

Исследования рождения К-мезонов в нуклон-нуклонных и нуклон-ядерных столкновениях на спектрометре ANKE (FZ-Juelich, Германия)

С.Г.Барсов

1. Ускоритель COSY (до 2015 г.)
2. Спектрометр ANKE. Выделение K^+ -мезонов.
3. Флагманский эксперимент: $p A \rightarrow K^+ X$
4. Спектрометр ANKE. Выделение $K^+ K^-$ пар.
5. Процессы $p A \rightarrow K^+ K^- X$
6. Процессы $p N \rightarrow K^+ K^- X$
7. Заключение

The legacy of the experimental hadron physics programme at COSY

C. Wilkin^a

Contents

1	Introduction	1	7.6	$pp \rightarrow K^0 p \Sigma^+$	52
2	Facilities	2	7.7	The production of heavy hyperons	52
2.1	The COSY machine	2	7.8	Pentaquarks	53
2.2	Principal installations	3	7.9	Hyperon production in proton-neutron collisions	54
2.3	Targets and equipment	10	8	Kaon pair production	55
2.4	Technical experiments	13	8.1	Kaon pair production in nucleon-nucleon collisions	55
3	Nucleon-nucleon elastic scattering	16	8.2	$pp \rightarrow pp \phi$ and $pn \rightarrow d \phi$ reactions	59
3.1	Proton-proton elastic scattering	16	8.3	$pA \rightarrow K^+ K^- X$ and $pA \rightarrow \phi X$	59
3.2	Neutron-proton elastic scattering	22	9	The $pd \rightarrow {}^3\text{He} X^0 ({}^3\text{H} X^+)$ family of reactions	61
4	Single non-strange meson production in nucleon-nucleon collisions	26	9.1	$pd \rightarrow {}^3\text{He} \pi^0$ and $pd \rightarrow {}^3\text{H} \pi^+$	61
4.1	Phenomenological description	26	9.2	$pd \rightarrow {}^3\text{He} \eta$	62
4.2	Hard bremsstrahlung in proton-proton scattering	27	9.3	The $pd \rightarrow {}^3\text{He} \pi^+ \pi^-$ reaction	67
4.3	Single pion production in nucleon-nucleon collisions	29	9.4	The $pd \rightarrow {}^3\text{He} K^+ K^- (\phi)$ reactions	69
4.4	η production in proton-proton collisions	34	10	The $dd \rightarrow {}^4\text{He} X^0$ family of reactions	70
4.5	η production in proton-neutron collisions	36	10.1	The $dd \rightarrow {}^4\text{He} \eta$ reaction	71
4.6	ω production in proton-proton scattering	37	10.2	The $dd \rightarrow {}^4\text{He} \pi^0$ reaction and charge symmetry	72
4.7	η' production in proton-proton scattering	38	11	Rare decays of η and π^0 mesons	73
5	Two-pion production in nucleon-nucleon collisions	39	11.1	η decays	73
5.1	Two-pion production in proton-proton collisions	39	11.2	Dark photons	74
5.2	Two-pion production in neutron-proton collisions	41	12	Future prospects	75
6	Inclusive strangeness production	43	13	Conclusions	77
6.1	The $pp \rightarrow K^+ X^+$ reaction	43			
6.2	Hypernuclei lifetime measurements	43			
6.3	Inclusive K^+ production on nuclei	44			
7	Hyperon production	45			
7.1	The $pp \rightarrow K^+ p \Lambda$ and $pp \rightarrow K^+ p \Sigma^0$ reactions	45			
7.2	Differential distributions	47			
7.3	Polarization and the Λp scattering length	48			
7.4	The $\Lambda : \Sigma$ cusp effect	50			
7.5	$pp \rightarrow K^+ n \Sigma^+$	51			

