Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիա
(Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ)

Ղանդիլյան Երանուհի Սերգոյի

Պրոտոն-հակապրոտոնային զույգի կոհերենտ ֆոտոծնումը դեյտերիումի թիրախի վրա CLAS-ում

Ա. 04.16. – “Միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական ճառագայթների ֆիզիկա” մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

ԵՐԵՎԱՆ 2016

НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИМ. А.И.АЛИХАНЯНА

(Ереванский физический институт)

Гандилян Ерануи Сергоевна

КОГЕРЕНТНОЕ ФОТОРОЖДЕНИЕ ПРОТОН-АНТИПРОТОННЫХ ПАР НА ДЕЙТЕРИЕВОЙ МИШЕНИ НА ДЕТЕКТОРЕ CLAS

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 “Физика ядра, элементарных частиц и космических лучей”

ЕРЕВАН 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային գիտական լաբորատորիայի (ԵրՖԻ)-ի գիտական խորհրդում:

Գիտական ղեկավար՝ Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու
Ս.Գ. Ստեփանյան
(Ջեֆֆերսոն լաբ., ԱՄՆ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Ի.Գ. Ազնաուրյան (ԵրՖի)
Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու
Հ.Կ. Եղիյան (Ջեֆֆերսոն լաբ., ԱՄՆ)

Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի Պետական Համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2016 թ. նոյեմբերի 22-ին, ժամը 14:00
Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային գիտական լաբորատորիայում (ԵրՖԻ) գործող ԲՈՀ-ի «Միջուկի և տարրական մասնիկների ֆիզիկա» 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում (Երևան-0036, Ալիխանյան Եղբայրների փ. 2)

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԱԱԳԼ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2016 թ. հոկտեմբերի 21-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝
Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր Դ.Ռ.Կարախանյան

Тема диссертации утверждена ученым советом Национальной Научной Лаборатории имени А.И.Алиханяна (ЕрФИ).

Научный руководитель: кандидат физ.-мат. наук
С.Г.Степанян (TJNAF, USA)

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук
И.Г. Азнаурян (ЕрФИ)
кандидат физ.-мат. наук
О.К. Егиян (TJNAF, USA)

Ведущая организация: Ереванский Государственный Университет

Защита состоится 22 ноября 2016 г. в 14 часов на заседании специализированного совета ВАК “Физика ядра и элементарных частиц” 024 Национальной Научной Лаборатории (ЕрФИ) имени А.И.Алиханяна (0036, г. Ереван, ул. Братьев Алиханян 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННЛА
Автореферат разослан 21 октября 2016 г.
Ученый секретарь специализированного совета,
доктор физико-математических наук Д.Р.Караханян

Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը

Աշխատանքը նվիրված է մեզոնային միջանկյալ վիճակների ուսումնասիրությանը, որոնք տրոհվում են $p\bar{p}$ բարիոնային զույգի: Ռեակցիան լրիվ էքսկլյուզիվ է, և իրականացվել է դեյտրոնի վրա կոհերենտ ֆոտոծնման միջոցով: Աշխատանքում մանրամասն նկարագրված է մասնիկների նույնականացման մեթոդը: Դիտարկված են հետևյալ ֆոնային ռեակցիաները՝ $\gamma d \to \pi^+\pi^- d'$, $\gamma d \to K^+K^- d'$ և որպես դեյտրոնի ճշգրիտ նույնականացման ստուգում՝ $\gamma d \to pp\pi^-$: Այս վերջին ռեակցիայի դեպքում պահպանվում է լրիվ էքսկլյուզիվությունը, սակայն խախտվում է կոհերենտությունը: Աշխատանքում բերված են $p\bar{p}$ զույգի, ինչպես նաև $\pi^+\pi^-$ և K^+K^- զույգերի կոհերենտ ֆոտոծնման ելքերը:

Թեմայի արդիականությունը

$p\bar{p}$ բարիոնային զույգի տրոհվող մեզոնային վիճակները ուսումնասիրվում են դեռ անցյալ դարի 60, 70-ական թվականներից: Մի շարք խմբերի կողմից իրականացված գիտափորձերի արդյունքների հիման վրա ստացվեցին վկայություններ այդ վիճակների գոյության մասին: Այդ գիտափորձերն իրականացվել են՝ CERN-ի Omega սպեկտրոմետրի վրա [2], Բրուկհավենի ազգային լաբորատորիայում (Brookhaven National Laboratory) [1], Կորնելի համալսարանի էլեկտրոնային սինքրոտրոնի վրա (Cornell University Electron Synchrotron) [3], իսկ վերջերս նաև Belle (2002) [4] և BES (2003) [5] խմբերը հայտարարեցին հնարավոր նեղ վիճակների գոյության մասին, որոնք տրոհվում են $p\bar{p}$ զույգի:

2004-2005թթ TJNAF(Thomas Jefferson National Accelerator Facility) ազգային գիտական լաբորատորիայի CEBAF (Continuous Electron Beam Accelerator Facility) [6] գծային արագացուցչի վրա իրականացված CLAS/eg3 գիտափորձում ստացված տվյալները բավականին հարմար էին ուսումնասիրելու նման վիճակները, քանի որ CLAS/eg3 գիտափորձում թիրախը դեյտրոն էր, ինչը կոհերենտ ծնման դեպքում ունի մեծ առավելություն ջրածնային թիրախի նկատմամբ, ծնման մեխանիզմի հետ կապված անորոշությունները վերացնելու հարցում: Այս դեպքում մեզոնների ծնումը կատարվում է միայն t-կանալով:

Բացի այդ, ուսումնասիրություն անցկացնելու համար, բավականին շատ էր նմանատիպ դեպքերի քանակը՝ ապահովելով փոքր վիճակագրական սխալներով չափման հնարավորություն:

Աշխատանքի նպատակը

Այս ուսումնասիրության հիմնական շարժառիթ է հանդիսացել տարբեր խմբերի կողմից 2.02 ԳԷվ և 2.2 ԳԷվ տիրույթներում $\bar{p}p$ զույգի տրոհվող մեզոնների հնարավոր գոյության մասին տեսական կանխատեսումները, ինչպես նաև փորձարարական տվյալներից ստացված արդյունքները: Աշխատանքի նպատակն էր TJNAF լաբորատորիայում իրականացված CLAS/eg3 գիտափորձի շրջանակներում ուսումնասիրել հադրոնային վիճակները, մասնավորապես նրանք, որոնք տրոհվում են պրոտոն-հակապրոտոնի: Այդ նպատակով պետք էր դիտարկել լրիվ էքսկլյուզիվ ցրումները դեյտերիումի թիրախից, ընկնող արգելակային ֆոտոնի մինչև 5.5 ԳԷվ էներգիայի տիրույթում: Այնուհետև ստացված տվյալներից առանձնացնել նրանք, որոնք բավարարում են հետևյալ պայմանին՝ ելքում ունենք երեք լիցքավորված մասնիկներ՝ 2 դրական և մեկ բացասական: Աշխատանքի բարդությունը կայանում էր նրանում, որ հնարավոր են մի քանի տրոհման կանալներ, որոնք կարող են սխալմամբ դիտարկվել որպես $p\bar{p}$, օրինակ՝ $\pi^+\pi^-$, K^+K^-: Աշխատանքում ներկայացված է բոլոր երեք կանալների մանրամասն ուսումնասիրության ընթացքը և ստացված արդյունքները: Վիրտուալ մոդելավորման միջոցով վերարտադրվել է գիտափորձը և հաշվարկվել տվյալ կանալների համար տրոհման հավանականությունները:

Կիրառական նշանակությունը

Հադրոնային ֆիզիկան ուսումնասիրելու հարցում շատ մեծ դեր է խաղում մեզոնային սպեկտրոսկոպիան: Այս բնագավառում չլուծված առեղծվածներից մեկը դա էկզոտիկայի բացակայությունն է, հատկապես թեթև քվարկների տիրույթում: Օրինակ, կան վիճակներ, որոնք չեն հանդիսանում բարոնային (3-քվարկային) կամ մեզոնային ($q\bar{q}$) վիճակներ, այլ ունեն, ակնհայտ գլյուոնային բաղադրիչ (վալենտական գլյուոն): Նմանատիպ վիճակները կանխատեսվել են քվանտային քրոմոդինամիկայի տարբեր մոդելներում, բայց հստակ չեն հայտնաբերվել գիտափորձերի ժամանակ:

Այս աշխատանքում ստացված արդյունքները կնպաստեն նոր մոդելների մշակմանը, որոնց միջոցով հնարավոր կլինի նկարագրելու էկզոտիկ և կարճ ապրող մեզոնների (ρ, ω, φ և այլն) կոհերենտ ծնման պրոցեսները:

Գիտական նորությունը

Մեզոնային վիճակների կոհերենտ ծնումը միջուկի վրա: Աշխատանքում առաջին անգամ տվյալների մեծ բազայի հիման վրա, բարձր էներգիաների տիրույթում ուսումնասիրվել են $p\bar{p}$, $\pi^+\pi^-$ և K^+K^- զույգերի կոհերենտ ֆոտոծնումը դեյտրոնի վրա: Ստացվել են դրանց ելքերը և դիֆերենցիալ կտրվածքները:

Պաշտպանության ներկայացվող արդյունքները

Մեզոնային վիճակների ուսումնասիրությունը, տրոհման կեղծ կանալների բացառման աշխատանքները, մասնիկների նույնականացման գործընթացը, սույն աշխատանքում չափված, ինչպես նաև GEANT վիրտուալ փորձարարական սարքավորման թվային մոդելի միջոցով գեներացված լրիվ էքսկլյուզիվ $\gamma d \to dp\bar{p}$, $\gamma d \to d\pi^+\pi^-$ և $\gamma d \to dK^+K^-$ ռեակցիաների ելքերը և կտրվածքի կախվածությունը $p\bar{p}$, $\pi^+\pi^-$, K^+K^- զույգերի ինվարիանտ զանգվածներից, փոխանցված իմպուլսից և ցրման θ անկյունից:

Ատենախոսության կառուցվածքը

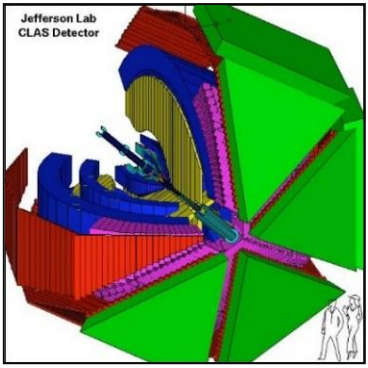
Աշխատանքը կազմված է ներածությունից, 5 գլուխներից, ամփոփումից, հավելվածից և հղումների ցանկից:

Աշխատանքի բովանդակությունը

Ներածություն բաժնում հակիրճ ներկայացված են տեղեկություններ բնության մեջ առկա հիմնարար ուժերի, տարրական մասնիկների դասակարգումների, մասնավորապես հադրոնների ֆիզիկական բնութագրերի մասին: Այս բաժինն իր մեջ ներառում է նաև ներկայացված աշխատանքի հիմնական նպատակը:

Առաջին գլուխն իր մեջ ներառում է պատմական ակնարկ նախորդ գիտափորձերից, որոնք նվիրված էին մեզոնային վիճակների ուսումնասիրությանը, ինվարիանտ զանգվածի 2.02 ԳԷվ և 2.2 ԳԷվ տիրույթում: Բերված է, այդ խմբերի կողմից և սույն աշխատանքում ստացված արդյունքների համեմատումը:

Երկրորդ գլուխն ամփոփում է **TJNAF** ազգային գիտական լաբորատորիայում գործող CEBAF գծային արագացուցչի սխեման և հիմնական բնութագրերը, 3՝ Hall-A,B,C (նորակառույց Hall-D-ն բացառված) փորձարարական սրահների աշխատանքային ռեժիմի համառոտ նկարագրությունը:
Նկ.1-ում պատկերված է Գիտափորձի ընթացքում ցրված մասնիկները գրանցվել են **CLAS** (**C**EBAF **L**arge **A**cceptance **S**pectrometer) դետեկտորում, որը գտնվում է Hall-B փորձարարական սրահում (Նկ.1):



Նկար 1. CLAS դետեկտորը:

CLAS դետեկտորն իրենից ներկայացնում է մագնիսական սպեկտրոմետր, որն ունի մոտ 4π մարմնային անկյուն և գրեթե ամբողջությամբ ծածկում է փնջի նկատմամբ 8^0-ից մինչև 142^0 ցրման անկյունային տիրույթը:

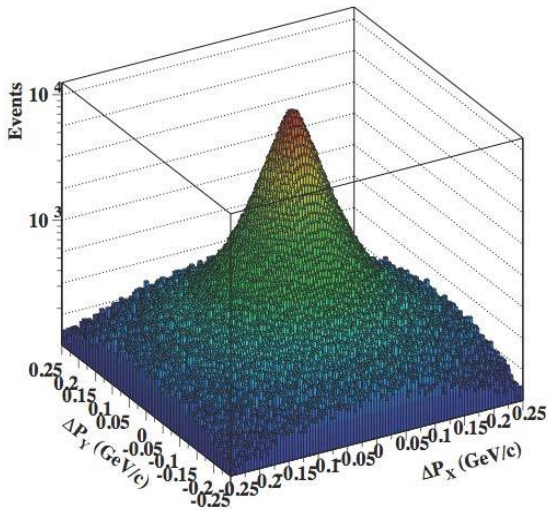
Դետեկտորը բաղկացած է 6 միանման մագնիսական սպեկտրոմետր-սեկտորներից, որոնց թիրախը և տվյալների հավաքագրման համակարգն ընդհանուր է: CLAS-ում մասնիկների գրանցման համակարգը բաղկացած է հետևյալ ենթահամակարգերից՝

- լիցքավորված տարրական մասնիկների հետագծավորման համար անհրաժեշտ գրանցիչից (Drift Chamber) [7],
- մասնիկների նույնականացման, մասնավորապես էլեկտրոնները պիոններից տարբերակելու համար կիրառվող բարձր շեմային չերենկովյան հաշվիչներից [8],
- թիրախից դեպի սցինտիլյացիոն հաշվիչներ մասնիկների թռիչքի ժամանակը և սցինտիլյատորներում մասնիկի կորցրած էներգիան չափող համակարգից (Scintillation Counters) [9],
- հեղեղ տվող մասնիկներ (e^-, γ) և նեյտրոններ գրանցող էլեկտրամագնիսական կալորիմետրից [10]:

