

40 ГэВ-ийн энергитэй сөрөг пионы протонтой болон нүүрстөрөгчийн цөмтэй харилцан үйлчилсэн мөргөлдөөнд илэрсэн резонансууд

Р.Тогоо^{1*}, Н.Хишигбуян¹, Ж.Шинэбаяр²

¹ШУА, Физик, технологийн хурээлэн, Онолын ба их энергийн физикийн лаборатори

²Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль, Боловсрол судлалын сургууль

Зурган мэдээллийн хувьд их энергитэй эерэг пион π^+ -мезон дотор холилдсон протонуудыг Лобачевскийн буюу гиперболог геометрийг ашиглан бүрэн ялгасны дараа 40 ГэВ-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд үүссэн Δ^{++} , Δ^0 , одны оройд үүсдэг K_S^0 , η^0 , ба ρ^0 резонансуудыг 4л-геометрийн нөхцөлд судлав. Мөн $p\pi^\pm$ ба $\pi^+\pi^-$ хосоор туршилтын болон дэвсгэр инвариант массын тархалтын анализ хийн, резонансуудын тархалтын өргөн, массуудыг тодорхойллоо. Туршилтын үр дүнг UrQMD 3.4 хэмээх онолын загвартай харьцуулсан. $\pi^- + p$ харилцан үйлчлэлийн өгөгдлүүдийн хувьд бай массуыг ашиглан, түүний утга нэгээс хэтэргвэл уг харилцан үйлчлэлийг харимхай бус $\pi^- + C$ үйлчлэлд оруулаад, жинхэнэ $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн ансамблийн бүрдүүлсэн.

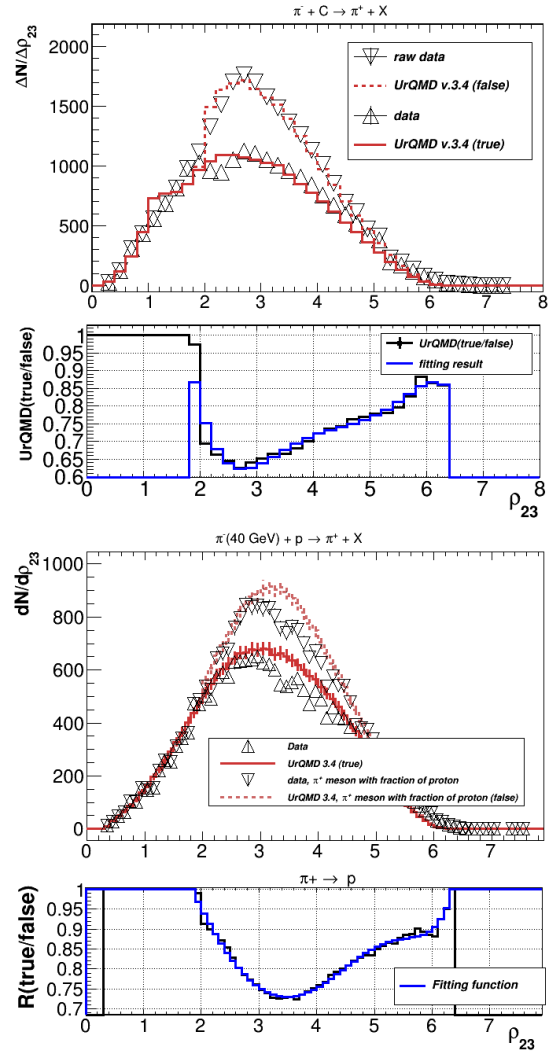
Түлхүүр үг: Их энергитэй харилцан үйлчлэл, резонансууд, UrQMD загвар

I. СУДЛАГДСАН БАЙДАЛ

Маш олон ажлуудад ямар нэгэн шалгууруудыг хэрэглэн, $\pi^- + p$ and $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдийн хувьд $p\pi^\pm$ ба $\pi^+\pi^-$ хосоор ажиглагддаг резонансуудыг хайж олсон байдаг[1-3].