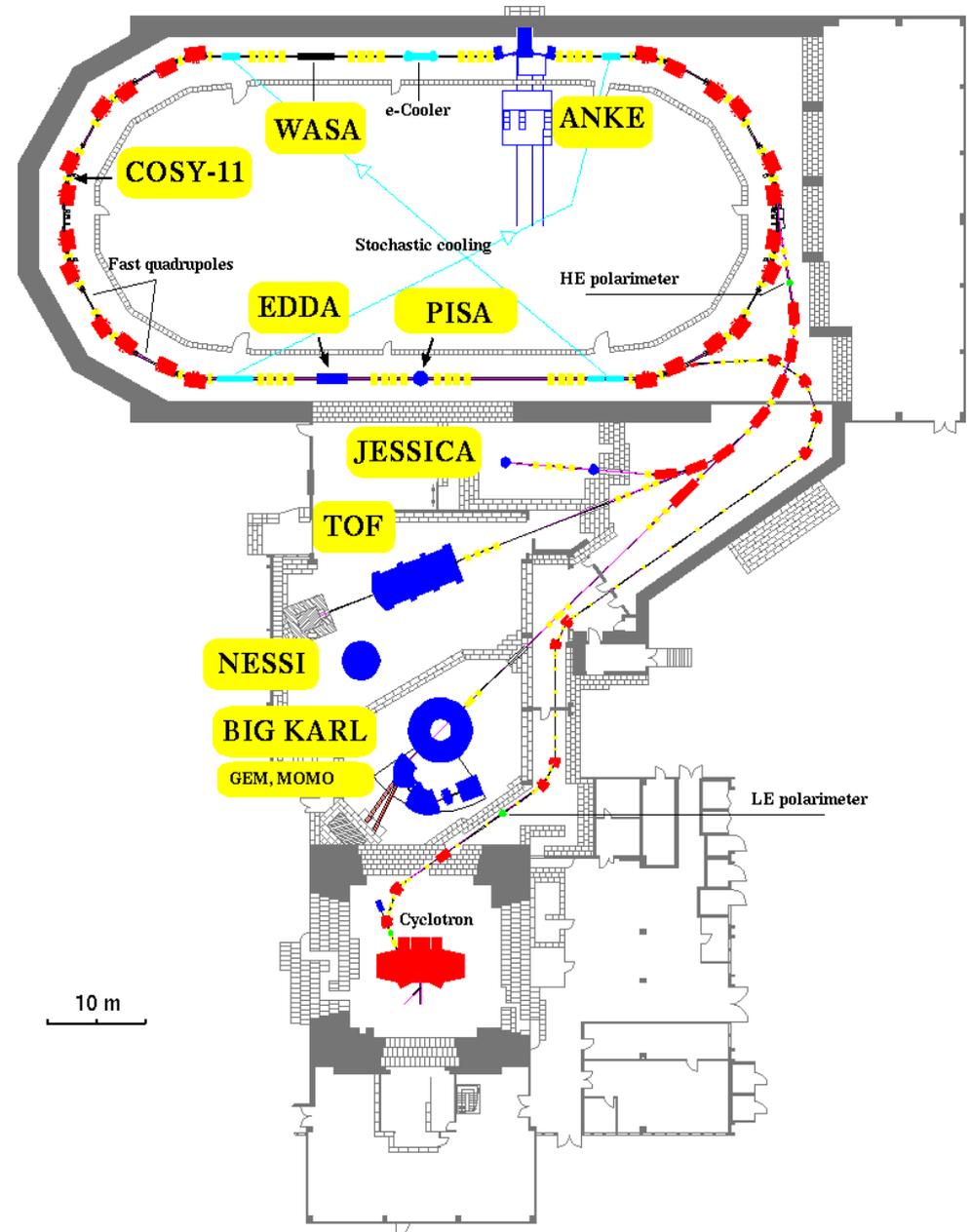
1 Introduction

At the end of 2014 the experimental priorities of the Institut für Kernphysik (IKP) Jülich switched from the study of hadronic reactions to precision measurements that are more in keeping with current particle physics. Since many interesting results had been found in the field of hadronic physics over the twenty years of operation of the laboratory's COoler SYnchrotron COSY, it is clearly appropriate to try to describe some of these phenomena in the form