Երրորդ գլխում ներկայացված է CLAS/eg3 գիտափորձը [11]: Այն իրականացվել է 2004-2005թթ, **TJNAF** ազգային գիտական լաբորատորիայի CEBAF (**C**ontinuous **E**lectron **B**eam **A**ccelerator **F**acility) գծային արագացուցիչի **CLAS** դետեկտորի վրա: Նշված գիտափորձում կիրառվել են մինչև 5.76 ԳԷվ արագացված էլեկտրոններ՝ արգելակային ֆոտոններ ստանալու համար: Մինչև 5.5 ԳԷվ էներգիայով օժտված արգելակային ճառագայթման ֆոտոնների փունջն ընկել է 40 սմ երկարությամբ և 4 սմ տրամագծով գլանաձև, հեղուկ դեյտերիումով լցված թիրախի վրա, որը տեղադրված է եղել CLAS-ի պայմանական կենտրոնից 50 սմ առաջ՝ փնջի առանցքի ուղղությամբ: Էլեկտրոնային փնջի հոսանքը եղել է 30 նԱ: Գիտափորձի ընթացքում CLAS-ի

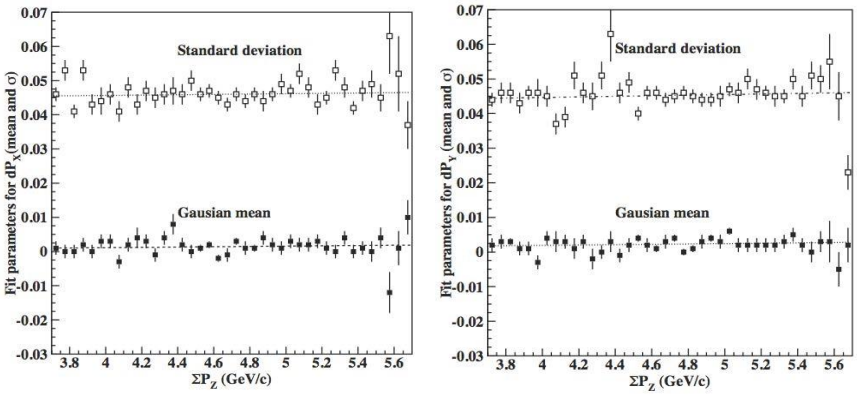
տորոիդալ մագնիսների դաշտն այնպիսին է եղել, որ բացասական լիցքավորված մասնիկները հեռացրել է փնջի առանցքից: Տրիգերային համակարգն աշխատել է այն դեպքերում, երբ CLAS-ում գրանցվել են երեք լիցքավորված մասնիկներ և փորձարարական B-սրահի ֆոտոնների նիշավորման հոդոսկոպում՝ >4.5 ԳԷվ էներգիայով օժտված նվազագույնը մեկ նիշավոր (tagged) ֆոտոն: Գիտափորձի ընթացքում հավաքվել է 32 ՏԲ տվյալ, 4.2 մլրդ. ֆիզիկական դեպքեր:

Չորրորդ գլխում ներկայացված է բազմամասնիկային ելքով լրիվ էքսկլյուզիվ ռեակցիաների նույնականացման պրոցեսը: Տվյալների մշակման առաջին փուլում ընտրվել են այն դեպքերը, երբ վերջնական վիճակում առկա են մեկ բացասական և երկու դրական լիցքավորված մասնիկներ: Լրիվ էքսկլյուզիվ դեպքերն ընտրելիս, որպես չափանիշ կիրառվել է լիցքավորված մասնիկների ուղղահայաց և երկայնական իմպուլսների պահպանման օրենքը: Նկ.2-ում պատկերված է $\sum P_X^i$ կախվածությունը $\sum P_Y^i$-ից, որտեղ՝ P_X^i, P_Y^i համապատասխանաբար i-րդ մասնիկի եռաչափ իմպուլսի X, Y բաղադրիչներն են:



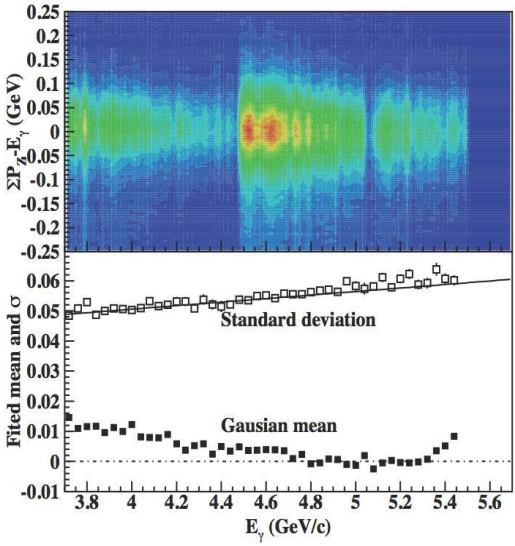
Նկար 2. Լրիվ էքսկլյուզիվ 3-մասնիկային վերջնական վիճակների ուղղահայաց իմպուլսի բաղադրիչների բաշխումը:

Նկ.3-ում պատկերված է իմպուլսի X, Y բաղադրիչների Գաուսի բաշխումով ֆիտի ստանդարտ շեղումը և միջինի արժեքները կախված $\sum P_Z^i$ -ից: Կիրառելով սահմանափակումներ $\sum P_X^i$ և $\sum P_Y^i$ վրա և օգտագործելով Գաուսի ֆունկցիայի պարամետրերը, ընտրվել են լրիվ էքսկլյուզիվ դեպքերը:



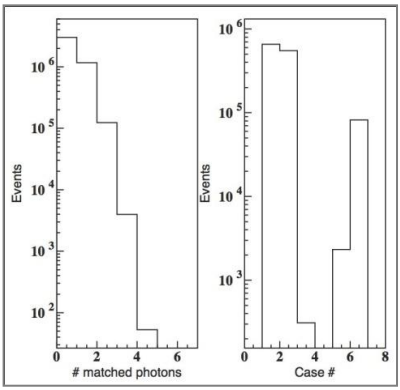
Նկար 3. $\sum P_X^i$ և $\sum P_Y^i$ իմպուլսի բաղադրիչների համար Գաուսյան ֆիտի միջինի և ստանդարտ շեղման պարամետրացումը կախված երկայնական իմպուլսից:

Դեպքերի նույնականացման հետագա գործընթացում կիրառվել է իմպուլսի պահպանման օրենքը՝ $\sum P_Z^i - E_\gamma$=0, որտեղ E_γ-ն ընկնող ֆոտոնի էներգիան է: Նկ.4-ում ներկայացված է $\sum P_Z^i - E_\gamma$ կախվածությունը ընկնող ֆոտոնի էներգիայից այն դեպքերի համար, երբ կիրառվել է ±3σ սահմանափակում իմպուլսի X,Y բաղադրիչների վրա: Նմանատիպ $\pm 3\sigma$ սահմանափակում է դրվել $\sum P_Z - E_\gamma$ տարբերության վրա: Քանի որ էներգիայի մեզ հետաքրքրող տիրույթը E_γ>4.5 ԳԷվ է, իսկ նկ.4-ի ստորին վահանակում պատկերված էներգիայի միջին արժեքից շեղումները փոքր են 0.01 ԳԷՎ-ից (<0.2%), ուստի $\pm 3\sigma$ սահմանափակում կիրառելիս էներգիայի կախվածությունը Գաուսյան միջինից անտեսվել է:



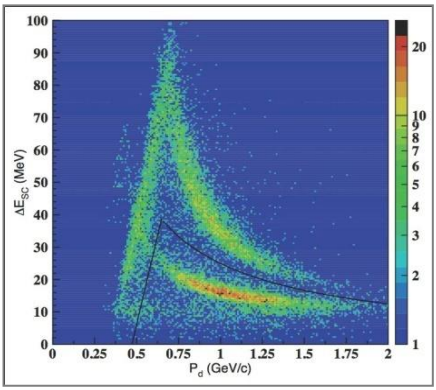
Նկար 4. Պատկերված է $dP_z = \sum P_Z^i - E_\gamma$ կախվածությունը E_γ-ից, իմպուլսի $\sum P_x^i$ և $\sum P_y^i$ բաղադրիչների վրա ±3σ սահմանափակում կիրառելուց հետո (վերևի պատկեր): Ստորին նկարում պատկերված հոծ գիծն ու կետագիծը Գաուսյան ֆիտի պարամետրերի (ստանդարտ շեղում և միջին արժեք) գծային ֆիտերն են, որպես ֆունկցիա Էներգիայից:

Այնուհետև, մնացած դեպքերից ընտրվել են նրանք, որոնք ունեցել են փորձարարական B-սրահի նիշավորման հոդոսկոպում գրանցված գոնե մեկ նիշավոր ֆոտոն: Նկ.5-ի ձախ վահանակում պատկերված է ֆոտոնների թիվը, այն դեպքերի համար, երբ $\sum P_Z - E_\gamma$ -ի վրա կիրառվել է $\pm 3\sigma$ սահմանափակում: Ինչպես երևում է, այն դեպքերի թիվը, երբ համընկնել են 3 կամ ավելի ֆոտոններ, կազմում է 1 և 2 ֆոտոններով բոլոր համընկնումների ընդհանուր թվի $< 0.5\%$: Հետագա մշակումներում այդ դեպքերն անտեսվել են: Այն դեպքերը, երբ համընկել են 2 ֆոտոններ, կազմում են 1 ֆոտոնի համընկնումների ընդհանուր դեպքերի 10%: Այնուամենայնիվ, ակնհայտ է, որ 2 ֆոտոնի համընկնումներով օգտակար դեպքերի քանակը չնչին է: Սա պատկերված է տրված Նկ.5-ի աջ վահանակում, որտեղ օգտակար դեպքերի քանակը 2 ֆոտոնի համընկնման դեպքում ցույց է տրված 3-րդ սյունակում:

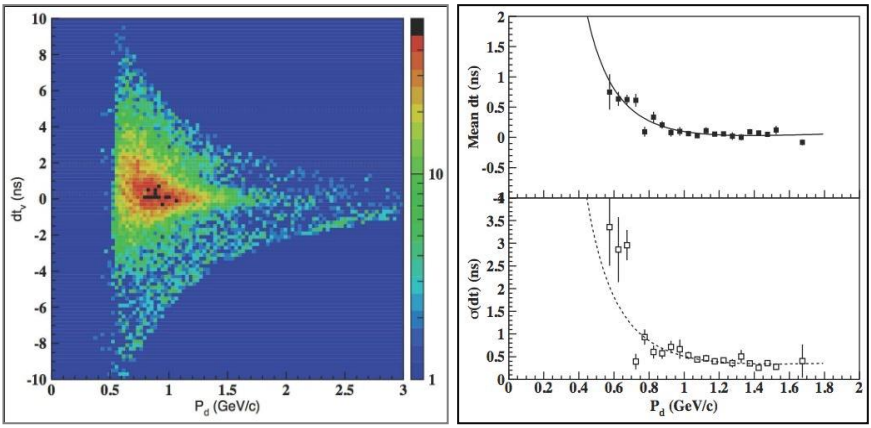


Նկար 5. $\sum P_Z^{\mu} - E_{\gamma}$ վրա դրված ±3σ պայմանին բավարարող գրանցված ֆոտոնների թիվը (ձախ) և համընկնող 1 կամ 2 ֆոտոնների համար ֆիզիկական դեպքերի թիվը (աջ):

Մասնիկների նույնականացման պրոցեսում դեյտրոնի թեկնածուներն ընտրելու համար կիրառվել են մի շարք սահմանափակումներ: Մասնավորապես, ոչ խիստ սահմանափակում զանգվածի քառակուսու, սցինտիլյացիոն հաշվիչներում էներգետիկ կորուստների, ինչպես նաև «գագաթի ժամանակի» (vertex time), այսինքն ծնման գագաթից մինչև սցինտիլյացիոն հաշվիչներ (SC) ընկած ժամանակահատվածի վրա (Նկ.6, 7):



Նկար 6. Սցինտիլյացիոն հաշվիչներում դեյտրոնի թեկնածուների համար էներգիայի կորուստների բաշխվածությունը կախված:



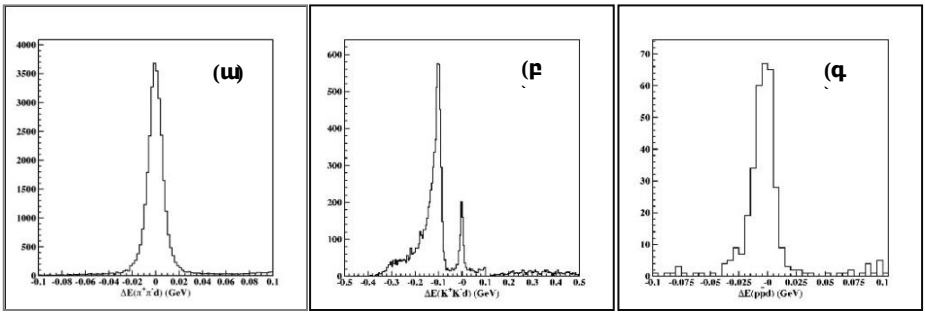
Նկար 7. (ձախից աջ) Դեյտրոնի թեկնածուների համար գագաթի ժամանակի բաշխվածությունը որպես ֆունկցիա իմպուլսից: Վերջինիս պարամետրացումը Գաուսյան ֆիտերի ստանդարտ շեղումով և միջինով:

$p\bar{p}$, $\pi^+\pi^-$, K^+K^- վերջնական վիճակների նույնականացման համար, որպես հիմնական կինեմատիկ սահմանափակում կիրառվել է էներգիայի պահմանման օրենքը: Ճշգրիտ նույնականացված յուրաքանչյուր դեպքի համար ըստ էներգիայի պահմանման օրենքի, վերջնական և սկզբնական վիճակների լրիվ էներգիաները պետք է լինեն հավասար.

$$\Delta E = \sum P_Z^i + m_d - \sum \sqrt{P_Z^{i^2} + M_i^2} \approx 0 \qquad (1)$$