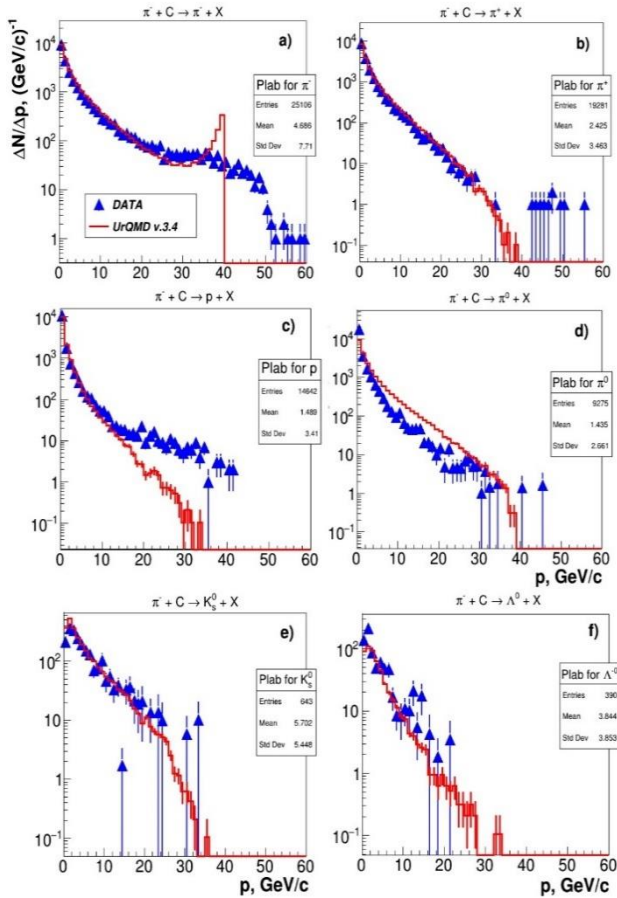
Бид энэ удаа ямар нэгэн шалгуурыг хэрэглээгүй бөгөөд Лобачевскийн геометрийг ашиглаад, π^+ мезон дотор их энергитэй (1 ГэВ-ээс) протонуудыг ялгасны дараа (Δ^{++} , Δ^0 , K_S^0 , η^0 , ρ^0) резонансуудыг судлав. Энд бид хэрхэн ялгасныг товчхон тайлбарлая [4]. Зураг 1-д засварын өмнөх тархалтыг доошоо харсан гурвалжинаар, харин дээшээ харсан гурвалжнаар засварын дараах тархалтыг илэрхийлсэн бөгөөд гистограмуудын тасархай бор цэгүүд засварын өмнө, онолын UrQMD 3.4 загвар, тасралтгүй бор гистограмууд бол засварын дараах UrQMD 3.4 загварын үр дүн юм. Зураг 1-н доор үзүүлсэн харьцаа нь туршлага ба онолын засварын дараах үр дүнг засварын өмнөх үеийн дүнд харьцуулсан харьцаануудыг харуулсан байна.

Зураг 1-ээс бид Монте Карло аргаар хэрвээ $R(\text{true/false})$ харьцаа нэгээс бага интервалд хөх муруйгаас их утга авбал π^+ мезоны массуыг протоны массаар солин тооцоог шинээр хийнэ. Ингэж бид өөрчлөлт буюу засварыг хийж, онол туршлагын тохиролцоог шалгаж, засвар хэрхэн үнэн болсныг шалгадаг. Жишээ болгон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд үүссэн 6 төрлийн бөөмсийн импульсийн тархалтуудыг зураг 2-д үзүүлсэн.



1-р зураг. Лобачевскийн геометрийн бүтэн хурдац p_{23} -ийн тархалтууд

* togoo@mas.ac.mn



2-р зураг. $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд үүссэн б төрлийн бөөмсийн импульсийн тархалтууд. Дээд талын 3 бөөмс (π^- мезон (a), π^+ мезон (b), протон(c)) бол доод талд (π^0 мезон (d), K_S^0 -мезон (e) ба Λ^0 -гиперон(f)).

Зураг 2-оос онол туршлагын зөрөө хэмжээнд ялгаа π^+ мезоны хувьд ажиглагдахгүй байна.

