

ПЕРЕРІЗ УТВОРЕННЯ Λ - ТА $\bar{\Lambda}$ -ГІПЕРОНІВ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ПРОТОНІВ ІЗ ЕНЕРГІЄЮ 920 ГеВ НА ЯДРАХ ВУГЛЕЦЮ, ТИТАНУ ТА ВОЛЬФРАМУ

А. О. Лиманець, С. В. Приступа, В. М. Пугач

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Досліджено переріз утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів при взаємодії протонів з енергією 920 ГеВ із мішенями з вуглецю, титану та вольфраму. Диференціальні перерізи досліджуються як функція двох кінематичних змінних: змінної Фейнмана x_F та квадрата поперечного імпульсу p_t^2 . Одержано залежність повного перерізу утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів у від'ємній області $-0,12 < x_F < 0$ від масового числа ядер мішені.

Вступ

Особливості утворення гіперонів вивчалися, починаючи з 1970-х років, у різних процесах при високих енергіях. Народження гіперонів досліджувалися на пучку піонів з енергією 200 - 250 ГеВ [1 - 4]. Експерименти на протонному пучку описано в [5 - 7]. Більшість із цих експериментів проводилися на бульбашкових камерах і, як наслідок, мають недостатню статистику.

На сучасному експериментальному рівні дослідження гіперонів проводилися в експерименті WA89 на кільці CERN-SPS [8, 9] та експерименті HERA-B, DESY [10].

Підвищений вихід дивних частинок, до яких належать гіперони, може свідчити про утворення кварк-глюонної плазми [11], що спонукає до ретельного вивчення особливості їх народження. Зокрема, у цій роботі одним із пунктів досліджується залежність диференціального перерізу утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів від змінних x_F^* та p_t^2 . Такі спектри несуть важливу інформацію про їхні механізми утворення та динаміку взаємодії. У даній роботі наведено результати вимірювання перерізів утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів при взаємодії протонів з ядрами вуглецю, титану та вольфраму при $\sqrt{s} = 41,6$ ГеВ (експеримент HERA-B). Ці дані заміняють попередні результати [10], які не узгоджуються з представленими вимірюваннями, в основному внаслідок помилок у моделюванні детектора.

Експеримент HERA-B

Дані, що використовувалися для аналізу, були отримані за допомогою спектрометра HERA-B на накопичувальному кільці HERA (DESY, Гамбург) з енергією протонів 920 ГеВ. Мішень являла со-

бою тонку металеву смужку. Матеріали для мішеней обиралися з метою визначення залежності повного перерізу утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів від масового числа ядер мішені (A -залежність) – вуглець, титан та вольфрам. Унікальний мішенний комплекс дозволяв позиціонувати до восьми мішеней одночасно з кроком до 10 нм. Це забезпечило стабільну частоту протон-ядерних взаємодій (1 - 5 МГц) та рівні парціальні внески кожної з уведених у пучок мішеней [12]. Частинки, народжені в зіткненнях, реєструються великою кількістю детекторних підсистем, проте для представленого в цій статті аналізу використовувалися лише дані вершинного детектора (ВДС) та зовнішньої трекової системи (ЗТС). Це дає змогу зменшити систематичну похибку, що неодмінно виникає при включенні до аналізу інших детекторних підсистем. Детальна інформація про систему детектування вершин, трекову систему та інші підсистеми представлена в [13]. Слід зазначити, що унікальною особливістю експерименту HERA-B є можливість вимірювань диференціальних поперечних перерізів в області від'ємних значень змінної Фейнмана x_F , досі не дослідженій детально жодним іншим експериментом.

Аналіз даних та критерії відбору корисного сигналу

Λ - і $\bar{\Lambda}$ -гіперони реконструювалися по треках продуктів їх розпаду в каналах $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ і $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$. Для цього аналізу використовувалися лише ті треки, що мали не менше п'яти актів реєстрації у ВДС та, принаймні, один акт реєстрації в ЗТС.

У кожній події з щонайменше двома треками проводився повний комбінаторний пошук кандидатів на Λ ($\bar{\Lambda}$) частинку. Кандидати відбиралися з усіх можливих пар протилежно заряджених треків, що утворюють вершину розпаду гіперона між точкою протон-ядерної взаємодії та спектрометром. При цьому до треків не застосо-

* Змінна Фейнмана у системі центра мас (с. ц. м.) визначається як $x_F \approx 2p_z^{cm}/\sqrt{s}$, де p_z^{cm} – поздовжній імпульс частинки, а \sqrt{s} – енергія у с. ц. м.