որտեղ, m_d –ը թիրախի դեյտրոնի զանգվածն է, M_i –ն վերջնական վիճակի i-րդ մասնիկի զանգվածն է, իսկ P_Z^i-ը վերջնական վիճակի 3 մասնիկների իմպուլսի z-բաղադրիչն է: Էներգիաների ΔE տարբերությունը ստացվել է $dp\bar{p}$, $d\pi^+\pi^-$, dK^+K^- վերջնական վիճակների համար: ΔE≈0 պիկը համապատասխանում է ճշգրիտ վերջնական վիճակներին: Նկ.8 (ա, բ, գ)-ում պատկերված են համապատասխանաբար $d\pi^+\pi^-$, dK^+K^- և $dp\bar{p}$ վերջնական վիճակների ΔE բաշխվածությունները: Նկ.8-ի (ա) վահանակում հստակ պիկը համապատասխանում է $d\pi^+\pi^-$ վերջնական վիճակին, իսկ գրաֆիկի ստորին աջ հատվածում պիկի «պոչը» համապատասխանում է մասնիկների սխալ նույնականացմանը, որը հիմնականում գալիս է $\gamma d \to pp\pi^-$ ռեակցիայից: Նկ.8 (բ)-ի պիկը $\Delta E \approx -0.1$ ԳԷվ տիրույթում համապատասխանում է $d\pi^+\pi^-$ վերջնական վիճակներին, և այն հետևանք է զանգվածի քառակուսու վրա կիրառված ոչ խիստ

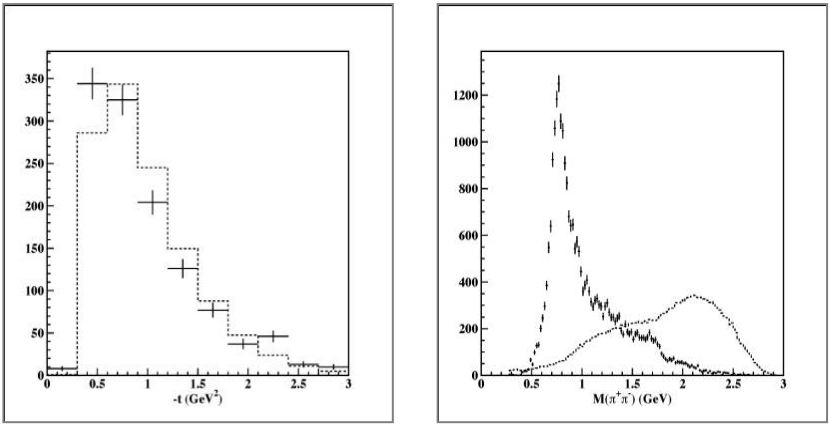
սահմանափակումների, որի ժամանակ dK^+K^- -ին համապատասխանող տիրույթը մասամբ ծածկվել է $d\pi^+\pi^-$ տիրույթով: Վերը նշված վերջնական ռեակցիաներն ընտրելու համար Նկ.8-ի բոլոր 3 բաշխվածությունների վրա կիրառվել է $\pm 3\sigma$ սահմանափակում ~ 0-ի պիկի շուրջը:



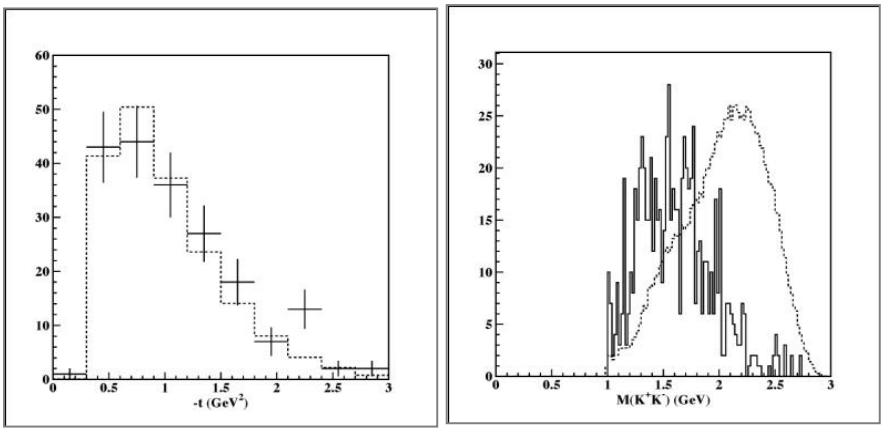
Նկար 8. Էներգիայի պահպանման օրենքի կիրառումը համապատասխանաբար $\pi^+\pi^-d$, K^+K^-d և $p\bar{p}d$ լրիվ էքսկլյուզիվ վերջնական վիճակների համար:

Այս գլխում ներկայացված են նաև GEANT Մոնտե-Կառլո թվային մոդելավորման միջոցով գեներացված լրիվ էքսկլյուզիվ $\gamma d \to \pi^+\pi^-d$, $\gamma d \to K^+K^-d$ և $\gamma d \to p\bar{p}d$ ռեակցիաների դեպքերի վերլուծության արդյունքները (CLAS-ի համար գրված GSIM, Geant մոդելավորման կոդ):

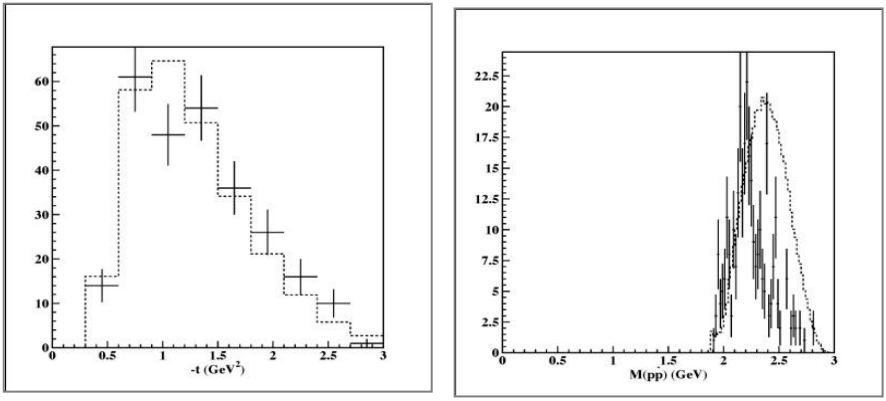
Ավելի քան 10 մլն. դեպքեր են գեներացվել վերոնշյալ ռեակցիաներից յուրաքանչյուրի համար: Այնուհետև օգտագործելով GPP (Geant Post Pocessor) և RECSIS (Reconstruction System) ծրագրերը և հաշվի առնելով գիտափորձի հստակ պայմանները, համապատասխանաբար վերականգնվել են դեպքերը: Նկ. 9, 10, 11-ում պատկերված են մոդելավորման և գիտափորձի արդյունքում ստացված t- փոխանցված քառաչափ իմպուլսի քառակուսու և ինվարիանտ զանգվածի կախվածությունների համեմատությունները համապատասխանաբար $\pi^+\pi^-$, K^+K^- և $p\bar{p}$ վերջնական վիճակների համար: Նկ.9, 10 և 11-ի աջ վահանակում պատկերված ինվարիանտ զանգվածների պիկերի տարբերությունները հետևանք են այն բանի, որ դեպքերի գեներացման ժամանակ ոչ մի հատուկ դինամիկա, ինչպես նաև ռեզոնանսներ կամ էներգիայի կախվածություն չի մտցվել, բացառությամբ փուլային տարածության և արգելակային փնջի էներգետիկ սպեկտրի:



Նկար 9. Գիտափորձի տվյալներով (կետերը սխալներով) և մոդելավորման միջոցով վերականգնված դեպքերով (կետերագծեր) ստացված t-ի և ինվարիանտ զանգվածի բաշխումների համեմատումը լրիվ էքսկլյուզիվ $\pi^+\pi^-d$ վերջնական վիճակների համար:

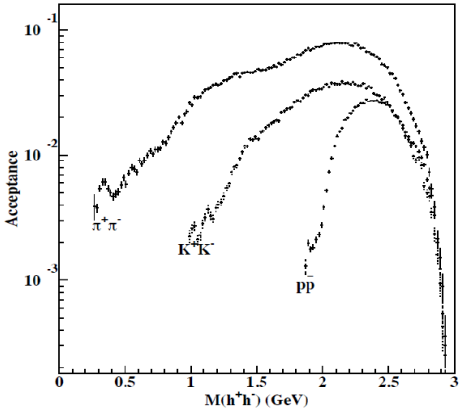


Նկար 10. Գիտափորձի տվյալներով (կետերը սխալներով) և մոդելավորման միջոցով վերականգնված դեպքերով (կետագծեր) ստացված t-ի և ինվարիանտ զանգվածի բաշխումների համեմատումը լրիվ էքսկլյուզիվ K^+K^-d վերջնական վիճակների համար:



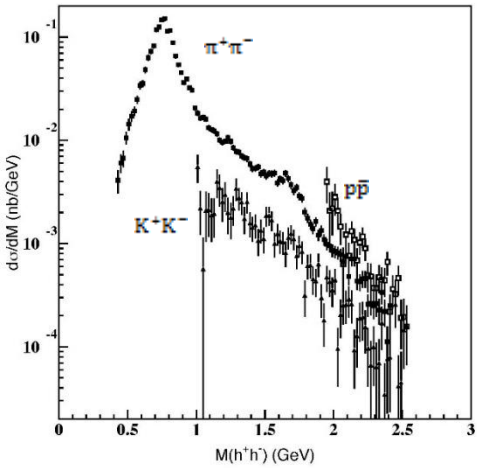
Նկար 11. Գիտափորձի տվյալներով (կետերը սխալներով) և մոդելավորման միջոցով վերականգնված դեպքերով (կետագծեր) ստացված t-ի և ինվարիանտ զանգվածի բաշխումների համեմատումը լրիվ էքսկլյուզիվ $p\bar{p}d$ վերջնական վիճակների համար:

Նկ.12-ում պատկերված է դետեկտորի գրանցման ընկալունակությունը կախված զույգերի ինվարիանտ զանգվածից: Տրված ինվարիանտ զանգվածի դեպքում, առավել թեթև մասնիկների զույգերի համար ընկալունակությունն ավելի մեծ է, քան ծանր մասնիկների համար ինչպես և ակնկալվում էր, քանի որ CLAS-ի առաջնային տիրույթում գրանցման ընկալունակությունը բավականին փոքր է:



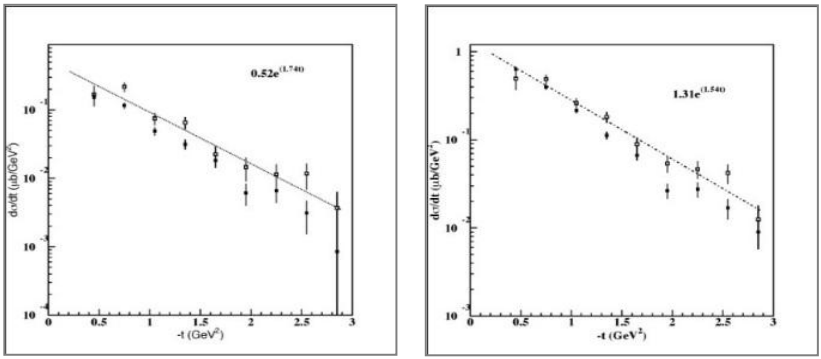
Նկար 12. Կոհերենտ երեք ռեակցիաների համար CLAS-ի ընկալունակությունը որպես ֆունկցիա զույգի ինվարիանտ զանգվածից:

Հինգերորդ գլխում ներկայացված են $\pi^+\pi^-$, K^+K^- և $p\bar{p}$ զույգերի՝ դեյտերիումի թիրախի վրա կոհերենտ ֆոտոծնման դիֆերենցիալ կտրվածքները, որպես ֆունկցիա զույգի ինվարիանտ զանգվածից՝ $M(h^+h^-)$, փոխանցված քառաչափ իմպուլսի քառակուսուց՝ t և զույգի զանգվածի կենտրոնի համակարգում դրական մասնիկի ցրման անկյունից՝ $\cos\theta_{CM}$: Վերոնշյալ յուրաքանչյուր կինեմատիկ փոփոխականի համար դիֆերենցիալ կտրվածքը որոշվել է որպես $\frac{d\sigma}{dx} = \frac{n_i}{L \cdot \epsilon_i} \cdot \eta$, որտեղ n_i-ն տրված նեղ տիրույթում դեպքերի թիվն է, ϵ_i-ն դետեկտորի ընկալունակությունն է, L-ը լուսատվությունն է, իսկ η-ն տրիգերային համակարգի ընկալունակության ուղղման գործակիցն է: Լուսատվությունը հաշվարկվել է տրված $4.5-5.5$ ԳԷվ էներգետիկ տիրույթում ընկնող գումարային ֆոտոնային N_γ հոսքի և թիրախի միավոր մակերեսի միջուկների թվի միջոցով՝ $L = \frac{N_\gamma \cdot \rho_D \cdot l_c \cdot N_A}{A}$: Այս աշխատանքի ընթացքում նկատվեց բավականին հետաքրքիր մի փաստ. ինվարիանտ զանգվածի 2 ԳԷվ-ից վերև ընկած տիրույթում, $p\bar{p}$ զույգերի ծնման հավանականությունը գրեթե նույնն է (նույնիսկ փոքր ինչ մեծ է) ինչ $\pi^+\pi^-$ զույգերի համար: Այս փաստը ևս ցույց է տրված Նկ.13-ում, որն իրենից ներկայացնում է $\frac{d\sigma}{dM}$ դիֆերենցիալ կտրվածքը որպես ֆունկցիա բոլոր երեք կոհերենտ կանալներով զույգերի ինվարիանտ զանգվածից:

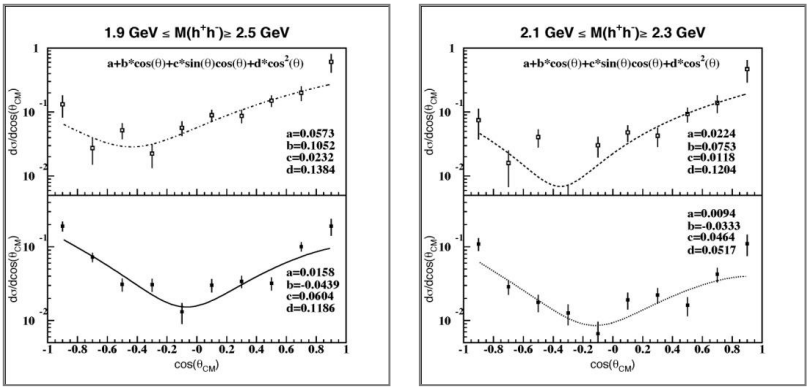


Նկար 13. Դեյտրոնի վրա $\pi^+\pi^-$, K^+K^- և $p\bar{p}$ զույգերի կոհերենտ ֆոտոծնման դիֆերենցիալ կտրվածքը կախված զույգի ինվարիանտ զանգվածից: Կտրվածքները ստացվել են ֆոտոնի 4.5-5.5 ԳԷվ էներգետիկ տիրույթի համար:

Այդ բաշխվածությունները բերված են Նկ.14 և Նկ.15-ում: Նկարների ձախ վահանակում պատկերված -t և $\cos\theta_{CM}$ կախվածությունները բերված են ինվարիանտ զանգվածի 1.9 ԳԷվ $< M <$ 2.5 ԳԷվ տիրույթի համար, իսկ աջ վահանակում՝ 2.2 ԳԷվ $< M <$ 2.3 ԳԷվ: Նկ.14-ի երկու վահանակներում պատկերված $p\bar{p}$-ի բաշխումների կետերը ֆիտ են արվել կոհերենտ ծնմանը բնորոշ էքսպոնենցիալ ֆունկցիայով, որը գծագրի վրա պատկերված է կետագծերով:



Նկար 14. Դեյտրոնի վրա $p\bar{p}$ (դատարկ շրջանակներ) և $\pi^+\pi^-$(ներկված շրջանակներ) կոհերենտ ֆոտոծնման դիֆերենցիալ կտրվածքը կախված փոխանցված իմպուլսից: Ձախ մասում պատկերվածը զույգի ինվարիանտ զանգվածի 1.9-2.5 ԳԷվ տիրույթի համար է, իսկ աջում՝ ինվարիանտ զանգվածի 2.1-2.3 ԳԷվ տիրույթի համար:

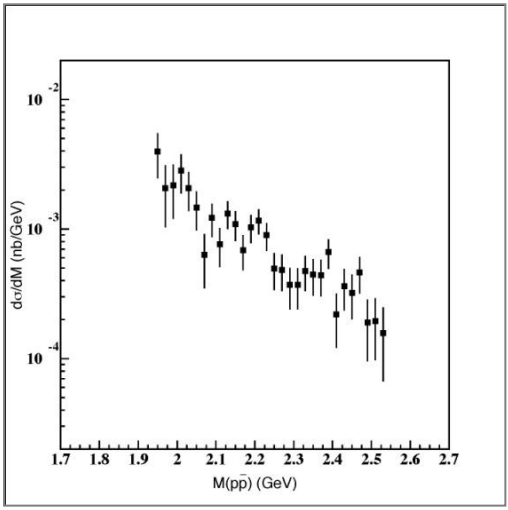


Նկար 15. Դեյտրոնի վրա $p\bar{p}$ (դատարկ շրջանակներ) և $\pi^+\pi^-$ (ներկված շրջանակներ) կոհերենտ ֆոտոծնման դիֆերենցիալ կտրվածքները կախված դրական մասնիկի ցրման անկյունից: Ձախ մասում պատկերվածը զույգի ինվարիանտ զանգվածի 1.9-2.5 ԳԷվ տիրույթի համար է, իսկ աջում՝ ինվարիանտ զանգվածի 2.1-2.3 ԳԷվ տիրույթի համար:

Նկ.15-ում պատկերված բաշխումները ֆիտ են արվել $f = a + b \cdot \cos\theta_{CM} + c \cdot \sin\theta_{CM} \cdot \cos\theta_{CM} + d \cdot \cos^2\theta_{CM}$ ֆունկցիայով: Այս ֆունկցիայի a, b, c և d գործակիցների թվային արժեքները բերված են համապատասխանաբար Նկ.15-ի բաշխվածությունների վահանակների վրա: $\cos\theta_{CM} = 0.9$ կետերը չեն ներառվել ֆիտի մեջ:

Եզրակացություն

- Աշխատանքում մանրամասն ներկայացված է $p\bar{p}$ բարիոնային զույգի տրոհվող մեզոնային վիճակների ուսումնասիրությունը, մինչև 5.5 ԳէՎ էներգիայով օժտված արգելակային ճառագայթման ֆոտոնների փնջով:
- Ստացվել է $p\bar{p}$ զույգի կոհերենտ ֆոտոծնման լրիվ կտրվածքը դեյտերիումի թիրախի վրա, CLAS դետեկտորի գրանցման էֆֆեկտիվության տիրույթում՝ $\sigma = 0.68 \pm 0.061$ պբ:
- Մանրակրկիտ ուսումնասիրվել են բոլոր հնարավոր կանալներով հադրոն-հակահադրոն զույգերի կոհերենտ ֆոտոծնման ռեակցիաները:
- Չափվել են $\gamma d \to \pi^+\pi^- d$, $\gamma d \to K^+K^- d$ ռեակցիաների դիֆերենցիալ կտրվածքները, հիմնական շեշտը դնելով սակայն $\gamma d \to p\bar{p}d$ ռեակցիայի վրա:
- Աշխատանքում ներկայացված $p\bar{p}$ վիճակների տրոհվող մեզոնային վիճակներ չեն նկատվել (Նկ.16):



Նկար 16. Դեյտրոնի վրա $p\bar{p}$ զույգի կոհերենտ ֆոտոծնման դիֆերենցիալ կտրվածքը կախված զույգի ինվարիանտ զանգվածից:

- Ինվարիանտ զանգվածի 2 ԳԷվ-ից վերև ընկած տիրույթում, $p\bar{p}$ զույգերի ծնման հավանականությունը գրեթե նույնն է (նույնիսկ փոքր ինչ մեծ է) ինչ $\pi^+\pi^-$ զույգերի համար:
- Այս մանրամասն վերլուծությունը թույլ կտա բացատրել կոհերենտ ծնման մեխանիզմը:

Ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքների ցանկ՝

1. **Е.С. Гандилян**. Идентификация многочастичных конечных состояний в полностью эксклюзивных реакциях на основе топологий и кинематики. Известия НАН Армении, Физика, Ереван 2015, т.50, N4, с.410-421.
2. **Y.S. Ghandilyan.** Coherent photoproduction of Proton-Antiproton Pairs on Deuterium. Armenian Journal of Physics, Yerevan 2016, vol. 9, issue 3, pp. 239-243.
3. R. Dickson, R.A. Schumacher et al., **Y. Ghandilyan** et al. (CLAS Collaboration). Photoproduction of the f_1 (1285) Meson. Phys.Rev. C93, 2016, no.6, 065202.

