

Мамыкенов Д.Т., Темірәлиев Т.

**Энергиялары 22,4 ГэВ/с және  
32 ГэВ/с -тағы серпімсіз  
антипротон-протондық  
әрекеттесулеріндегі ұжымдық  
айнымалыларды зерттеу**

Бұл жұмыста импульстері 22,4 ГэВ/с және 32 ГэВ/с антипротон-протондық әрекеттесулердегі ұжымдық айнымалар арасындағы тәуелдік зерттеледі. Әрекеттесу жиындықтың аннигиляциялық және аннигиляциялық емес арналарындағы адрондардың ағындылығын сипаттайтын 3 тобы үшін сферисити шамалары мен үлестік серпімсіздік коэффициентінің мәндері есептелініп, олардың тәуелділік графиктері тұрғызылған. Графиктерге талдау жасалып, сферисити мен үлестік серпімсіздік коэффициенті арасындағы тәуелділік анықталған.

Үлестік серпімсіздік коэффициентінің таралуы аннигиляциялық емес әрекеттесулерде  $K_{\pi^{\pm}} > 0.5$  аймағында, ал аннигиляциялық әрекеттесулерде  $K_{\pi^{\pm}} < 0.5$  аймағында шоғырланатыны анықталған. Әрекеттесулерде көбінесе сфериситидің үлкен мәндері тек үлестік серпімсіздік коэффициентінің үлкен мәндерінде байқалатыны және S сферисити таралуы мен максимумы сфериситидің жоғары мәндерінде қарай ығысады, сонымен қатар пайда болатын мезондар саны артқан сайын сферисити таралуы симметриялана түсетіні көрсетілген.

**Түйін сөздер:** Оқиға сфериситиі, үлестік серпімсіздік коэффициенті, ұжымдық айнымалылар.

Mamykenov D.T., Temiraliev T.

**Investigation of collective  
variables in inelastic antiproton-  
proton interaction at 22.4 GeV/c  
and 32 GeV/c energies**

In article, we investigate the collective variables in the antiproton-proton interactions at a momentum of 22.4 GeV/c and 32 GeV/c. The value of the partial inelastic coefficient and sphericity, which describe hadrons jet, are calculated and graphs of their dependence build up for 3 groups in the multiplicity of annihilation and non-annihilation channels. We analyzed graphs, and obtained correlation between sphericity and partial inelastic coefficient.

It was determined that the distribution of the partial inelastic coefficients in non-annihilation channel concentrated in area  $K_{\pi^{\pm}} > 0.5$ , whereas in the annihilation channel concentrated in area  $K_{\pi^{\pm}} < 0.5$ . It is shown that the larger values of sphericity observed at large partial inelastic coefficient, and the maximum of distributions sphericity and the distribution itself are shifted towards higher values of S. Also the distribution of sphericity becomes symmetrical when produced particles number is increasing.

**Key words:** Sphericity events, partial inelastic coefficient, collective variables

Мамыкенов Д.Т., Темирәлиев Т.

**Исследования коллективных  
переменных в неупругих  
антипротон-протонных  
взаимодействиях при энергиях  
22,4 ГэВ/с и 32 ГэВ/с**

В работе исследуются коллективные переменные в антипротон-протонных взаимодействиях при импульсах 22,4 ГэВ/с и 32 ГэВ/с. Вычисляются значения парциального коэффициента неупругости и сферисити, описывающие струйность адронов и построены графики их зависимостей для 3-х групп множественности в аннигиляционных и неаннигиляционных каналах. Проведен анализ графиков и получена корреляция между сферисити и парциальным коэффициентом неупругости.

Было определено, что распределение парциального коэффициента неупругости в неаннигиляционном канале концентрировано в области  $K_{\pi^{\pm}} > 0.5$ , тогда как в аннигиляционном канале в области  $K_{\pi^{\pm}} < 0.5$ . Показано, что преимущественно большие значения сферисити наблюдаются при больших значениях  $K_{\pi^{\pm}}$ , причем максимум распределений и само распределение смещаются в сторону больших значений S, при этом распределение сферисити становится симметричным с ростом числа рожденных частиц.