Резонансууд нь их энергийн физикийн судалгааны эхний судалгаануудад илэрсэн анхны бөөмсийн нэг байсан бөгөөд тэдгээрийг бүртгэх аргаар тодорхойлогддог. Резонанс гэдэг нь маш богино (~ 10 – 25 сек) амьдрах хугацаатай бөөмсийн ангиллыг хэлдэг тул эдгээр бөөмсийг судлахын тулд резонансын задралын бүтээгдэхүүний импульс ба энергийн хэмжилтийг дараах томъёог ашиглан инвариант массын тархалтыг босгохдоо тэгшитгэл (1)-ийг ашигладаг.

$$M_{1,2}^2 = (E_1 + E_2)^2 - (p_1 + p_2)^2 \quad (1)$$

Энд $M_{1,2}$ нь инвариант масс, $E_{1,2}$ нь энерги, $p_{1,2}$ нь 1 болон 2 задралын бүтээгдэхүүний импульсийн вектор юм. Энэ аргаар резонансуудыг өргөн (ихэвчлэн 10-МэВ-ээс 200 МэВ хүртэл) -тэй массын төвийн ойролцоо төвлөрсөн тархалтын дээд цэг гэж үзэж болох бөгөөд энэ нь доор тайлбарласан энергийн түгэлтийн Фурье хувиргалтаас үүссэн

экспоненциалаар задрах тархалттай холбоотой юм.

Дараа нь туршилтын болон дэвсгэр массын тархалт хоорондын ялгааны буюу ялгаврын тархалт $D(M)$ -аар анализ хийдэг (2).

$$D(M) = \frac{dn^{exp}}{dM} - a \frac{dn^{bg}}{dM} \quad (2)$$

Энд коэффициент a нь 0-ээс 1 хүртэлх утгыг авдаг. Жишээлбэл: $a=0.89$ ($p\pi^+$), 0.9 ($p\pi^-$) ба 0.99 ($\pi^+\pi^-$). Жишээбэл, $D(M)$ гэсэн тархалтыг цэвэр ямар нэгэн сигнал гэж тайлбарлан, түүнд харгалзах массын мужид дараах релятив Брейт Вигнерын функцээр дөхүүлэлт хийдэг билээ [6].

$$BW(M) = \frac{\Gamma M \Delta}{(M^2 - M_R^2)^2 + \Gamma^2 M_R^2}, \quad (3)$$

Энд M_R болон Γ нь тухайн резонансын масс болон өргөн. $D(M)$ а өгөгдлийн багцыг Брейт Вигнерын функцээр $BW(M)$ дөхүүлэлт хийсэн бөгөөд тэр дөхүүлэлт тус бүрд χ^2 утгыг олдог.

A. Онолын загвар UrQMD (Ultrarelativistic Quantum Molecular Dynamics)

UrQMD бол дараах зүйлсийг агуулсан хүнд ионы генератор юм.

- Микроскоп түвшний дамжууллын онол (Вольцмын-Үлин-Үленбекийн тэгшитгэл):

$$\frac{df_i(x,p)}{dt} \equiv \frac{\partial f_i(x,p)}{\partial t} + \frac{dx}{dt} \frac{\partial f_i(x,p)}{\partial x} + \frac{dp}{dt} \frac{\partial f_i(x,p)}{\partial p} = St f_i(x,p) \quad (4)$$

цөм-цөмийн мөргөлдөөнөөр үүссэн өөр өөр бөөмсэд зориулсан фазын огторгуйн нягт $f(x, p)$, энд St бол ялгаатай бөөмсийн дахин сарнилыг харгалзан үзэх мөргөлдөлтийн гишүүн.

- Цөмүүдийн хоорондох зөөлөн харилцан үйлчлэлийг Skyrme-мэт потенциалгаар (бодит Квант Механикийн динамик) тодорхойлдог, энд олон биеийн системийн төлөвийн тэгшитгэлийг тооцоолохыг зөвшөөрдөг. Эдгээр зөөлөн харилцан үйлчлэл pp мөргөлдөөнд хамаарахгүй.
- Төрөл бүрийн адрон-адроны процессын хэсэгчилсэн хөндлөн огтлолыг яг таг кодлодог. Энэ хөндлөн огтлолын зарим хэсгийг хэмждэг бөгөөд туршилтын өгөгдлийн дөхүүлэлтийг ашигладаг. Хэрэв өгөгдөл байхгүй бол нэмэлт кварк загвар ба дэлгэрэнгүй балансын аргуудыг ашиглана.