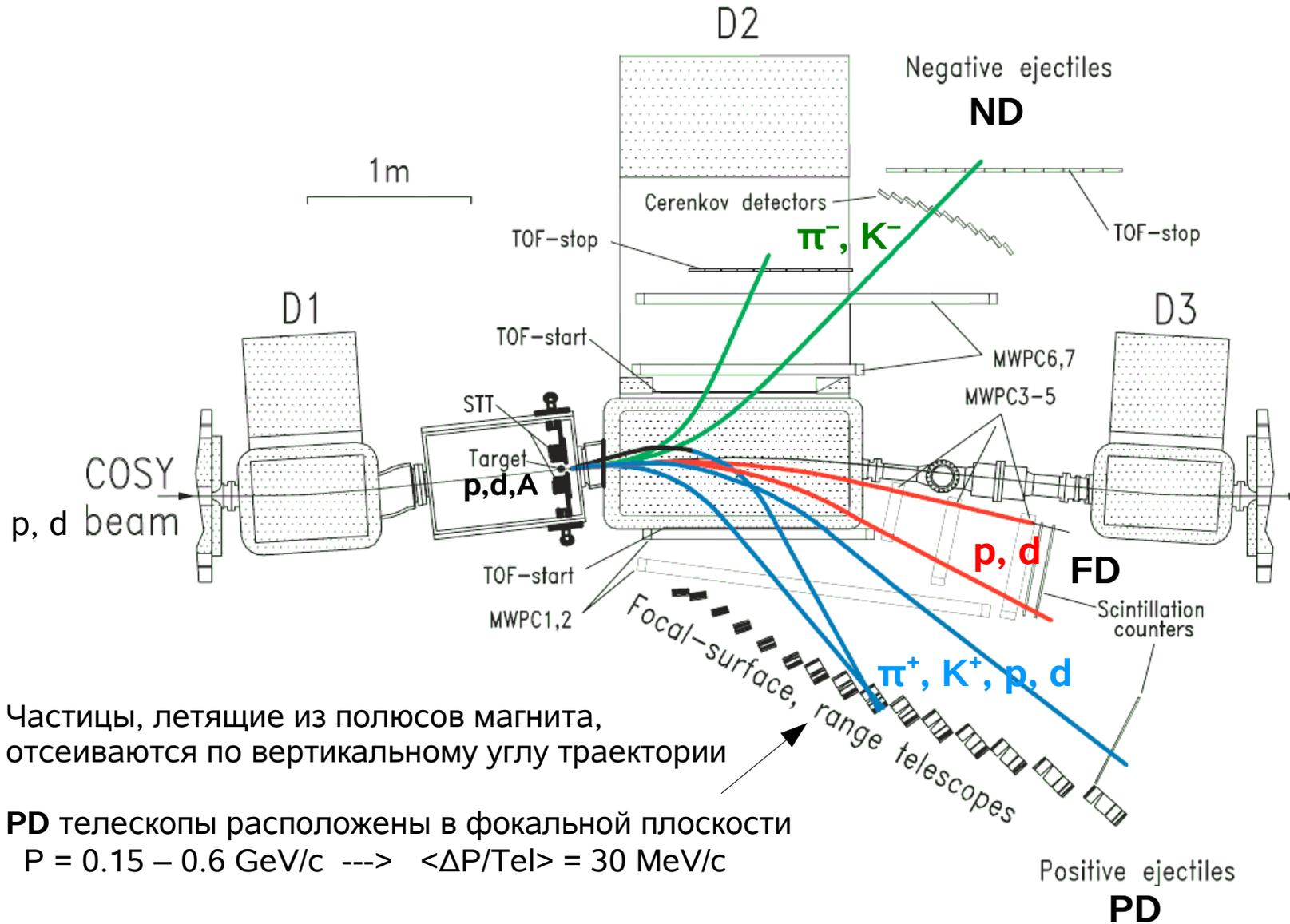
Ускоритель COSY (FZ-Juelich, Германия)

COoler SYnchrotron

- Поляризованный/неполяризованный пучок p/d с импульсом 0.27 – 3.70 GeV/c
- Электронное (<0.6 GeV/c) и стохастическое (1.5-3.7 GeV/c) охлаждение: $\Delta p/p \sim 10^{-5}$
- Использование внутреннего ($I \sim 6 \cdot 10^{10}$) или выведенного ($I \sim 6 \cdot 10^9$) пучка



