

Научная сессия секции ядерной физики ОФН РАН, 1-5 апреля, 2024, г. Дубна

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
**«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ»**  
имени А.А. ЛОГУНОВА

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ  
«Курчатовский институт» – ИФВЭ)

**Особенности рождения кумулятивных мезонов и антипротонов  
в  $p+W$  взаимодействиях  
под углом 37.6 градусов и энергии пучка 50 ГэВ**

Н.Н. Антонов, В.А. Гапиенко, Г. С. Гапиенко, А.Г. Прудкогляд, А.А. Семак, И.П. Солодовников,  
М.Н. Уханов, В. А. Викторов.

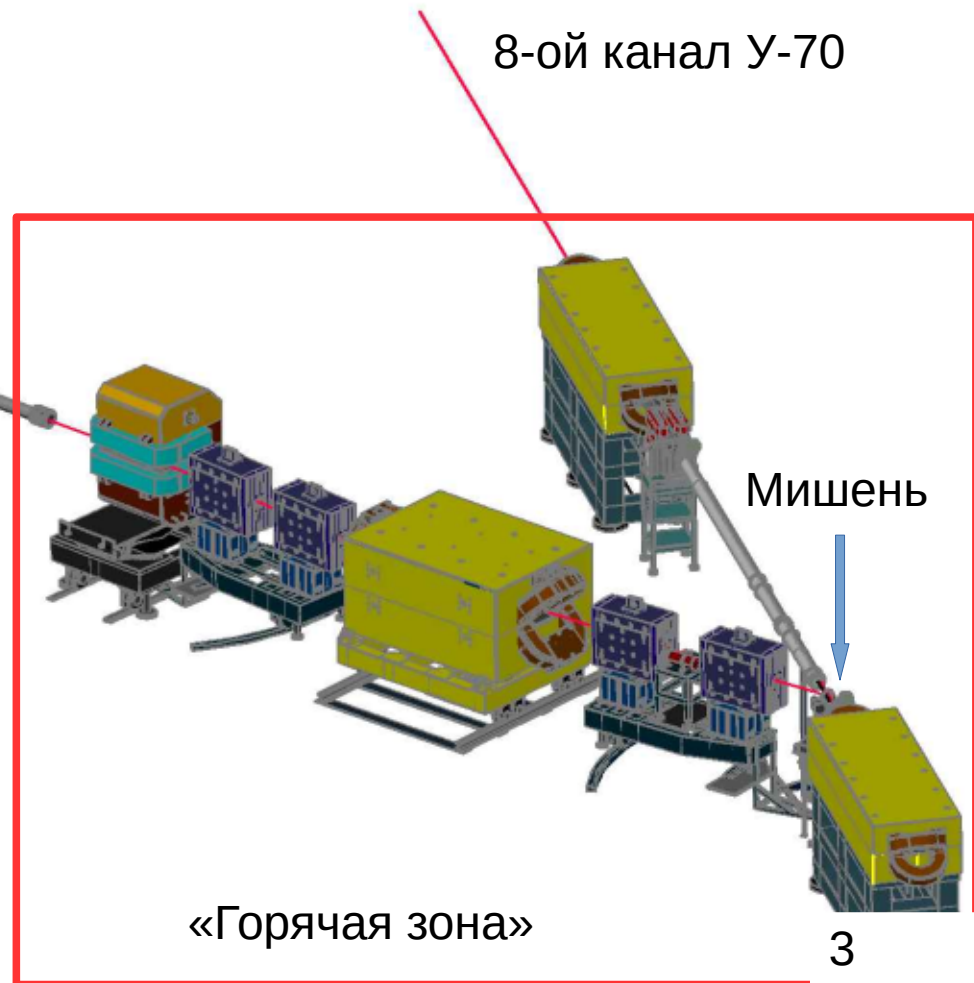
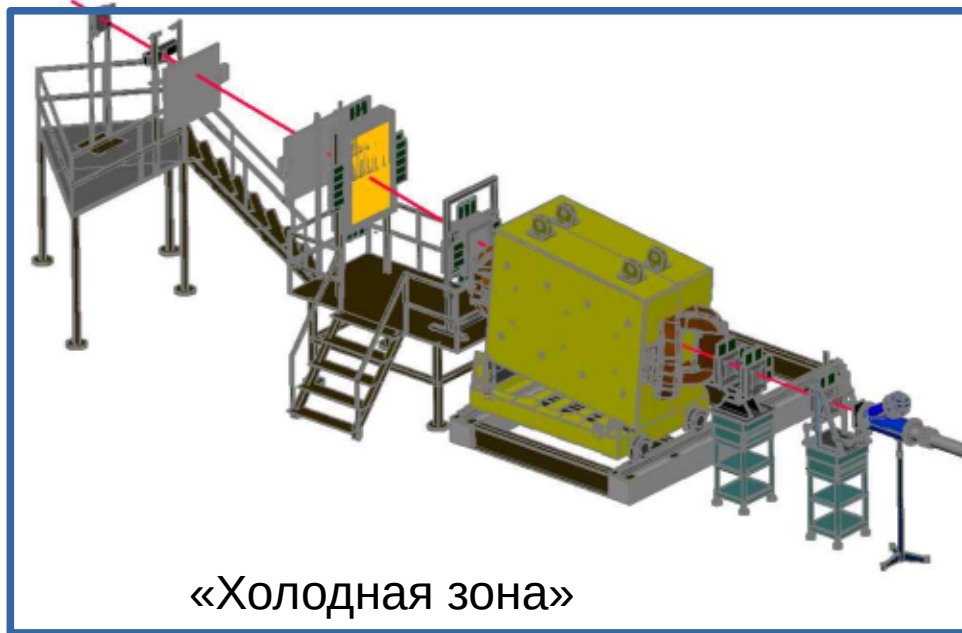
Этот доклад о продолжении исследований доложенных на:

LXX International Conference “NUCLEUS – 2020. Nuclear physics and elementary particle physics.  
Nuclear physics technologies”, St Petersburg, October 11-17, 2020.

## Введение

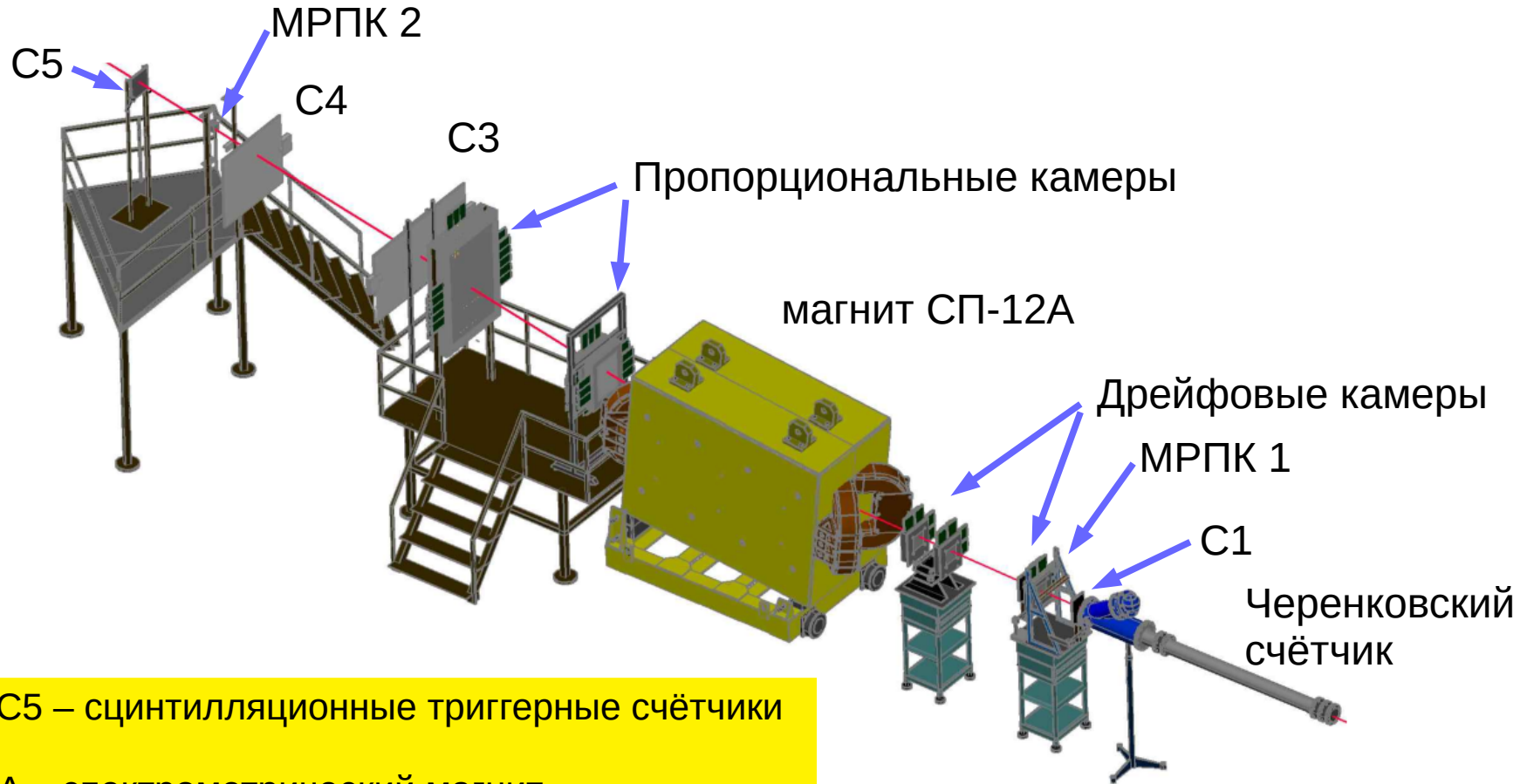
- В докладе представлены данные, полученные на одноплечевом спектрометре “СПИН”, о сечениях рождения  $\pi$ ,  $K$  мезонов и антипротонов с большими поперечными импульсами ( $p_t > 1$  ГэВ/с) в  $p+W$  взаимодействиях.
- Основное внимание уделяется изучению т.н. кумулятивной области. Для этого был подобран “специальный” угол, 37.6 градусов, на котором магнитные элементы установки позволяют исследовать эту область максимально широко.
- Кумулятивной областью называется область импульсов, запрещенных по кинематике для взаимодействий налетающей частицы (протона) на свободных нуклонах.
- Группа частиц из  $\pi$ ,  $K$  мезонов и  $\bar{p}$  содержит валентные кварки не входящие в состав ядра и поэтому мы их рассматриваем отдельно от кумулятивных  $p$ ,  $d$ ,  $t$ .
- Целью эксперимента является получение информации о механизме образования кумулятивных частиц.