- Илүү их энергитэй сарнилд энгийн Лунд мэт стринг загварыг хэрэглэдэг.
- 2-2 процесс бүрд зориулсан дифференциал хөндлөн огтлол (өнцгийн түгэлт гэх мэт)-ыг σ , ω ба π мезонуудаар харилцан үйлчлэлдэг нуклоны системийн хувьд эффектив орны онолын хүрээнд тооцоолон гаргаж авсан ерөнхий томъёонуудаар тодорхойлодог

II. ТУРШЛАГЫН ТӨЛӨВ БАЙДАЛ

Туршилтын өгөгдлийг ЦШНИ-ийн (Дубна, Орос) Их энергийн лабораторийн 2 м-ийн пропант хөөст камерыг, Серпуховын хурдасгуур дээр 40 ГэВ/с-ийн релятив π^- мезоны цацрагаар шарсан юм. Анализ хийсэн өгөгдлийн статистик нь 28 ± 1 мбарн ба 179 ± 2 мбарн хөндлөн огтлолд харгалздаг [7] ба хэмжигдсэн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харимхай бус харилцан үйлчлэлүүдээс хэмжсэн 8683 ба 7415 тохиолдлуудаас бүрдлээ. Стере фото зургийг боловсруулах, пропан (СЗН8) дахь харилцан үйлчлэлийн төрлийг сонгох, хоёрдогч бөөмсийн кинематик шинж чанарын сэргээн босгон байгуулах, тэдгээрийг тодорхойлох, мөн анхдагч цацарсан бөөмсийн алдагдлаас үүдэлтэй засвартай холбоотой арга зүйн асуудлууд байдаг [9-11]. Камерын объектын хавтгайд их өнцгөөр цацрах бөөмсийн алдагдалтай холбоотой засварыг оруулах талаар дэлгэрэнгүй тайлбарласан. Протон ба π^+ -мезоныг салгахийг тэдний $p < 0.8$ GeV/c мужид иончлогдсон байдал дээр үндэслэн харагдсаар нь протоны дундаж олонлог ашиглан, π^+ - мезоныг $12 \pm 5\%$ тодорхойлсон [8] бол одоо бид тэдгээрийг бөөмийн массыг буруу хийснийг мэдэрдэг