**Ключевые слова:** Сферисити событий, парциальный коэффициент неупругости, коллективные переменные.

**ЭНЕРГИЯЛАРЫ  
22,4 ГЭВ/С ЖӘНЕ  
32 ГЭВ/С -ТАҒЫ  
СЕРПІМСІЗ  
АНТИПРОТОН-  
ПРОТОНДЫҚ  
ӘРЕКЕТТЕСУЛЕРІНДЕГІ  
ҰЖЫМДЫҚ  
АЙНЫМАЛЫЛАРДЫ  
ЗЕРТТЕУ**

**Кіріспе**

Заманауи көзқараста адрондардың қорытынды күйі кварктық бөлшектердің адрондалу нәтижесінде байқалады. Антипротон– протондық жүйеге жататын ( $uud$ ) құрылымдық кварктардың және ( $\bar{u}\bar{u}\bar{d}$ ) антикварктардың адрондалуы келесі жолдармен: аннигиляциялық емес  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}n(\pi^+\pi^-)x^0$  құбылысында валентті кварктар сақталады немесе қайта зарядталу  $\bar{p}p \rightarrow \bar{n}n(\pi^+\pi^-)x^0$  реакциясында  $u(\bar{u})$  кварктардың біреуі  $d(\bar{d})$  кваркіне ауысады, ал аннигиляциялық  $\bar{p}p \rightarrow n(\pi^+\pi^-)x^0$  реакциясында валентті кварктар соқтығысу кезінде аннигиляцияға ұшырайды. Осы мақсатта импульстері 22,4 ГэВ/с және 32 ГэВ /с-тағы антипротон-протондық әрекеттесулердің әртүрлі арналары үшін мезондардың сфериситі мен үлестік серпімсіздік коэффициенті арасындағы тәуелділігіне талдау жасалады. Реакция нәтижесінде пайда болатын мезондар санының бірдей көлемінде сфериситінің  $S$  таралуы мен оның орташа мәндерін салыстырғанда, антипротон-протондық әрекеттесулердің аннигиляциялық арналарына қарағанда аннигиляциялық емес арналарында сфериситінің орташа мәні жоғарылау болып келетіні анықталған.

**Зерттеу әдістемесі**

Антипротон-протон әрекеттесулерінің әртүрлі арналарындағы ұжымдық айнымалылар  $S$  сфериситі мен  $K_{\pi^\pm}$  үлестік серпімсіздік коэффициенті арасындағы тәуелділікті табу, көптеген процестердің динамикасын анықтауда белгілі бір қызығушылық тудырады.

Импульстік кеңістіктегі жекешеленген әрекеттесулерде бөлшектердің таралуы сфериситімен сипатталады.

$$S = \frac{3}{2} \min \sum_{i=1}^{n_{\pi^\pm}} p_{\perp i}^2 / \sum_i \bar{p}^2.$$

Ал  $\pi^\pm$  – мезондардың үлестік серпімсіздік коэффициенті

$$K_{\pi^\pm} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\pi^\pm}} E_{\pi^\pm i}}{E_0},$$

өрнегімен анықталады. Мұндағы  $p^2, p_{\perp}^2, n_{\pi^+}, E_{\pi^+}$  және  $E_0$  сәйкесінше импульс квадраты, көлденең импульс квадраты, мезондар саны, мезондардың энергиялары мен массалар центрі жүйесіндегі әрекеттесудің толық энергиясы.

Жұмыста жасалған әдістеме бойынша серпімсіз әрекеттесудің келесі арналары таңдалған:

$$\bar{p}p \rightarrow m(\pi^+\pi^-)x^0 \quad (1)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{n}nm(\pi^+\pi^-)x^0 \quad (2)$$

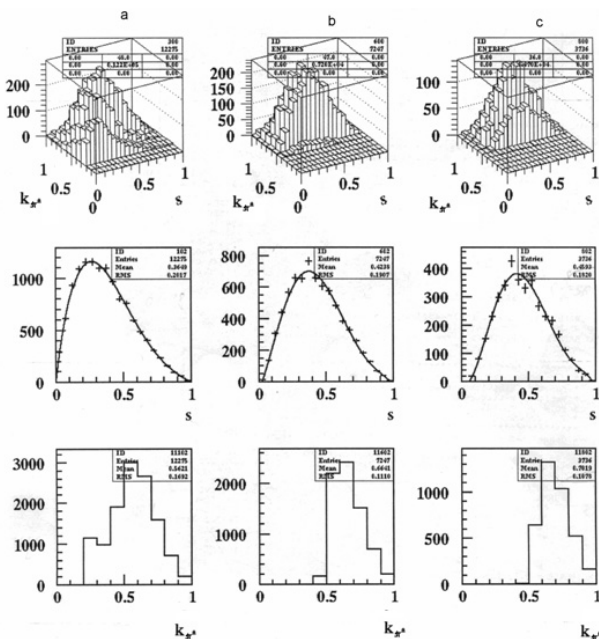
$$\bar{p}p \rightarrow \bar{p}pm(\pi^+\pi^-)x^0 \quad (3)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{n}p\pi^+m(\pi^+\pi^-)x^0 \quad (4)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{n}p\pi^-m(\pi^+\pi^-)x^0 \quad (5)$$