# Общий вид одноплечевого спектрометра СПИН на У-70



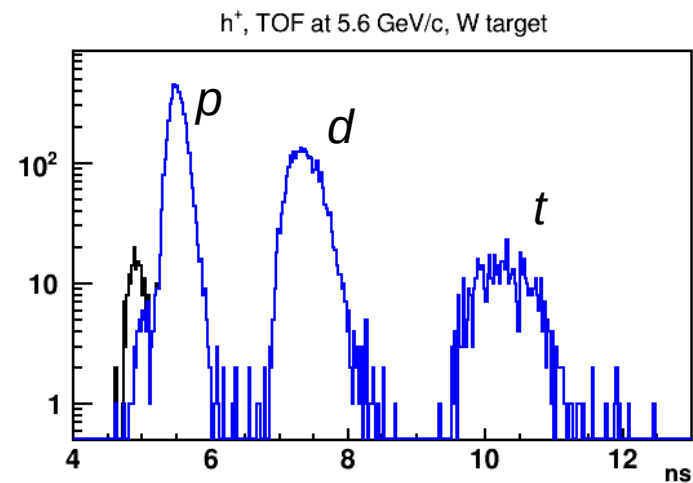
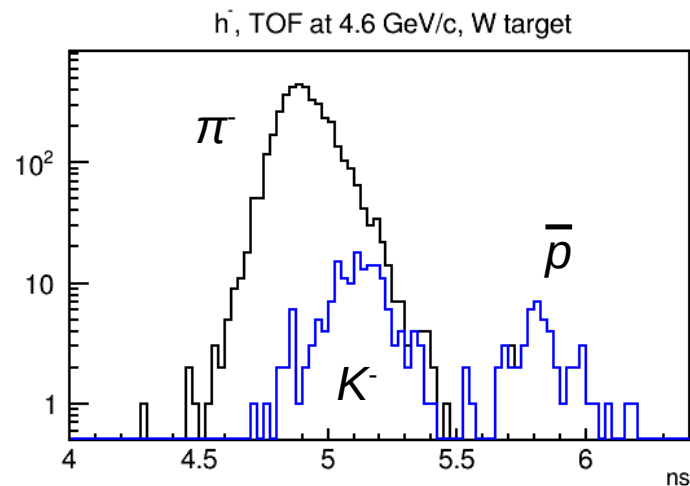
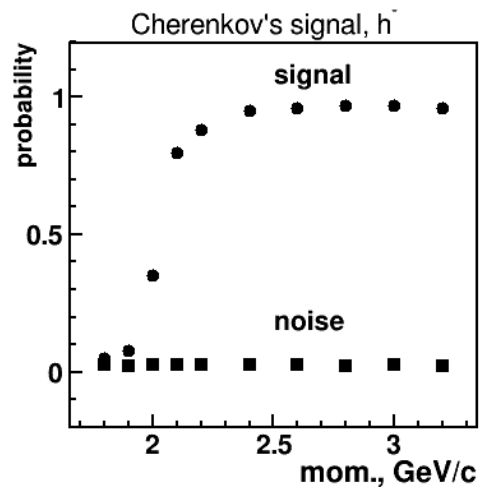
- Установка использует 50, 25 GeV/c протонные и 20 GeV/A углеродный пучки, с интенсивность  $10^{13}$  и  $10^{10}$ /сброс соответственно.
- Спектрометр имеет примерно  $\sim 3\%$  импульсный захват и 10 мрад по углу  $\theta$ .
- Используются мишени:  $H_2$ ,  $Li$ ,  $C$ ,  $Al$ ,  $Cu$ ,  $W$ , с толщиной до 1% ядерной длины.
- Лабораторные углы могут варьироваться от 22 до 55 градусов. Это осуществляется перемещением магнитов в горячей зоне.

# Анализирующая часть спектрометра.



- C1 ... C5 – сцинтилляционные триггерные счётчики
- СП-12А – спектрометрический магнит
- МРПК1, МРПК2 – времяпролётная система

