar bo'lib, bu yadrolarning asosiy qismi noturg'un yadrolar – ^5Li , ^8Be , ^9B va uyg'otilgan ^{12}C yadrolarining emirilishlari oqibatida sodir bo'ladi;

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. I. Karimov I. A. Barkamol avlod - O'zbekiston taraqqiyotining poydevori. – Toshkent. “Sharq” nashriyoti. 1997-yil.
2. Karimov I. A. “O'zbekiston buyuk kelajak sari”. – Toshkent. “O'zbekiston” nashriyoti. 1998-yil.
3. Karimov I .A. “Umumiy o'rta va o'rta maxsus, kasb hunar ta'limiga izchil o'tishni ta'minlashga doir qo'shimcha chora tadbirlar to'g'risida”. //O'zbekiston ovozi. 2003. 30 oktyabr.
4. T. Kobayashi et al., Electromagnetic dissociation and soft giant dipole resonance of the neutron-dripline nucleus ^{11}Li // Phys. Lett. B, 1989, v.232, p.51-55
5. Глаголев В.В., Гуламов К.Г., Липин В.Д., и др., Образование ядер гелия в кислород-протонных соударениях при релятивистских энергиях // ЯФ -1995 – т.58 – с.2005;
6. Гуламов К.Г., Липин В.Д., Лутпуллаев С.Л. и др., Изучение полного развала релятивистских ядер кислорода во взаимодействиях с протоном // ЯФ -1996 – т.59 – с.1042;
7. Глаголев В.В., Гуламов К.Г., Лутпуллаев С.Л. и др., Образование тяжёлого изотопа ядра гелия ^6He в ^{16}O -взаимодействиях при импульсе 3.25 ГэВ/с на нуклон // ЯФ – 1997 – т.60 – с.575;
8. Глаголев В.В., Гуламов К.Г., Кратенко М.Ю. и др., Изотопный состав фрагментов, образованных в ^{16}O -взаимодействиях при импульсе 3.25 ГэВ/с на нуклон // Письма в ЖЭТФ – 1993 – т.58 – с.497;

9. Глаголев В.В., Гуламов К.Г., Липин В.Д., и др., К вопросу о фрагментации релятивистских ядер кислорода во взаимодействиях с протоном // ЯФ – 2000 – т.63 – с.587;
10. В.В. Глаголев, К.Г. Гуламов, М.Ю. Кратенко и др., Выход зеркальных ядер ^3H , ^3He и ^7Li , ^7Be во взаимодействиях релятивистских ядер кислорода с протоном // Письма в ЖЭТФ 59, 316-319 (1994).
11. V.V. Glagolev, K.G. Gulamov, V.D. Lipin, S.L. Lutpullaev, K. Olimov Emission of Light Fragments in ^{16}O p Interactions at a Momentum of 3.25 GeV/c per Projectile Nucleon // ЯФ. 1999. Т.62. С.1388-1392.
12. Навотный В.Ш., Взаимодействия ядер кислорода, кремния и серы при релятивистских энергиях с ядерной фотоэмульсией, автореф. Дисс. Канд. Физмат наук – Ташкент: ФТИ НПО «Физика-Солнце». 1993. с.11-12
13. J.Hubele et al., Statistical fragmentation of Au projectiles at $E/A=600$ MeV, Phys. Rev. C46, R1577–R1581 (1992)
14. J.A.Manger et al., Dynamics of the Multifragmentation of 1A GeV Gold on Carbon, Phys. Rev. Lett. 77, 235–238 (1996)
15. Д. Перкинс, Введение в физику высоких энергий, М.- Энергоатомиздат, 1991; Donald Perkins, Introduction to high-energy physics, Addison-Wesley Co, Inc. 1987
16. Олимов К., Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук – Ташкент -1997

17. A.V. Belonogov, A.A. Belushkina, R. Vinaver et al., A liquid hydrogen bubble chamber of volume $950 \times 350 \times 300 \text{ mm}^3$ // Nucl. Instr. and Methods – 1963, №20, p114-115