мұндағы  $m$  – зарядталған ( $\pi^+\pi^-$ ) қосақтарының саны және  $x^0$  – зарядталмаған бөлшектер үлесі.

1-суретте сферисити мен үлестік серпімсіздік коэффициенті арасындағы тәуелділіктер, сонымен қатар  $n \geq 2$  (сурет-1a),  $n \geq 6$  (сурет-1b) және  $n \geq 8$  (сурет-1c) жиындарына сәйкес үш топтағы  $\bar{p}p \rightarrow m(\pi^+\pi^-)x^0$  аннигиляциялық арнасына жататын айнымалы сферисити мен үлестік серпімсіздік коэффициентінің таралулары көрсетілген.



1-сурет – Аннигиляциялық антипротон – протондық  $\bar{p}p \rightarrow m(\pi^+\pi^-)x^0$  реакциясындағы S оқиға сфериситиінің  $K_{\pi^+}$  үлестік серпімсіздік коэффициентке тәуелдігі

Жоғарыда қарастырылған барлық үш топтағы әрекеттесулерде сферисити мен үлестік серпімсіздік коэффициенті арасындағы тәуелділіктің қатаң заңдылығы анықталмады, бірақ сфериситиінің үлкен мәндері көбінесе үлестік серпімсіздік коэффициентінің үлкен мәндерінде байқалады. Сферисити таралуы мен максимумы сфериситидің жоғары мәндеріне қарай ығысады, сонымен қатар пайда болатын бөлшектер саны артқан сайын сферисити таралуы симметриялана түседі. 1-суретте бейнеленген  $n \geq 2, n \geq 6$  және  $n \geq 8$  топтарына арналған тәуелділік қисықтары бесінші дәрежелік полиномды жуықтау арқылы алынған.

Үлестік серпімсіздік коэффициенті  $K_{\pi^+}$  шамасы негізінен  $K_{\pi^+} > 0.5$  аймағында шоғырланады, ал  $K_{\pi^+}$  таралуы соңында пайда болған бөлшектер санының артуымен жоғарғы мәндеріне қарай ығысады. Зарядталған мезондардың саны, үлестік серпімсіздік коэффициентінің  $\langle \hat{E}_{\pi^+} \rangle$ , оқиға сфериситиінің  $\langle S \rangle$  орташа мәндері, өңделген N оқиғалардың санының  $\sigma_S^2, \sigma_K^2$  дисперсиясы және  $n$  жиындық 1-кестеде келтірілген.

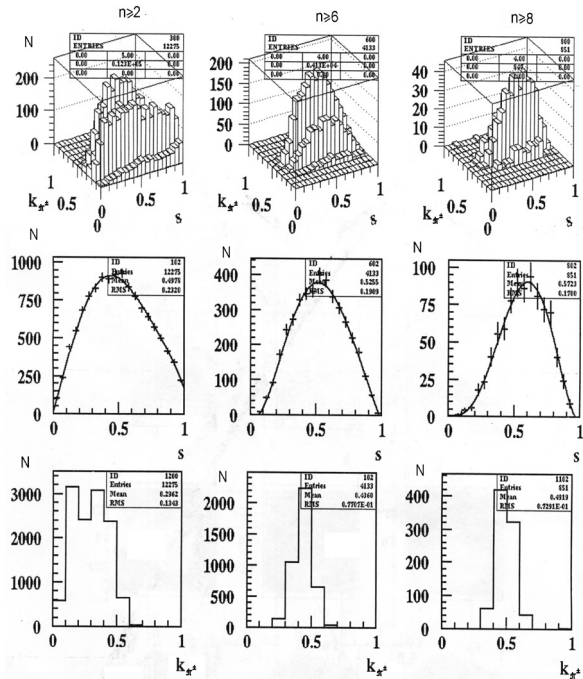
2-суретте протон мен антипротонның нейтрон мен антинейтронға қайта зарядтау реакциясы үшін 1-суретке ұқсас графиктер көрсетілген. Серпімсіз антипротон-протондық әрекеттесуінің бұл арнасының қызығушылық тудыру себебі кейбір жиындарда реакция нәтижесіндегі зарядталған мезондардың саны антипротон-протонның аннигиляциялық арнасымен бірдей.