III. ҮР ДҮН

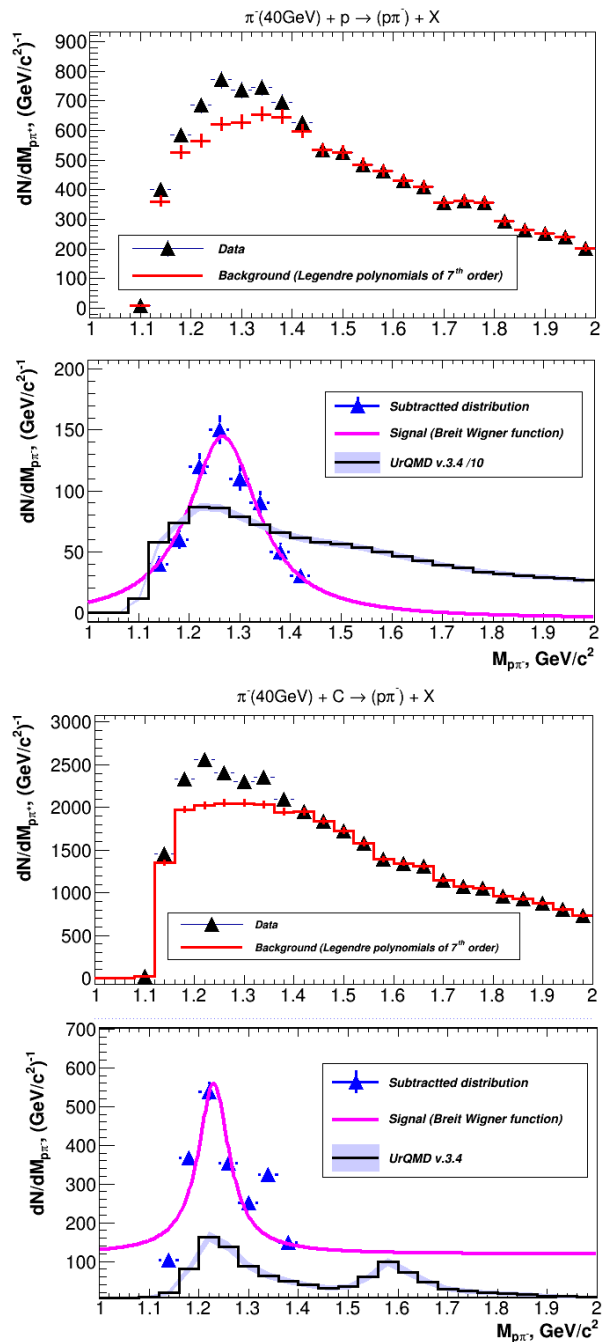
40 ГэВ/с-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэл дэх $p\pi^+$ ба $p\pi^-$ хосуудын туршилтын инвариант массын тархалтыг Зураг.1-2-т үзүүлээ. Туршилтын тархалтыг хос бүрт протон ба пионуудыг нэгтгэн гаргаж авсан. 1 ба 2-р зурагнаас харахад $p\pi^+$ ба $p\pi^-$ хосын хувьд инвариант массын тархалт $D(M)$ нь $M = 1232$ MeV/c² ойролцоо резонансын бүтэцтэй харагдаж байна. Харин 4.2A ГэВ/с-ийн энергитэй C+C, He+C ба p+C мөргөлдөөнүүдийн хувьд энэ аргачиллаар дараа бид дахин судалгаа гүйцэтгэх болно. Энэ мөрөөдөл [12, 13] ажилд гаргасан дүнг батална.

Бид $p\pi^\pm$ хосуудаас гадна $\pi^+\pi^-$ хосоор илэрдэг зөвхөн пионы резонансуудыг хайж олсон.

Зураг.3 дээр эдгээр резонансуудын хэрхэн ажиглагдаж буйг харуулсан.

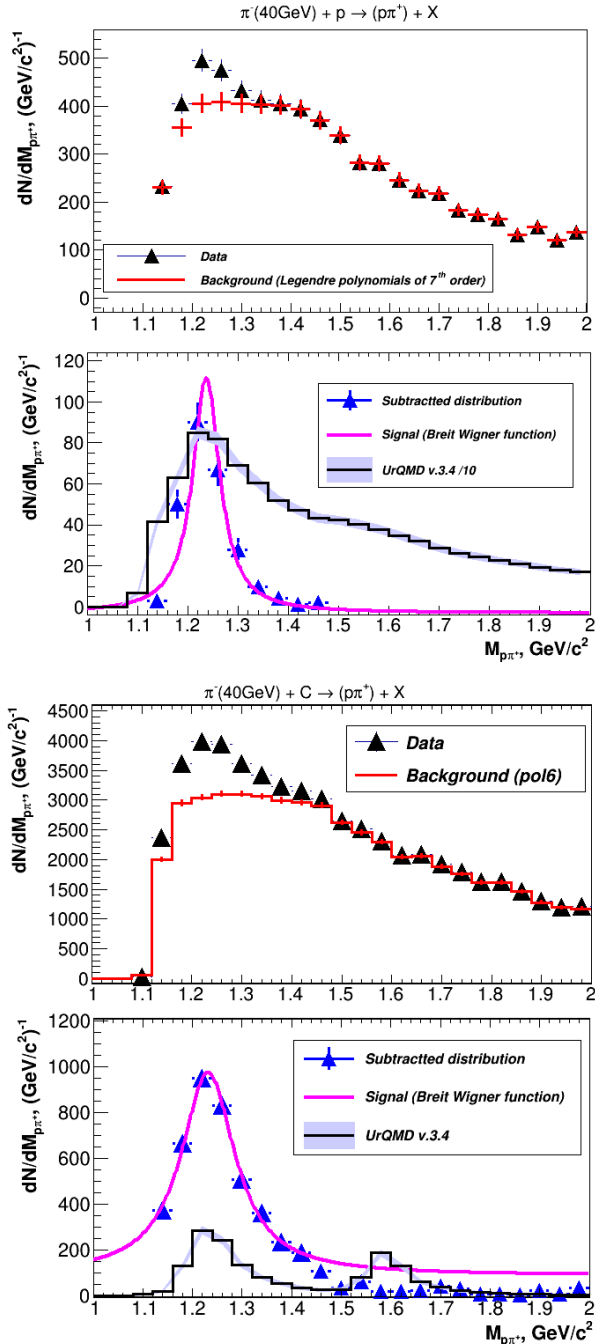
Энэхүү ажилд 40 ГэВ/с-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн үед резонансын масс болон өргөнтэй хамт үүсэх хөндлөн огтлолыг тодорхойлов.