увалися критерії ідентифікації частинок. Потім для пар треків приписувалася $p\pi^-$ і $\bar{p}\pi^+$ масова гіпотеза, і якщо інваріантна маса кандидатів знаходилася в регіоні $M_{\Lambda/\bar{\Lambda}}$ [14], то вони приймалися для подальшого аналізу.

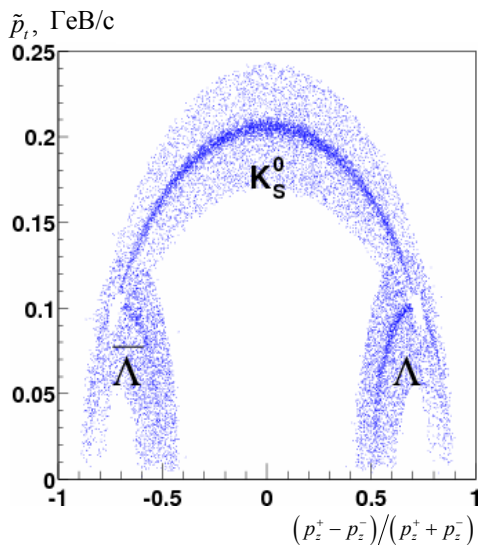


Рис. 1. Діаграма Арментаероса - Подолянського для кандидатів на K_S^0 , Λ - і $\bar{\Lambda}$ -частинок: поперечний імпульс \tilde{p}_t протилежно заряджених продуктів розпаду побудовано в залежності від асиметрії повздовжніх імпульсів p_L^\pm .

На рис. 1. показано діаграму Арментаероса - Подолянського [15] для відібраних кандидатів. Тут чітко видно кластери подій відповідно до кінематики розпадів $\Lambda \rightarrow p\pi^-$, $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$ та $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ (K_S^0 не розглядається в даній роботі) і порожні ділянки в місцях, де локуси перекриваються. Кандидати, що перекривалися в області сигналу, було вилучено з аналізу.

Додаткова вимога $\tilde{p}_t \cdot c\tau > 0.05$ (Гев/с)·см використовувалася для зменшення фону від частинок, що швидко розпадаються та $\gamma \rightarrow e^+e^-$ конверсії, де \tilde{p}_t – поперечний імпульс продуктів розпаду відносно напрямку руху Λ - і $\bar{\Lambda}$ -частинок, а τ – відповідний час життя.

Остаточні розподіли інваріантних мас для відібраних кандидатів зображено на рис. 2.

Видно чіткий сигнал, що відповідає Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонам. Величина виходу відповідних частинок оцінювалася методом підрахунку частинок у сигнальній області ($\pm 3\sigma$ від центра розташування піка) і відніманням фонові частини (3σ за межами піка з кожного боку).

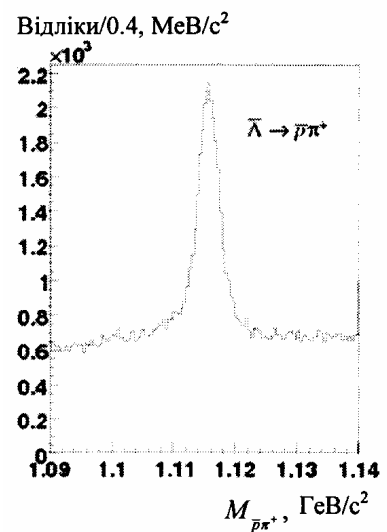
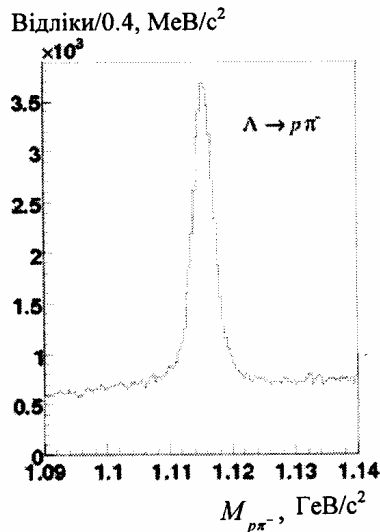


Рис. 2. Спектри інваріантних мас Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів на вуглецевій мішені (експериментальні дані).

Визначення загальної ефективності

Для визначення загальної ефективності реконструкції гіперонів використовується моделювання за методом Монте-Карло подій з утворенням Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів у непружних протон-ядерних взаємодіях за допомогою пакета FRITIOF 7.02 [16]. Потім згенеровані події проходять процедуру реконструкції в експериментальній установці з використанням пакета GEANT 3.21 [17] у той же

спосіб, як і реальні дані. Реалістичні ефективності спектрометра, електронні шуми та неробочі канали приймалися до уваги на цьому кроці через створені бази відповідних даних.