Ұжымдық айнымалылар сферисити мен үлестік серпімсіздік коэффициенті арасында тікелей байланыс байқалмайды, бірақ та келесі заңдылық орындалады: сфериситиінің үлкен мәндері көбінесе  $K_{\pi^+}$  үлестік серпімсіздіктің үлкен мәндерінде ғана анықталады. Жиындылықтың өсуімен қайта зарядтау  $\bar{p}p \rightarrow m(\pi^+\pi^-)x^0$  реакциясындағы S оқиға сфериситиі және  $K_{\pi^+}$  үлестік серпімсіздік коэффициенті айнымалыларының өзгерісінің сипаты антипротон-протондық аннигиляция реакциясымен сәйкес (1-кесте), бірақ реакция нәтижесінде мезондардың ұшып шығуы аннигиляция реакциясына қарағанда сфералық болып табылады. Мезондардың сферисити таралуы бесінші дәрежелі полиноммен жақсы сипатталады.

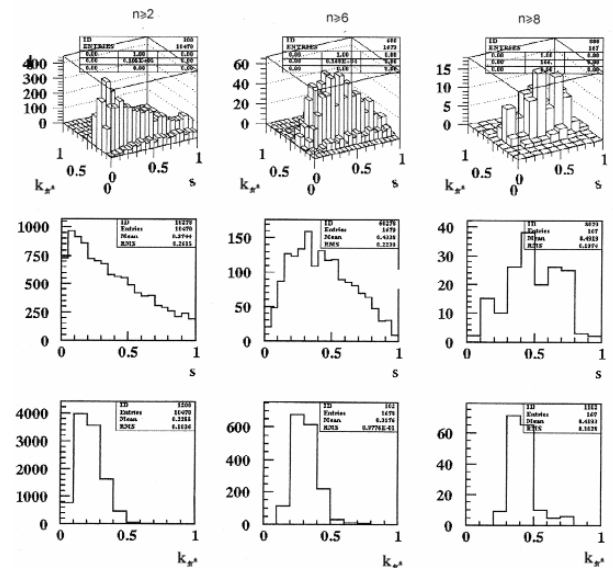
$\bar{p}p \rightarrow \bar{p}pm(\pi^+\pi^-)x^0$  реакциясы үшін S оқиға сфериситиінің  $K_{\pi^+}$  үлестік серпімсіздік коэффициентке қатысты тәуелдігі және осы шамалардың дифференциалды таралуы 3-суретте келтірілген.

1-кесте – Зарядталған мезондардың саны, үлестік серпімсіздік коэффициентінің  $\langle \hat{E}_{\pi^\pm} \rangle$ , оқиға сфериситінің  $\langle S \rangle$  орташа мәндері, өңделген N оқиғалардың санының  $\sigma_S^2, \sigma_K^2$  дисперсиялары және n жиындық мәндері