Хүснэгт 1-ээс үзбэл: $\pi^- + {}^{12}\text{C}$ харилцан үйлчлэлийн үед резонансын хөндлөн огтлол ~ 100 мб байхад $\pi^- + p$ үйлчлэлийн хувьд ~ 10 мб орчим байна. Энэ нь бусад судалгааны ажлуудтай ойролцоо байгааг дурьдах хэрэгтэй.

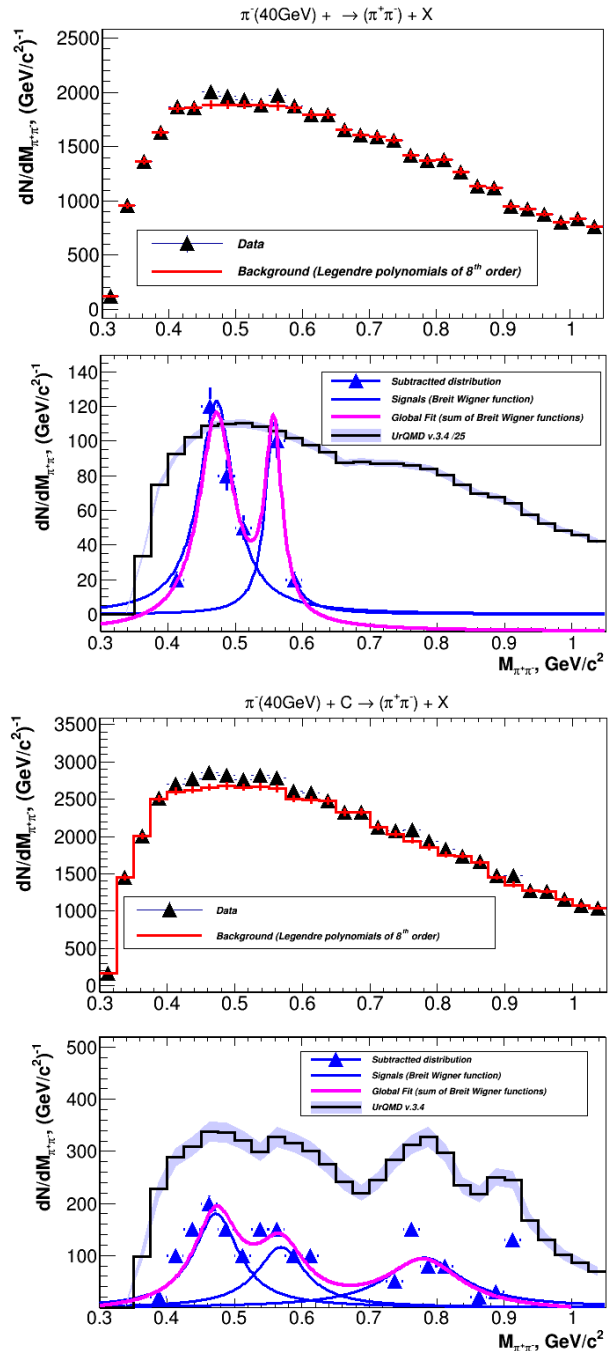


3-р зураг. Дээд талд нь 40 ГэВ/с-ийн $\pi^- + p$ болон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлд үүссэн $p\pi^-$ хосуудын инвариант массын тархалт (\blacktriangle) – туршилт, ($+$) – дэвсгэр тархалт. Энэ

тархалтыг 7-р эрэмбийн Брейт Вигнерын функцээр дөхүүлэлтээр хайж олсон. Доод талын зургуудад бол (\blacktriangle)-ялгаврын тархалт. Мөн энд ягаан муруйгаар Брейт Вигнерын функцээр дөхүүлэлт, хар гистограммаар UrQMD 3.4 загвар дахь rp^- хосын ойролцоолол.