Визначена таким чином загальна ефективність реєстрації становить, у середньому, близько 5 % для Λ - і $\bar{\Lambda}$ -гіперонів у діапазоні $-0,12 < x_F < 0$ та $0 < p_t^2 < 2,5$ (Гев/с)² (визначається характеристиками спектрометра HERA-B).

Ці діапазони розбивалися так: x_F – на шість піддіапазонів розміром 0,02, p_t^2 – на 10 піддіапазонів розміром 0,25 (Гев/с)².

Переріз утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів

Переріз народження Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів у межах аксептансу детектора може бути виражений як

$$\sigma_{pA} = \frac{1}{B \cdot L} \iint \frac{N(p_t^2, x_F)}{\varepsilon(p_t^2, x_F)} dp_t^2 dx_F, \quad (1)$$

де B – імовірність розпаду Λ або $\bar{\Lambda}$ у досліджуваний канал [14]; L – інтегрована світність; N –

Таблиця 1. Інтегровані перерізи утворення гіперонів у досліджуваній частині фазового простору (мб) та їх похибки (статистичні)

Гіперон	Вуглець	Титан	Вольфрам
Λ	13,1 ± 0,2	50,5 ± 0,7	201,7 ± 2,1
$\bar{\Lambda}$	6,7 ± 0,2	26,7 ± 0,6	95,7 ± 1,9

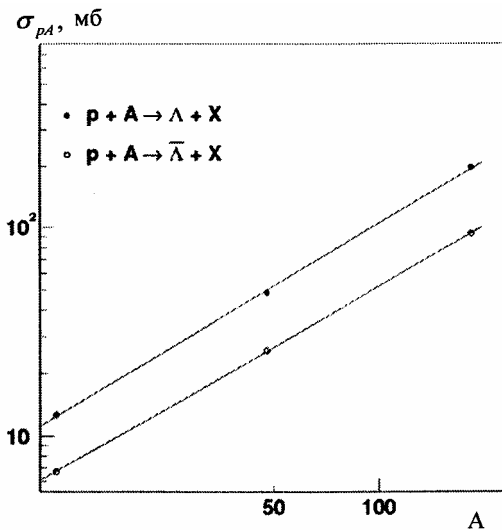


Рис. 3. Залежність вимірних інтегрованих перерізів утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів від атомної маси матеріалу мішені.

кількість реконструйованих кандидатів на Λ або $\bar{\Lambda}$, що спостерігаються в діапазонах розподілу частинок по змінних x_F та p_t^2 ; ε – аксептанс по змінних x_F та p_t^2 , що визначається з моделювання за методом Монте-Карло (розділ вище). У табл. 1. наведено значення перерізів утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів у досліджуваній частині фазового простору.

Залежність вимірних інтегрованих перерізів від атомної маси матеріалу мішені показано на рис. 3. Дані апроксимувалися залежністю виду $\sigma_{pA} = const \cdot A^\alpha$. Результати екстраполяції наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Протон-нуклонні перерізи утворення гіперонів у досліджуваній частині фазового простору (мб) та похибки їх підгонки (статистичні)

Гіперон	α	σ_{pN}	χ^2/ndf
Λ	1,004 ± 0,010	1,08 ± 0,11	2,0
$\bar{\Lambda}$	0,975 ± 0,014	0,594 ± 0,073	1,0

Висновки

У роботі представлено результати досліджень процесів з утворенням Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів при взаємодії протонів з енергією 920 Гев з ядрами вуглецю, титану та вольфраму. Виміряно інтегровані перерізи утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гіперонів у діапазоні $-0,12 < x_F < 0$ та $0 < p_t^2 < 2,5$ (Гев/с)². Досліджено залежність одержаних перерізів від масового числа ядер мішені із застосуванням параметризації $\sigma_{pA} \propto A^\alpha$. Результати апроксимації показують, що вплив ядерних ефектів на народження гіперонів є незначним.

Автори щиро вдячні співробітникам лабораторії DESY за підтримку в проведенні експерименту, а також усім учасникам колаборації HERA-B за побудову спектрометра. Особисто дякуємо М. Medinnis, J. Spengler та М. Заверт'яєву за допомогу у виконанні цієї роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Biswas N. N., Higgins P. D., Bishop J. M. et al. Inclusive production of π^0 , K_S^0 , Λ^0 and $\bar{\Lambda}^0$ in 100, 200 and 360 GeV/c $\pi^- p$ interactions// Nucl. Phys. - 1980. - B167 - P. 41 - 60.
2. Mikocki S., Fidence J. R., Torres S. et al. Inclusive strange particle production in single- ν e events in 200 GeV/c $\pi^- N$ interactions// Phys. Rev. - 1986. - Vol. D34, No. 1. - P. 42 - 52.
3. Ljung D., Bogert D., Hanft R. et al. $\pi^- p$ at 205 GeV/c: Multiplicities of charged and neutral particles; production of neutral particles // Phys. Rev. - 1977. - Vol. D15, No. 11. - P. 3163 - 3180.
4. Bogert D., Hanft R., Harris R. et al. Inclusive production of neutral strange particles in 250 GeV/c $\pi^- p$ interactions// Phys. Rev. - 1977. - Vol. D16, No 7. - P. 2098 - 2103.