# Система идентификации частиц



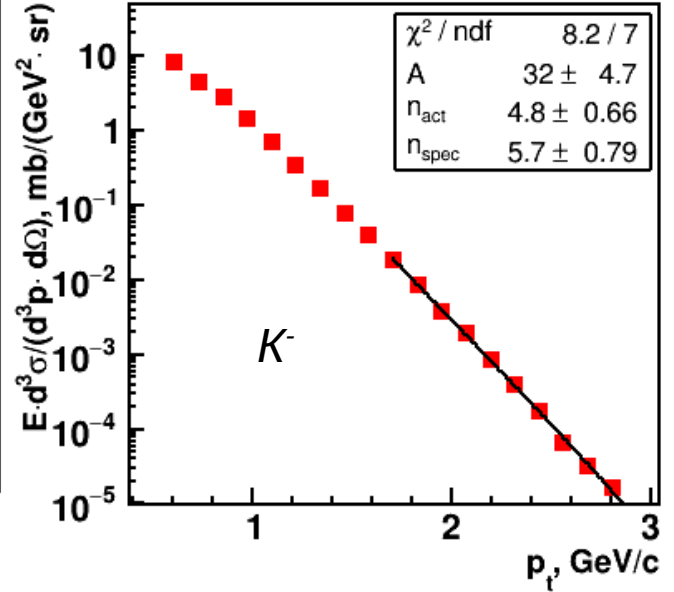
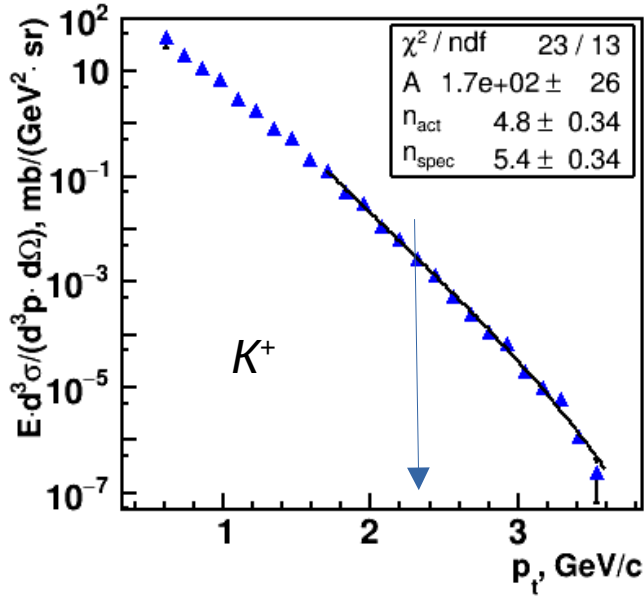
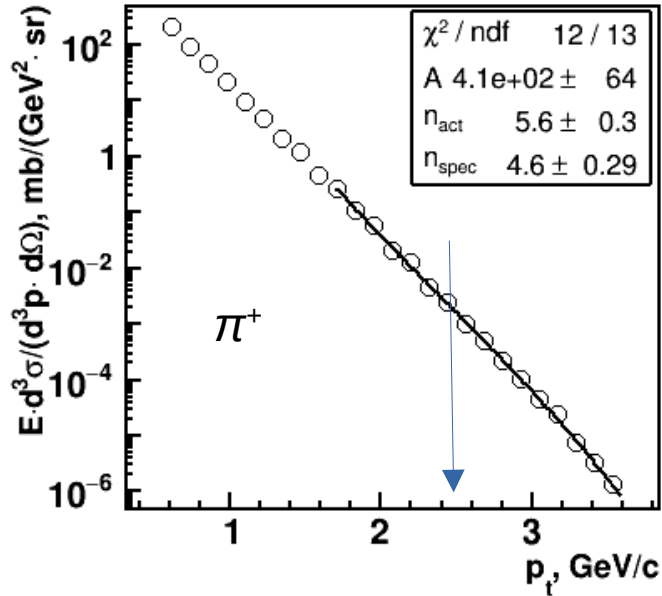
Временное разрешение времяпролётной системы - около 85 пс.