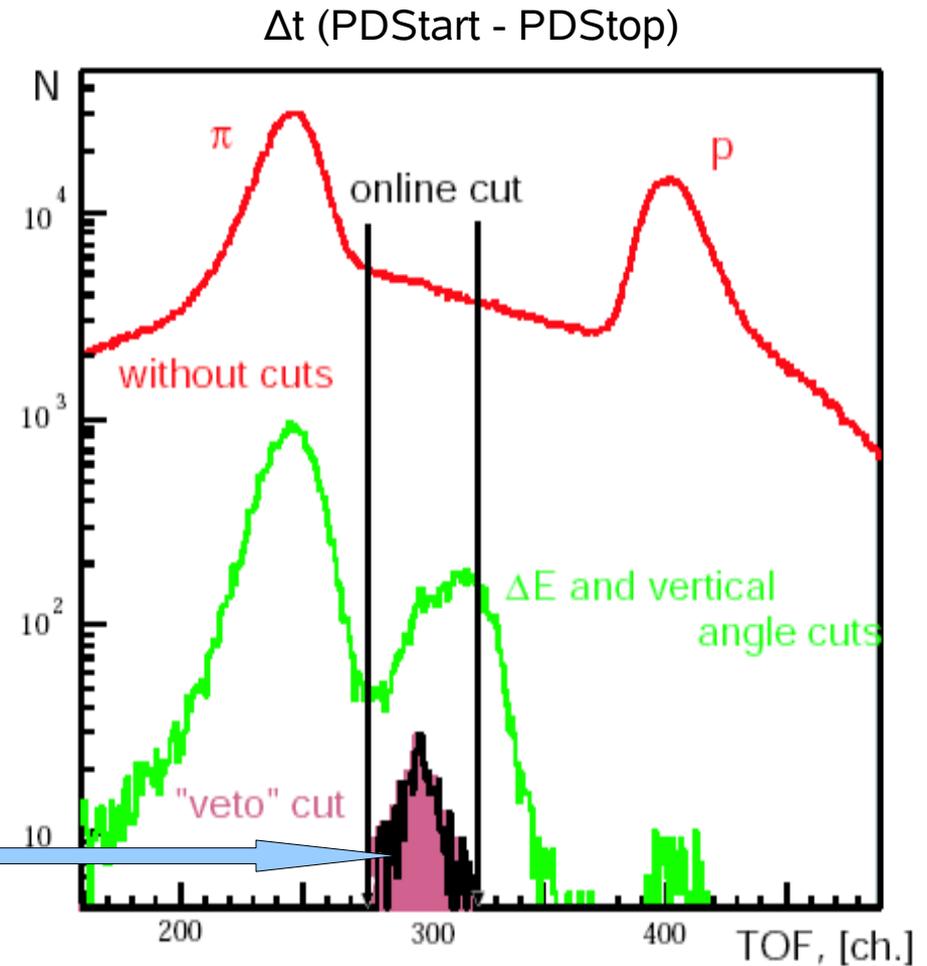
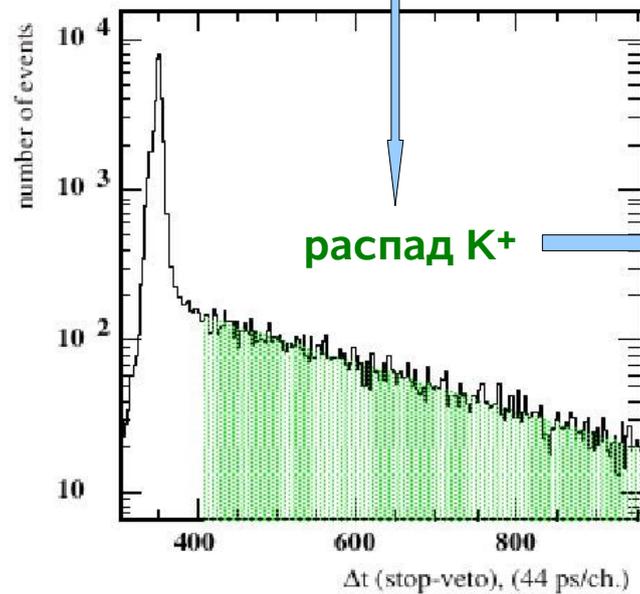
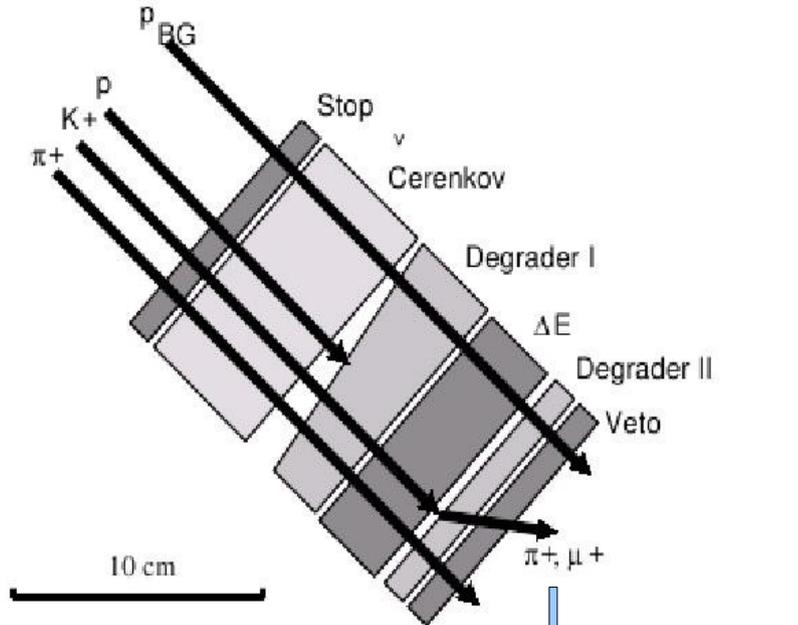
Спектрометр ANKE



Частицы, летящие из полюсов магнита, отсеиваются по вертикальному углу траектории