5. *Oh B. Y., Smith G. A.* Inclusive study of Λ^0 and Σ^\pm hyperons produced in proton-proton collisions from 6.6 to 28 GeV/c // Nucl. Phys. - 1972. - B49 - P. 13 - 21.
6. *Alston-Garnjost M., Erwin J., Klems J. H. et al.* Neutral Particle Production in π^+p and pp Collisions at 100 GeV/c // Phys. Rev. Lett. - 1975. - Vol. 35, No. 3. - P. 142 - 145.
7. *Jaeger K., Colley D., Hyman L., Rest J.* Characteristics of V^0 and γ production in pp interactions at 205 GeV/c // Phys. Rev. - 1975. - Vol. D11, No 9. - P. 2405 - 2425.
8. *Adamovich M. I., Alexandrov Y. A., Baranov S. P. et al.* V^0 , $\bar{\Xi}^+$ and Ω^- inclusive production cross sections measured in hyperon experiment WA89 at CERN // Eur. J. Phys. - 2003. - C 26 - P. 357 - 370.
9. *Siebert H.-W. and WA89 collaboration* Hyperons and charm baryons at CERN // Nucl. Phys. - 1996. - B50. - P. 162-167
10. *Abt I., Adams M., Agari M. et al.* Inclusive V^0 production cross sections from 920 GeV fixed target proton-nucleus collisions // Eur. J. Phys. - 2003. - C 29. - P. 181 - 190.
11. *Rafelski J., Letessier J., Torrieri G.* Strange hadrons and their resonances: a diagnostic tool of QGP freeze-out dynamics // Phys. Rev. - 2001. - C64. - 054907.
12. *Hast C., Ehret K.; Hofmann W. et al.* Test of Internal Halo Targets in the HERA Proton Ring // NIM - 1995. - Vol. A354, No. 2. - P. 224 - 248.
13. *Hartouni E. and HERA-B collaboration.* An experiment to study CP violation in the B system using an internal target at the HERA proton ring, DESY-PRC 95/01 - 1995.
14. *Yao W.-M., Amsler C., Asner D. M. et al.* Review of particle physics // J. Phys.; Nucl. Part. Phys. - 2006. - Vol. G33. - P. 1.
15. *Podolansky J., Armenteros R.* // Phil. Mag. - 1954. - No. 45. - P. 13.
16. *Pi H.* An event generator for interactions between hadrons and nuclei – FRITIOF version 7.0 // Comp. Phys. Comm. - 1992. - Vol. 71, Is. 1 - 2. - P. 173 - 192.
17. *Brun R., Bruyant F., Maire M. et al.* GEANT3 User's Guide, CERN-DD-EE-84-1 - 1987.

СЕЧЕННЯ ОБРАЗОВАНИЯ Λ - ТА $\bar{\Lambda}$ -ГИПЕРОНОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 920 ГэВ НА ЯДРАХ УГЛЕРОДА, ТИТАНА И ВОЛЬФРАМА

А. А. Лиманец, С. В. Приступа, В. М. Пугач

Исследовано сечение образования Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гиперонов при взаємодії протонів з енергією 920 ГэВ на ядрах вуглецю, титану та вольфраму. Диференціальні сечення досліджуються як функція двох кінематических змінних: змінної Фейнмана x_F і квадрата поперечного імпульса p_t^2 . Отримана залежність повного сечення утворення Λ - та $\bar{\Lambda}$ -гиперонів в негативному регіоні $-0,12 < x_F < 0$ від масового числа ядер мішені.

PRODUCTION CROSS SECTION OF Λ - AND $\bar{\Lambda}$ -HYPERONS IN PROTON-NUCLEUS INTERACTIONS AT 920 GeV ON CARBON, TITANIUM AND TUNGSTEN TARGETS

A. O. Lymanets, C. V. Prystupa, V. M. Pugatch

Inclusive cross section for the production of Λ - and $\bar{\Lambda}$ -hyperons in proton-nucleus interactions at 920 GeV on carbon, titanium and tungsten targets are investigated. Differential cross sections as a function of Feynman-x (x_F) and transverse momentum square (p_t^2) were studied. The atomic mass number (A) dependence of total production cross sections in negative x_F region ($-0,12 < x_F < 0$) are presented.

Надійшла до редакції 20.02.08,
після доопрацювання – 10.04.08.