Эффективность черенковского счётчика - около 99%

**Синие** гистограммы содержат события без сигнала в черенковском счетчике.

**Чёрные** гистограммы – все события.

# Спектры мезонов при больших $p_t$



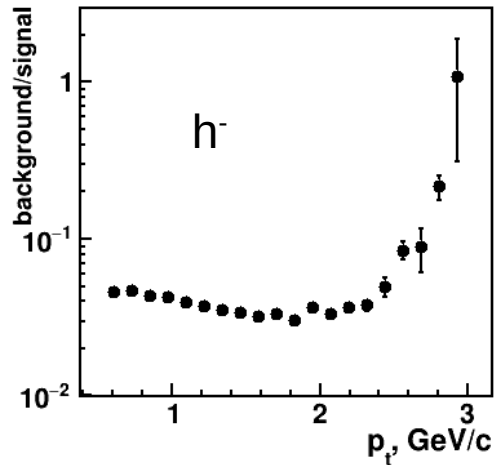
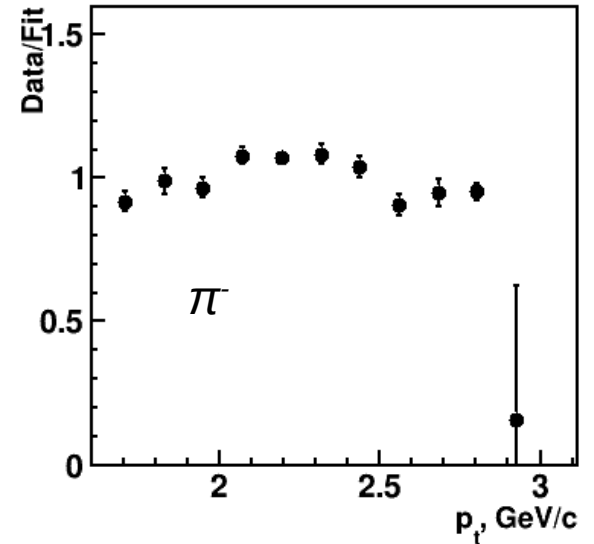
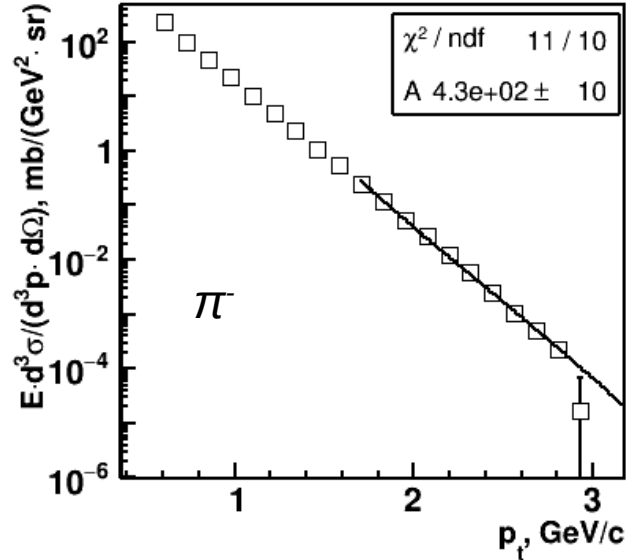
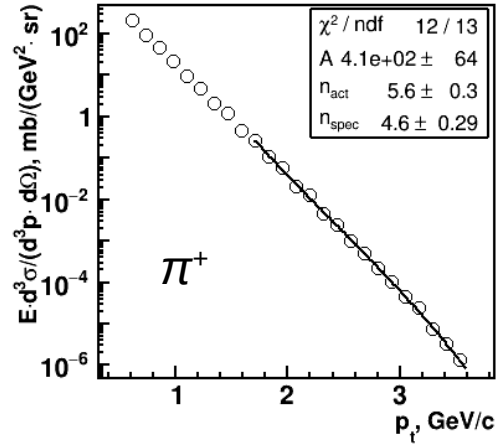
$$E \frac{d\sigma}{d^3 p} \sim \frac{(1-x_T)^{2n_{\text{spec}}-1}}{p_T^{2n_{\text{act}}-4}}, \quad x_T = \frac{2p_t}{\sqrt{s}} > 0.35$$

F. Arleo et. al., Phys. Rev. Lett. 105, 062002 (2010)

D. Antreasyan, et. al., Phys. Rev. D, Vol. 19, Num. 3, 1979, p764

- Все мезоны рождаются в многокварковых реакциях взаимодействия.
- $K^+$  и  $K^-$  мезоны имеют сходные параметры наклона спектра.
- Это указывает на подобие структуры многокварковых реакций, в которых они рождаются.

# Верхняя граница кумулятивного эффекта, для $h^-$



Обнаружено “обрывание” кумулятивных ( $p_t > 2.5$  ГэВ/с) спектров, при поперечных импульсах более 2.8 ГэВ/с.

Может быть, это связано с «кварковой асимметрией» системы из взаимодействующих  $p$  и  $W$ .

# Существующее предсказание в области больших поперечных ИМПУЛЬСОВ

В. С. Ставинский, Краткие сообщения ОИЯИ №18-86, 1986  
 “Единый алгоритм вычисления инклюзивных сечений рождения частиц  
 с большими поперечными импульсами и адронов кумулятивного типа”

$$(X_I \cdot M_I) + (X_{II} \cdot M_{II}) \rightarrow m_1 + (X_I \cdot M_I + X_{II} \cdot M_{II} + m_2), \quad /1/$$

$$\frac{1}{A} E \frac{d\sigma}{d\vec{p}} = \sigma_0 F_1(G) \cdot F_2(A) \cdot \exp\{-(D_0 + D_1)(S_{\min}^{1/2} - B)\}, \quad /6/$$