Параметр \ Реакция	n	$n_{\pi^\pm}$	N	$\langle S \rangle$	$\sigma_S^2$	$\langle K_{\pi^\pm} \rangle$	$\sigma_K^2$
$\bar{p}p \rightarrow m(\pi^+ \pi^-)x^0$	$\geq 2$	$\geq 2$	12275	0.365±0.007	0.202	0.562±0.010	0.169
	$\geq 6$	$\geq 6$	7247	0.424±0.010	0.191	0.664±0.016	0.111
	$\geq 8$	$\geq 8$	3736	0.459±0.015	0.182	0.702±0.022	0.108
$\bar{p}p \rightarrow \bar{n}nm(\pi^+ \pi^-)x^0$	$\geq 2$	$\geq 2$	12434	0.497±0.009	0.232	0.295±0.005	0.134
	$\geq 6$	$\geq 6$	4133	0.526±0.016	0.191	0.436±0.014	0.077
	$\geq 8$	$\geq 8$	851	0.572±0.039	0.170	0.492±0.034	0.073
$\bar{p}p \rightarrow \bar{p}pm(\pi^+ \pi^-)x^0$	$\geq 4$	$\geq 2$	10470	0.374±0.008	0.262	0.226±0.004	0.104
	$\geq 6$	$\geq 4$	1679	0.434±0.022	0.224	0.318±0.016	0.098
	$\geq 8$	$\geq 6$	167	0.492±0.078	0.197	0.419±0.065	0.103
$\bar{p}p \rightarrow n\bar{p}\pi^+m(\pi^+ \pi^-)x^0$	$\geq 2$	$\geq 1$	13337	0.399±0.007	0.269	0.285±0.005	0.168
	$\geq 6$	$\geq 5$	4359	0.458±0.014	0.210	0.442±0.014	0.119
	$\geq 8$	$\geq 7$	891	0.486±0.032	0.192	0.523±0.035	0.112
$\bar{p}p \rightarrow \bar{n}p\pi^-m(\pi^+ \pi^-)x^0$	$\geq 2$	$\geq 1$	9641	0.405±0.008	0.268	0.260±0.005	0.168
	$\geq 6$	$\geq 5$	1736	0.411±0.020	0.192	0.449±0.021	0.126
	$\geq 8$	$\geq 7$	356	0.439±0.047	0.171	0.550±0.058	0.125



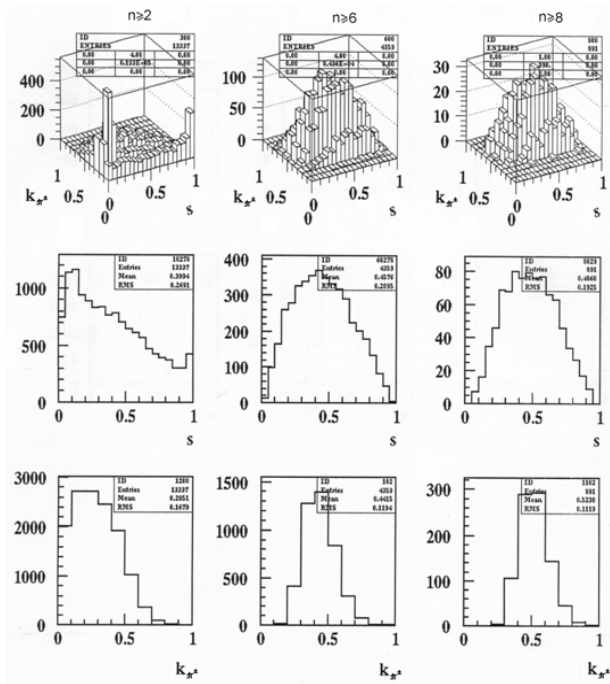
2-сурет – Қайта зарядтау  $\bar{p}p \rightarrow m(\pi^+ \pi^-)x^0$  реакциясындағы S сфериситінің  $K_{\pi^\pm}$  үлестік серпімсіздік коэффициентке қатысты тәуелдігі



3-сурет – импульсі 22,4 ГэВ/с-тағы  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}pm(\pi^+ \pi^-)x^0$  реакциясындағы S оқиға сфериситінің  $K_{\pi^\pm}$  үлестік серпімсіздік коэффициентке қатысты тәуелдігі

Реакция нәтижесіндегі зарядталған мезондар саны бірдей болса да  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi(\pi^+\pi^-)x^0$  реакциясында оқиғалар сфериситінің таралуы мен  $\langle S \rangle$  орташа мәні протон және антипротонның қайта зарядтау реакциясының сәйкес таралуларынан өзгеше (кесте 1).

Үлестік серпімсіз таралу  $K_{\pi^\pm}$  (2) және (3) реакцияларында  $K_{\pi^\pm} > 0.5$  аймағында шоғырланған, ал аннигиляциялық антипротон-протондық реакцияда  $K_{\pi^\pm} < 0.5$  аймағында.