Օգտագործված գրականության համառոտ ցանկ

1. A.S. Carroll et al., Phys. Rev. Lett. 32, 247 (1974)
2. P. Benkheiri et al., Phys. Lett. B68, 484 (1977)
3. B.G. Gibbard et al., Phys. Rev. Lett. 42, 1593 (1979)
4. K. Abe et al., hep-ex/0202017 (2002)
5. J.Z. Bai et al., hep-ex/0303006 (2003)
6. B.A. Mecking et al. The cebaf large acceptance spectrometer (CLAS). NIM, A503, (2003), 513–553
7. M.D. Mestayer et al. The CLAS Drift Chamber System, Nucl. Instr. And Meth. A, 449:(81), 2006
8. G. Adams et al. The CLAS Cerenkov Detector, CLAS Note, (2001), 2001.
9. E.S. Smith. The time-of-flight system for CLAS, Nucl. Instr. And Meth. A, 432:(265), 199
10. M. Amarian et al., The CLAS Forward Electromagnetic Calorimeter, CLAS Note, (2000), 2000
11. E.S. Smith and S. Stepanyan, Considerations for the eg3 hardware. CLAS-NOTE (2004-038), 2004.

Когерентное фоторождение протон-антипротонных пар

на дейтериевой мишени на детекторе CLAS

Резюме

В диссертационной работе представлен детальный анализ мезонных состояний, распадающихся на $p\bar{p}$ барионную пару. Анализ был проведен на экспериментальных данных, полученных на детекторе CLAS (CEBAF Large Accelerator Spectrometer) линейного ускорителя CEBAF (Continuoues Electron Beam Accelerator Facility) лаборатории им. Томаса Джефферсона (TJNAF, США). В указанном эксперименте, электроны, ускоренные до 5.76 ГэВ, были использованы для получения меченых фотонов. Пучок фотонов тормозного излучения с энергией до 5,5 ГэВ подавался на 40– сантиметровую жидко-дейтериевую мишень, расположенную в 50-ти см от номинального центра детектора CLAS. Триггер срабатывал при детектировании трех заряженных треков в детекторе CLAS и, по меньшей мере, одного фотона с энергией 4.5 ГэВ в годоскопе меченных фотонов зала B.

Изучалось когерентное фоторождение на дейтерии адронных пар $p\bar{p}$, $\pi^+\pi^-$, K^+K^-, с основным акцентом на возможное рождение и распад мезонных состояний на $p\bar{p}$ пару. Преимущество когерентного рождения $p\bar{p}$ пары на дейтерии в том, что в механизме образования нет никакой неопределенности, только одна диаграмма дает вклад в процесс. Отбор событий, соответствующих интересующей нас реакции $\gamma d \rightarrow h^+h^-d'$, где h – рождённые адроны, а d' – дейтрон отдачи, проводился в несколько этапов. На первом этапе отбирались события, у которых в конечном состоянии присутствовали две положительно и одна отрицательно заряженные частицы. В качестве одного из критериев отбора было использовано сохранение поперечных и продольного компонент вектора трехмерного импульса, характерное для кинематики полностью эксклюзивного конечного состояния. В процессе идентификации частиц, для полной очистки кандидатов на дейтрон, был применен ряд обрезаний: слабое обрезание по квадрату масс, обрезание на ‘вершинное время' с использованием времени пролета от вершины

образования до сцинтиляционных счетчиков, обрезание на энергетические потери в сцинтиляционных счетчиках. Затем, из оставшихся событий отбирались те, у которых имелся фотон, зарегестрированный в годоскопе меченных фотонов зала B в пределах 2 нсек от события, зарегистрированного в детекторе CLAS. Были также изучены фоновые реакции $\gamma d \rightarrow \pi^+\pi^- d'$, $\gamma d \rightarrow K^+K^- d'$.

Результаты данной работы были получены при изучении состояний, которые могут способствовать выявлению новых моделей, которые, в свою очередь, позволят объяснить механизм когерентного рождения. Эта работа может быть хорошим путеводителем для студентов, которые будут заниматься анализом данных эксклюзивных многочастичных состояний, на основе топологии и кинематики. Результаты данного анализа были представленны на семинарах в ЕрФИ и ЕГУ, а так же на митинге коллаборации CLAS .

Coherent photoproduction of proton anti-protn pair on deuterium with CLAS

Abstract

In this work study of a possible meson states that decay into baryon $p\bar{p}$ pair is presented. The presented here CLAS/eg3 experiment was carried out in Hall-B at **TJNAF** (**T**homas **J**efferson **N**ational **A**ccelerator **F**acility) on **CLAS** (**C**EBAF **L**arge **A**ccelerator **F**acility) detector. The electrons were accelerated to 5.76 GeV in the **CEBAF** (**C**ontinuous **E**lectron **B**eam **A**ccelerator **F**acility) machine and were used to generate tagged photons in the CLAS tagging system. The bremsstrahlung photon beam with up to 5.5 GeV energy, impinged on a 40 cm long and 4 cm diameter liquid deuterium target positioned 50 cm upstream of the nominal CLAS center. During the experiment about 4.2 billion physics events, 32 Tb of raw data were collected. Events in CLAS were triggered for readout only if there were three charged tracks in CLAS and at least one photon with energy > 4.5 GeV tagged in the Hall-B photon tagger hodoscope. The beam current was 30 nA.

In this analysis, coherent photoproduction of hadron pairs, $p\bar{p}$, $\pi^+\pi^-$, K^+K^- on deuterium was studied with main focus on a possible production and decay of a mesonic state(s) to $p\bar{p}$. The reaction of interest is: $\gamma d \rightarrow h^+h^-d'$, where h is the produced hadrons and d' is the recoil deuteron. In the proposed analysis, $p\bar{p}$ pair is produced coherently on deuterium and there is no ambiguity in the production mechanism and only one diagram will contribute. The analysis has been performed in multiple steps. The first pass of the analysis selects events with the criteria, that the final state of interest contains three particles, two positively and one negatively charged. One of the kinematic constraint of the fully exclusive final state, conservation of the transverse and longitudal components of three-momentum vector, has been used. In the particle identification process many cuts have been applied to clean the remaining sample of deuteron candidates: loose cut on m^2, cut on vertex time calculated using the time-of-flight from the production vertex to the Scintillator Counter (SC), energy loss of tracks in SC paddles as a function of the track momentum. Then, from the selected sample, events that had one matching photon tagged in the Hall-B photon tagger within 2 ns of the detected

event in CLAS has been analyzed. The final selection of events was done using the energy difference between the initial and final states.

The fully exclusive final states, $\gamma d \rightarrow p\bar{p}d$, $\gamma d \rightarrow \pi^+\pi^- d$ and $\gamma d \rightarrow K^+K^- d$ are analyzed, and the cross section have been extracted. The integrated total cross section for $p\bar{p}$ production in the acceptance region of CLAS is $0{,}068 \pm 0{,}061$ pb. With limited statistics, no resonances have been seen in the invariant mass distribution of $p\bar{p}$ above 2 GeV after acceptance corrections. Similarly, no unknown resonances seen in $\pi^+\pi^-$ or K^+K^- final state.

Most importantly it turns out that the $p\bar{p}$ production rate is almost the same, even slightly higher, than production rate of $\pi^+\pi^-$. We consider, it might be that photon diffraction is not just to 3-q and 3-$\bar{q}$, but to combination of di-quark pairs and $q\bar{q}$.

This new detailed analysis of meson states would encourage to find new models, which in his turn will allow to explain the mechanism of the coherent production and will help to differentiate between different models.

These results are represented on seminars in ANSL and YSU and during the CLAS collaboration meeting.