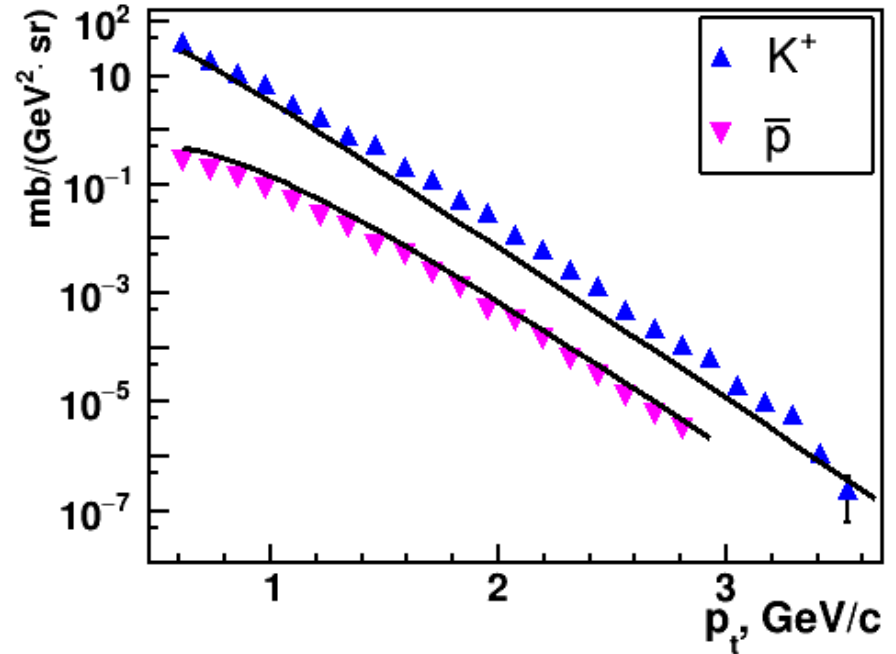
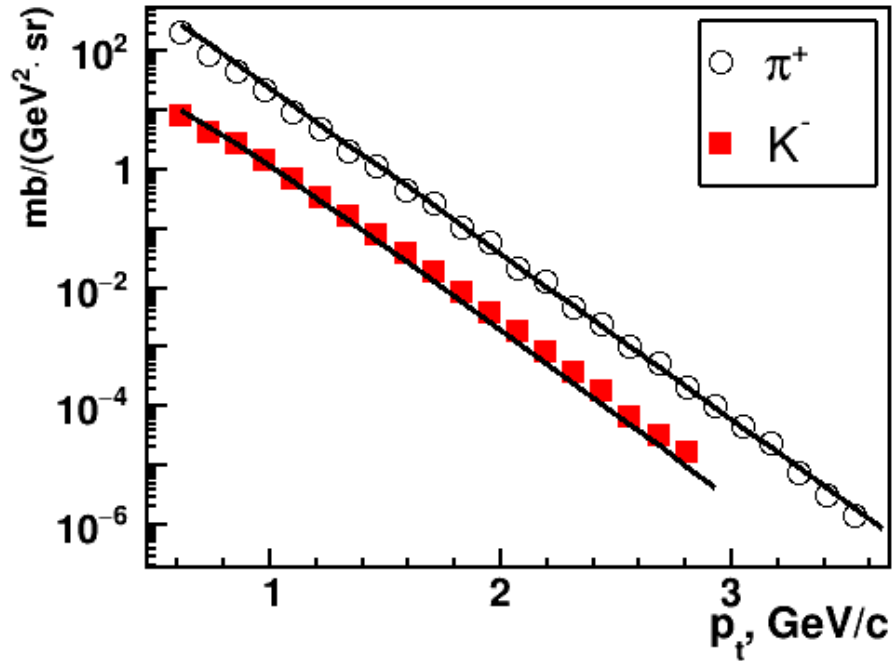
Таблица 1

$m_1$	$\pi^0$	$K^-$	$\bar{p}$	$K^+$	$p$	$d$
$m_2$	0	$m_K$	$m$	$(m_{\Lambda} - m)$	$(-m)$	$(-2m)$

В. С. Ставинский препринт ОИЯИ Р2-80-767, Дубна 1980



# Сравнение инклюзивных спектров с параметризацией В. С. Ставинского



Качественно, наблюдаемые спектры совпадают с параметризацией.  
Наибольшее расхождение для  $K^+$  мезонов.