4-р зураг. $\pi^- + p$ болон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд $\pi^+\pi^-$ хосуудын инвариант массын тархалтууд. Тэмдэглэгээ зураг 1-тэй адилхан.



5-р зураг. $\pi^- + p$ болон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд $\pi^+\pi^-$ хосуудын инвариант массын тархалтууд. Тэмдэглэгээ зураг 1-тэй адилхан.

Дээрх 3 зургуудаас ажиглахад, резонансуудын байрлалууд нь UrQMD 3.4 загвараар байгуулагдсан байрлалуудтай ойролцоо тооцогдсон.

Резонанс	Мөргөлдөөний төрөл	M(МэВ/ c^2)	Γ (МэВ/ c^2)	σ (Резонансууд) (мб)
Δ^{++}	$\pi^- + p$ $\pi^- + C$	1236 ± 2 1230 ± 2	65 ± 9 129 ± 10	4.6 ± 0.1 79.9 ± 3.1
Δ^0	$\pi^- + p$ $\pi^- + C$	1264 ± 4 1229 ± 2	170 ± 37 76 ± 8	6.1 ± 0.1 90.6 ± 2.9
K_S^0	$\pi^- + p$ $\pi^- + C$	471 ± 27 473 ± 22	65 ± 9 81 ± 7	10.4 ± 0.1 87.2 ± 3.0
η^0	$\pi^- + p$ $\pi^- + C$	557 ± 10 567 ± 4	63 ± 10 88 ± 7	13.5 ± 0.1 102.9 ± 2.7
ρ^0	$\pi^- + p$ $\pi^- + C$	- 778 ± 5	- 139 ± 19	- 88.5 ± 3.0

1-р хүснэгт. 40 ГэВ/с -ийн $\pi^- + p$ болон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд резонансуудын үүсэлтийн масс, өргөн, хөндлөн огтлолын туршилтын утгууд.

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэ ажлын дүгнэлтийг дараах байдлаар нэгтгэн дүгнэж болно. 40 ГэВ/с-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлд үүссэн η^0 -мезон, ρ^0 -мезон болон тохиолдлын оройноос үүссэн K_S^0 -мезон, дельта Δ^{++} ба Δ^0 үүсэхийг их энергитэй эерэг бөөмсийн бүрэн засварын дараа судалсан. $p\pi^\pm$ ба $\pi^+\pi^-$ хосын туршилтын болон дэвсгэр инвариант массын тархалтын анализаас $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлд эдгээр резонансын үүсэх масс, өргөн, хөндлөн огтлолын утгуудыг тодорхойлсон.

$\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн үед үүссэн хоёр дельтанууд ба пион гурван резонансуудын өргөн / $\pi^- + p$ -ийн хувьд: 65 ± 9 (Δ^{++}), 170 ± 37 (Δ^0), 65 ± 9 (K_S^0), ба 63 ± 10 (η^0) МэВ/ c^2 , $\pi^- + C$ -ийн хувьд 129 ± 10 (Δ^{++}), 76 ± 8 (Δ^0), 81 ± 7 (K_S^0), 88 ± 7 (η^0) ба 139 ± 19 (ρ^0) МэВ/ c^2 тэнцүү байна. Δ^{++} ба Δ^0 барионы резонансуудын үүсэх хөндлөн огтлолууд $\pi^- + p$ мөргөлдөөний хувьд 4.6 ± 0.1 ба 6.1 ± 0.1 мб ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн хувьд 6.1 ± 0.1 ба 90.6 ± 2.9 мб/. Харин пионы резонансууд (K_S^0 , η^0 , ρ^0)-ын хөндлөн огтлолууд $\pi^- + p$ мөргөлдөөний хувьд 10.4 ± 0.1 , 13.5 ± 0.1 мб ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн хувьд 87.2 ± 3.0 , 102.9 ± 2.7 ба 88.5 ± 3.0 мб байна.