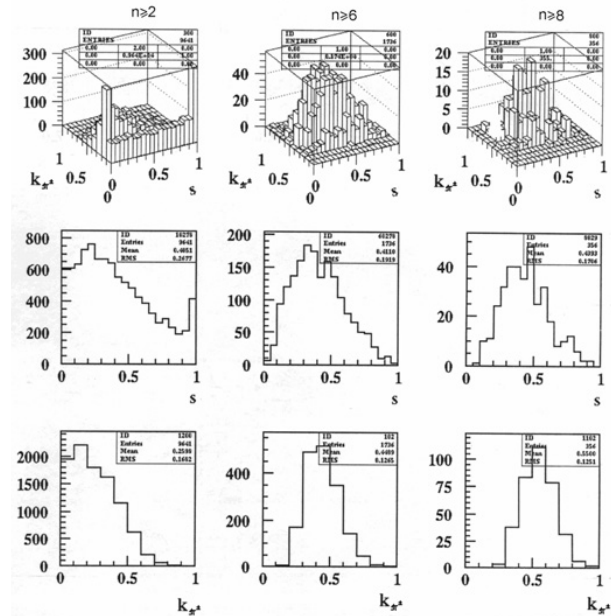


4-сурет – Тек протонды қайта зарядтау  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^+\pi^-x^0$  реакциясындағы S оқиға сфериситінің  $K_{\pi^\pm}$  үлестік серпімсіздік коэффициентке қатысты тәуелдігі

4 және 5-ші суреттерде сәйкесінше  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^+\pi^-x^0$  және  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^-\pi^-x^0$  реакциялары үшін S оқиға сфериситінің  $K_{\pi^\pm}$  үлестік серпімсіздік коэффициентке тәуелдігі және осы шамалардың дифференциалды таралуы келтірілген.

Тек протонды  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^+\pi^-x^0$  және тек антипротонды  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^-\pi^-x^0$  қайта

зарядтау реакцияларының S оқиға сфериситі мен  $K_{\pi^\pm}$  үлестік серпімсіздік коэффициенті бойынша таралулары ұқсас.



5-сурет – Тек антипротонды  $\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p\pi^-\pi^-x^0$  қайта зарядтау реакциясындағы S оқиға сфериситінің  $K_{\pi^\pm}$  үлестік серпімсіздік коэффициентке қатысты тәуелдігі

### Қорытынды

1. Оқиға сфериситінің  $K_{\pi^\pm}$  үлестік серпімсіздік коэффициентіне тәуелдігін талдау нәтижесі: сферисити шамасының үлкен мәндері көбінесе  $K_{\pi^\pm}$ -ның үлкен мәндерінде байқалады.

2. Нейтрон мен антинейтронға қайта зарядталу реакциясын аннигиляциялық реакциямен салыстырғанда, пайда болатын мезондардың ұшып шығуы сфералау болып келеді.

3. Аннигиляциялық емес  $\bar{p}p$  әрекеттесулеріндегі зарядталған мезондар үшін үлестік серпімсіздік коэффициентінің үлестірімі  $K_{\pi^\pm} < 0.5$  аймағында, ал аннигиляциялық арнадағы  $K_{\pi^\pm}$  үлестірімі  $K_{\pi^\pm} > 0.5$  аймағында шоғырланады.

Алынған нәтижелер «жұмсақ адронизация» құбылысын сипаттайтын теориялық моделдерді құру барысында маңызды рөл атқарады.

**Әдебиеттер**

- 1 Hanson G. et. al. Evidence for Jet Structure in Hadron Production by  $e^+e^-$  Annihilation // Phys. Rev. Lett. – 1975. – Vol 35. – P.1609-1612.
- 2 Мурзин В.С., Сарычева Л.И. Взаимодействия адронов высоких энергий. – М.: Наука, 1983. – 288 с.
- 3 Гришин В.Г., Диденко Л.А., Елисеев С.М., Канарек Т., Метревели З.В., Мурзин В.С. Анализ струйного поведения адронов  $\pi$ -с-взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с // Ядерная физика. – 1983. – Т.37. – С.915-919.
- 4 Боос Э.Г., Темирәлиев Т. и др. Методика выделения событий  $pp$ -аннигиляции при импульсе 22,4 ГэВ/с // Известия НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2000. – №2. – С.35-44.

**References**

- 1 G. Hanson et. al., Phys. Rev. Lett. 35, 1609, (1975).
- 2 V.S. Murzin, L.I. Sarysheva, *Interaction of higher energy adrons*, М.: Nauka, 1983, 288. (in russ).
- 3 V.G. Grichin, L.A. Didenko, S.M. Yeliseyev, T. Kanarek, Z.V. Metreveli, V.S. Murzin, Nuclear Physics, 37, 915, (1983) (in russ).
- 4 E.G. Boos, T. Temiraliev, News of National Academy of Sciences of Kazakhstan. Ser. Phys.-math., 2, 35, (2000) (in russ).