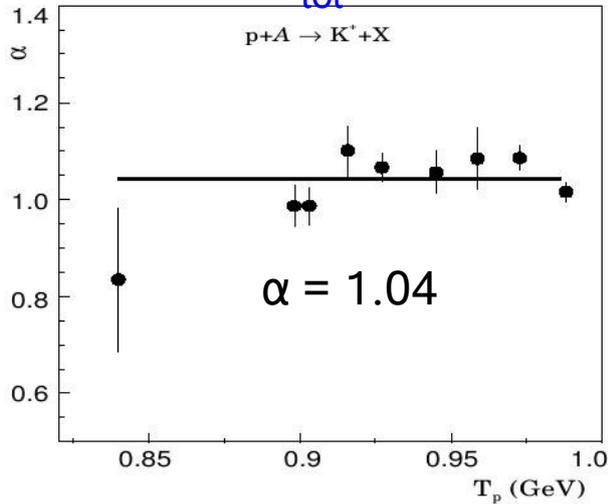
PD телескопы расположены в фокальной плоскости
 $P = 0.15 - 0.6 \text{ GeV}/c \rightarrow \langle \Delta P/Tel \rangle = 30 \text{ MeV}/c$

Спектрометр АНКЕ: Выделение K^+ -мезонов (Концепция В.П.Коптева)

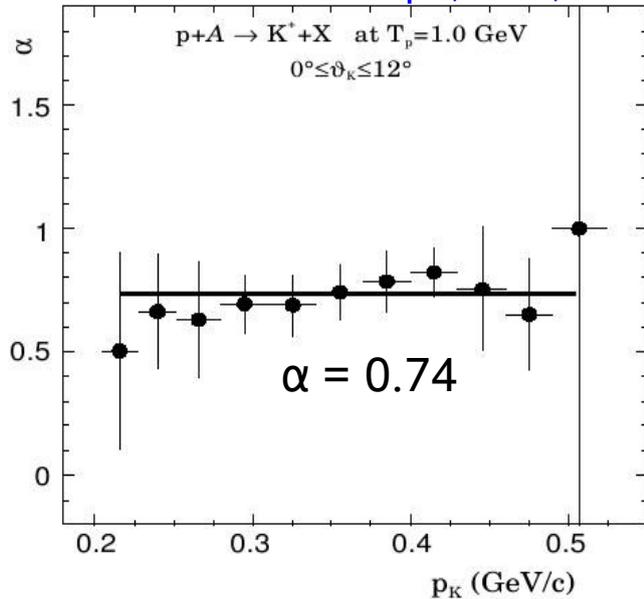


$pA \rightarrow K^+ X$: массовая зависимость сечений в подпороговом рождении

ПИЯФ, σ_{tot} (1988)



ANKE, $d^2\sigma/d\Omega dp$ (2002)



$pp \rightarrow pLK^+ : T > 1.58$ GeV

Рождение в pA : $\sigma \sim A^\alpha$

$\alpha \sim 2/3 : pN \rightarrow NYK^+$

$\alpha > 2/3 : p(kN) \rightarrow XYK^+$

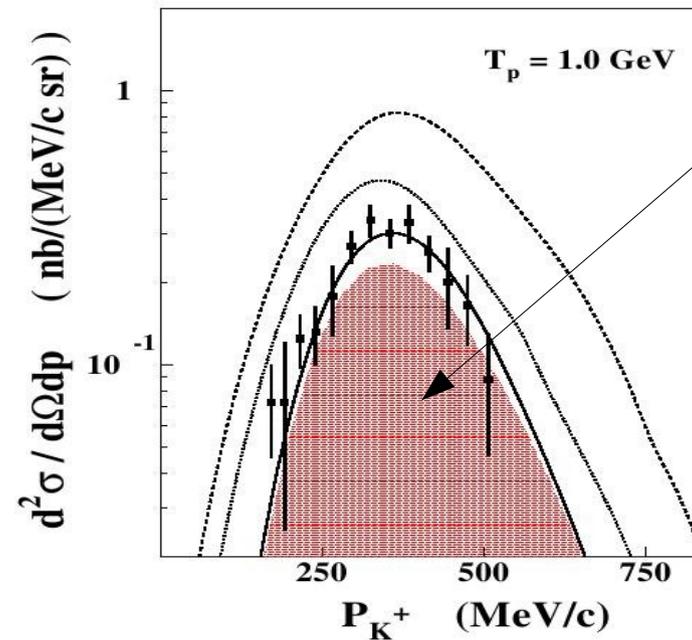
$pN \rightarrow \dots \pi N \rightarrow NYK^+, \Delta N \rightarrow NYK^+$

CBUU transport model :

вклад прямого канала возрастает под
малыми углами !