ТАЛАРХАЛ

Бид Дубнагийн 2 метрийн пропан хөөсөн камер болон Синхрофазотрон хурдасгуурыг ажиллуулж байсан багийнханд гүнээ өртэй билээ. Манай лабораторуудын шаралт, фото хальс боловсруулах төдийгүй, харалт, хэмжилт, ТБЭМ дээр тооцоолол хийж гүйцэтгэсэн бүх мэрэгжилтнүүдэд талархал илэрхийлье. Энэхүү судалгааны ажлыг БШУЯ-ны ШуСс 2019/20 төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Н.Ангелов и др.: Исследование рождения резонансов в $\pi^- p$ взаимодействиях при 40 ГэВ/с. Сотрудничество: Препринт ОИЯИ, P1-9810, Дубна, 1976;
- [2] O.Balea et al. Neutral strange particle production in $\pi^- p$, $\pi^- n$ and $\pi^- C$ interactions at 40 GeV/c; Nuclear Physics B79 (1974) 57-69.
- [3] Ангелов Н.С. и др. “Образование K^0 -мезонов, Λ и $\bar{\Lambda}$ -гиперонов в π -р взаимодействиях при 40 ГэВ/с”
- [4] A possibility to identification for positive particles produced from the inelastic interactions detected by propane bubble chamber (R.Togoo, T.Tulгаа, A.Tursukh, O.V.Rogachevsky, M.Sovd and J.Shinebayar) Proc. of Mongolian Academy of Sciences, Vol.56, No.1(217), Ulaanbaatar, 2016, pp.5-12.
- [5] R.Togoo, J. Shinebayar, M. Sovd, T. Tulгаа, A. Tursukh “Secondary particle clusterization in carbon-carbon collision” Proc. of Mongolian Academy of Sciences, Vol.59, No.1(221), Ulaanbaatar, 2018, pp.
- [6] P. D. Higgins et al., Phys. Rev. D 19, 731 (1979).
- [7] N. Angelov et al., Yad. Fiz. 33, 1046 (1981).
- [8] N. Angelov, K. P. Vishnevskaja et al., JINR Communications P1-9792 (1976).
- [9] A. U. Abdurakhimov et al., Yad. Fiz. 18, 545 (1973).
- [10] A.U. Abdurakhimov et al., Yad. Fiz. 18, 1251 (1973).
- [11] S. A. Azimov et al., Nucl. Phys. B107, 45 (1976).
- [12] D. Krpic, G. Skoro, I. Picuric, S. Backovic, and S. Drndarevic, Phys. Rev. C 65, 034909 (2002).
- [13] Kh. K. Olimov, S. L. Lutpullaev, K. Olimov, K. G. Gulamov, and J. K. Olimov, Phys. Rev. C 75, 067901 (2007).

Resonances in the collisions of negative pions with protons and carbon nucleus at 40 GeV/c**Togoo Ravdandorj^{a*}, Khishigbuyan Narankhuu^a, Shinebayar Janchiv^b***^aDepartment of Theoretical and High Energy Physics, Institute of Physics and Technology, MAS**^bSchool of Educational Studies of Mongolian State University of Education,*

Abstract: In conditions of 4π -geometry, the productions of Δ^{++} , Δ^0 , K_S^0 from event vertex, η^0 , and ρ^0 resonances in π^-+p and $\pi^-+^{12}C$ interactions at 40 GeV/c were investigated for the after full corrections of high energetic positive particles (i.e. corrections from π^+ mesons same these fractions remove to protons using Lobachevsky or hyperbolic geometry). The masses, widths and cross sections of resonances were obtained from an analysis of the experimental and background invariant mass distributions of $p\pi^\pm$ and $\pi^+\pi^-$ pairs.

Experimental results were comparing with theoretical model named UrQMD version of 3.4. Using the target mass term the fractions of π^-+p collision's data when this target mass more than unit coming to π^-+C inelastic interactions, now the $\pi^-+^{12}C$ interactions were assembled.