# Примеры данных, взятых для параметризации

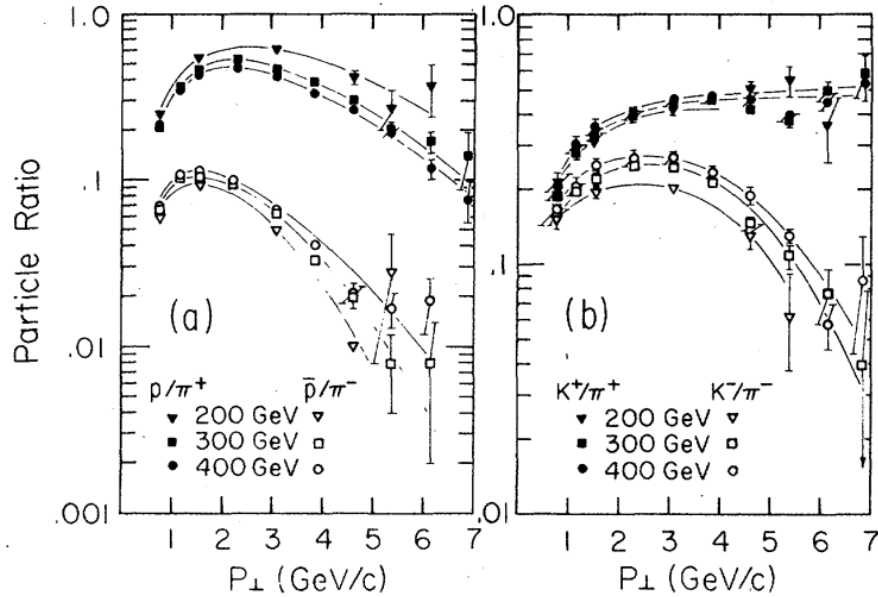
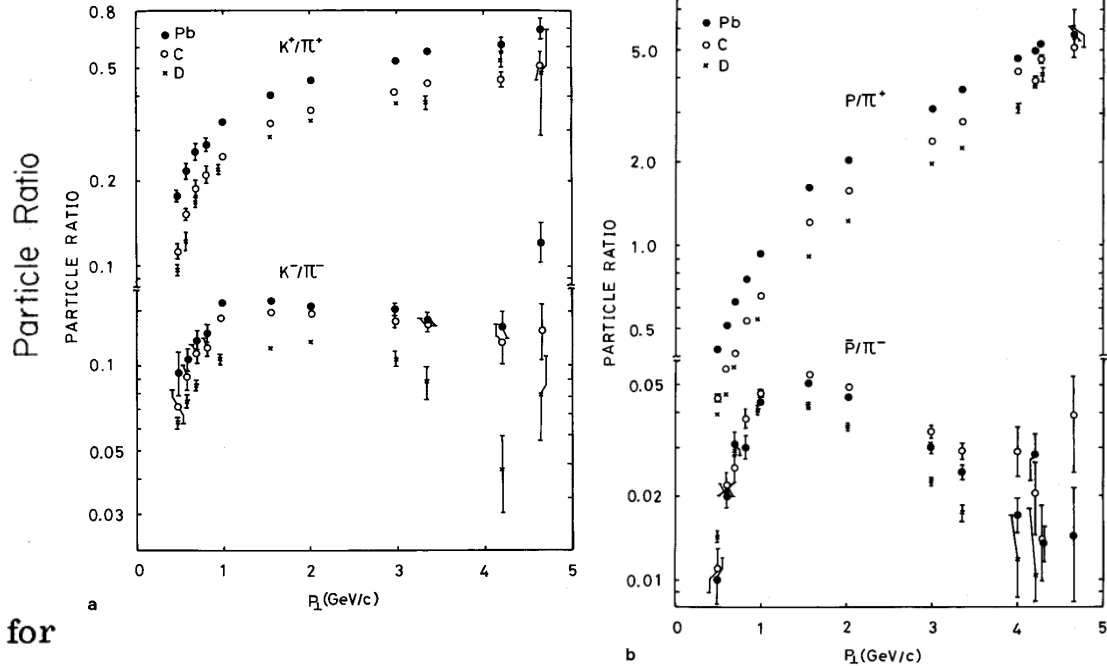
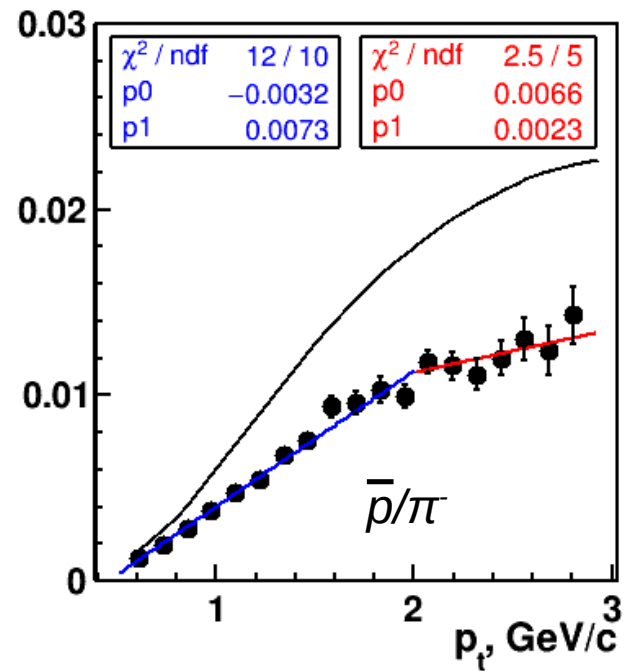
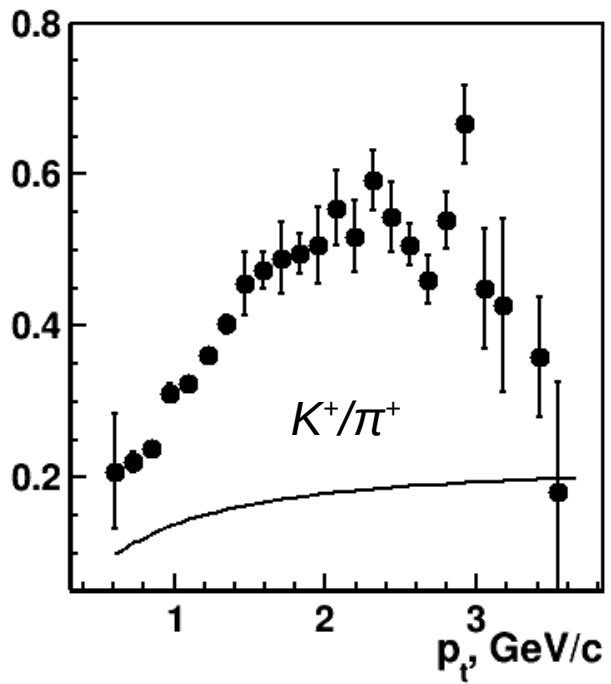
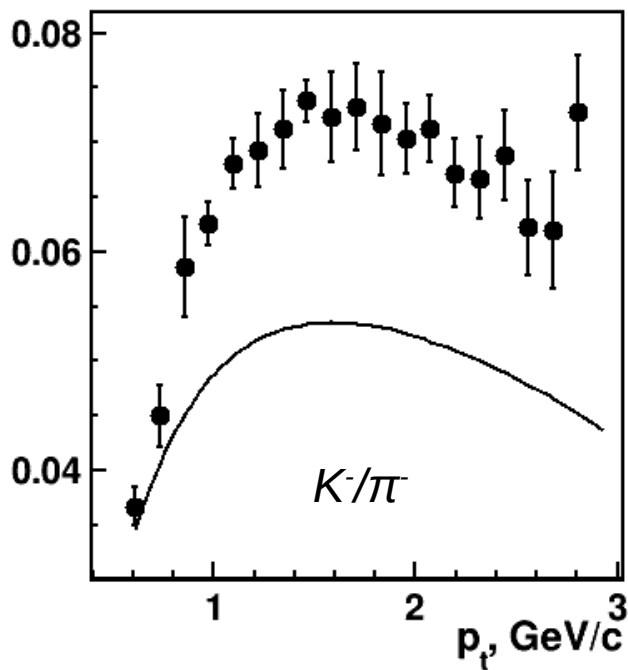