Z.Rudy, W.Cassing et.al, EPJ A15, 303(2002)

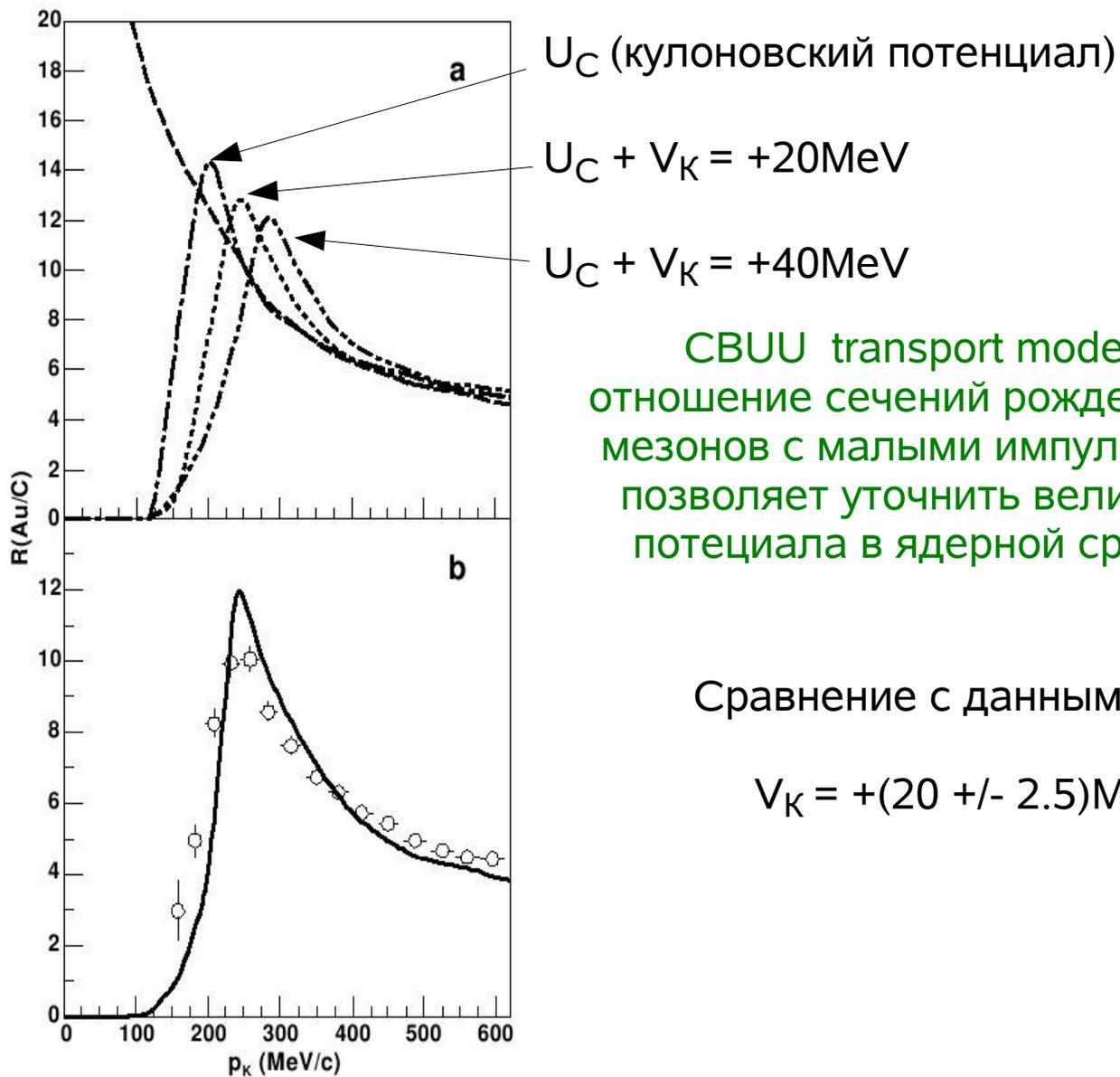
$p + {}^{12}\text{C}$



Вклад 2-step
каналов в
акцептансе
ANKE

$pA \rightarrow K^+ X$: потенциал K^+ в ядерной среде

M.Nekipelov et.al, Phys.Lett. B 540, 207(2002)