FIG. 6.— The particle ratios  $p/\pi$  and  $K/\pi$  versus  $p_{\perp}$  for 200-, 300-, and 400-GeV  $p$ - $p$  collisions.



V.V. Abramov et al., Z. Phys. C - Particles and Fields 24, 205-215 (1984)

## Отношения сечений



Поперечные импульсы  
при которых  $X_2$  или  
 $X$  равны массе нуклона

	$\pi$	$K^-$	$K^+$	$\bar{p}$	$p$
$X_2$	1.35	1.15	1.22	-/-	-/-
$X$	2.46	2.34	2.38	2.03	2.25

# Данные эксперимента PHENIX

S.S. Adler et al, Phys. Rev. Lett. V91, Num. 17

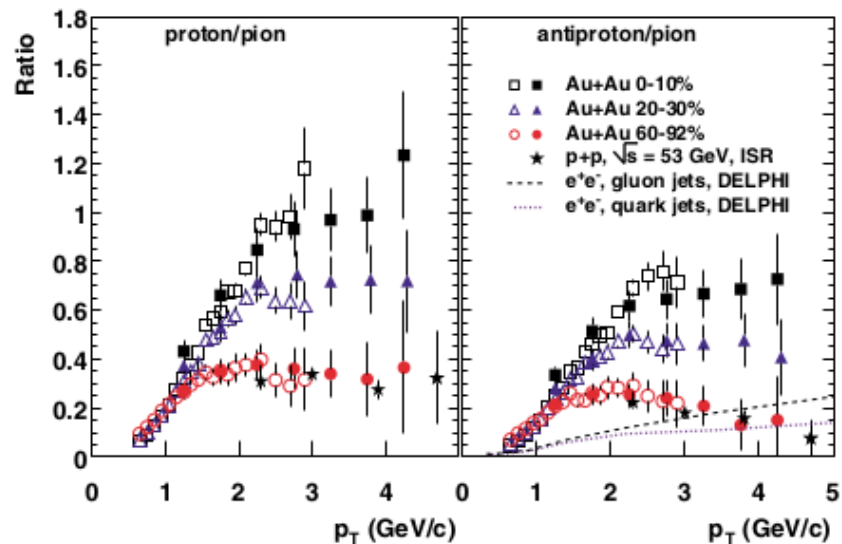


FIG. 1 (color online).  $p/\pi$  (left) and  $\bar{p}/\pi$  ratios for central (0–10%), midcentral (20–30%), and peripheral (60–92%) Au + Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV. Open (filled) points are for  $\pi^\pm$  ( $\pi^0$ ), respectively. Data from  $\sqrt{s} = 53$  GeV  $p + p$  collisions [7] are shown with stars. The dashed and dotted lines are  $(\bar{p} + p)/(\pi^+ + \pi^-)$  ratios in gluon and in quark jets [8].

## Заключение

- Обнаружено, что существует максимальное значение поперечного импульса для отрицательных кумулятивных частиц в  $p+W$  взаимодействиях.
- При поперечных импульсах  $>1.5$  ГэВ/с, наклоны спектров  $K$  мезонов одинаковые. Это указывает на “зеркальную” структуру многокварковых взаимодействий, где они рождаются.
- Для  $\pi$  мезонов,  $K^-$  и  $\bar{p}$ , предположение В.С. Ставинского о едином механизме образования кумулятивных частиц и частиц с большими поперечными импульсами качественно согласуется с нашими данными.
- При переходе через границу отмеченную  $X=t_p$ , наблюдается уменьшение доли  $K$  мезонов относительно  $\pi$  мезонов.
- В отношении сечений  $\bar{p}/\pi$  обнаруживается «точка перегиба», при  $p_t \approx 2$  ГэВ/с. Форма кривой характерна для центральных ядро-ядерных взаимодействий. Это может указывать на большее число первичных кварк-кварковых взаимодействий при образовании кумулятивных частиц, чем для частиц с большими  $p_t$  в  $p+A$  взаимодействиях.