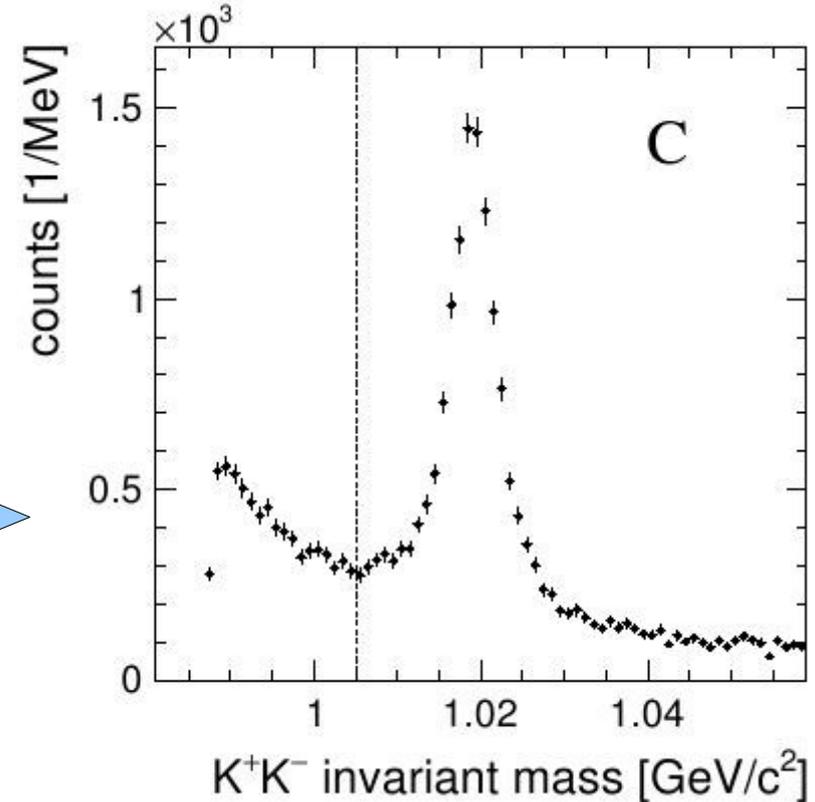
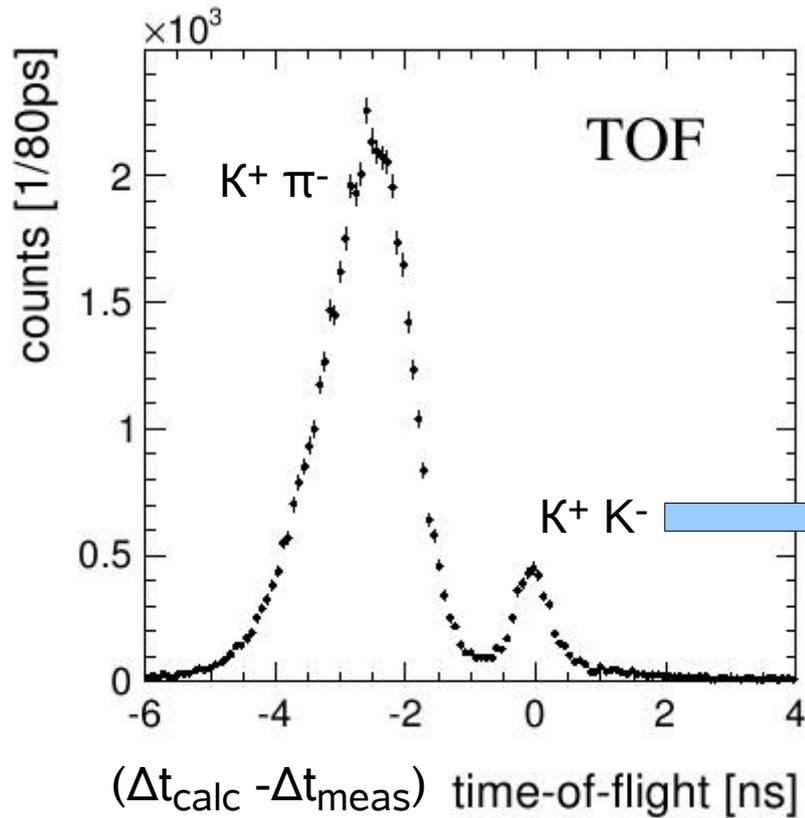
CBUU transport model :
отношение сечений рождения K^- -
мезонов с малыми импульсами
позволяет уточнить величину
потенциала в ядерной среде.

Сравнение с данными ANKE

$$V_K = +(20 \pm 2.5)\text{MeV}$$

$pA \rightarrow K^+ K^- X$: выделение пары

Надежное выделение K^+ в PD позволяет идентифицировать K^- в ND по разнице времени пролета $\Delta t(\text{PD-ND})$.

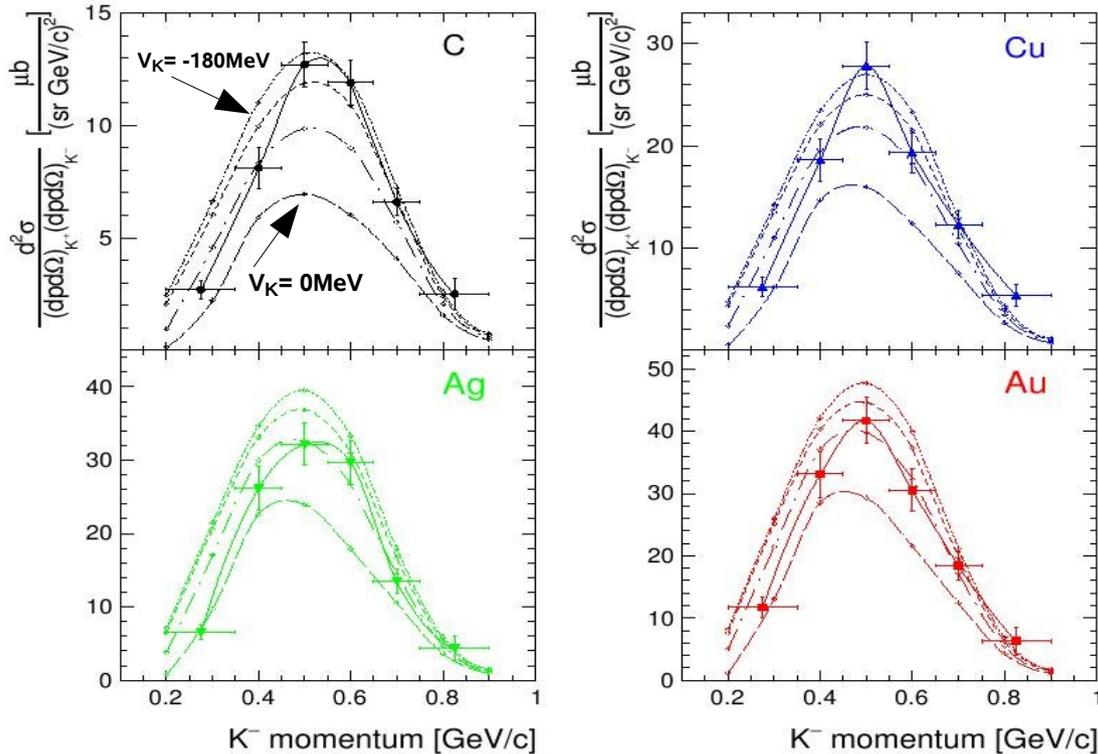


Абсолютная калибровка: $p \pi^-$ и $\pi^+ \pi^-$

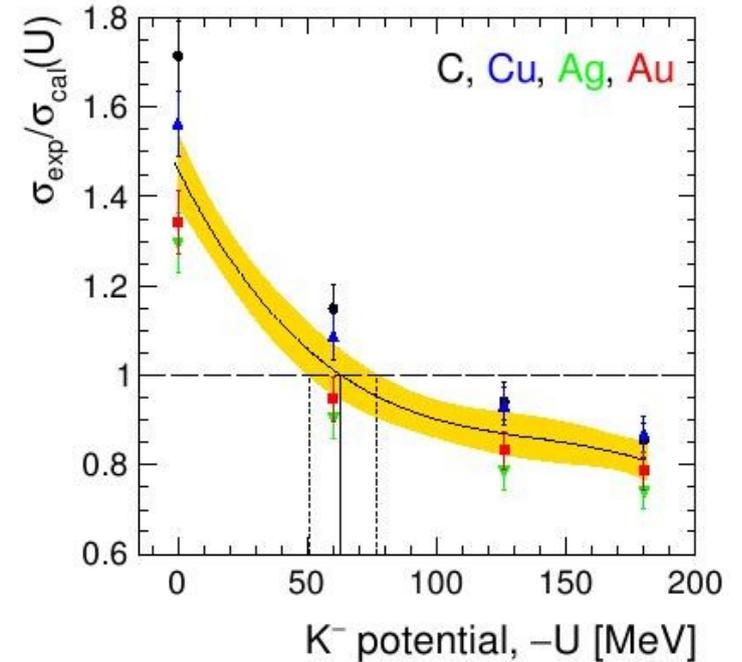
$pA \rightarrow K^+ K^- X$: потенциал K^- в ядерной среде

Yu.Kiselev et.al, *Phys.Rev. C* **92**, 065201(2002)

$T=2.83\text{GeV}$, $IM(K^+K^-) < 1.005\text{GeV}/c^2$
 $\Theta < 12\text{ deg}$, $P(K^+) = 0.2 - 0.6\text{ MeV}/c$



Интегрированные сечения



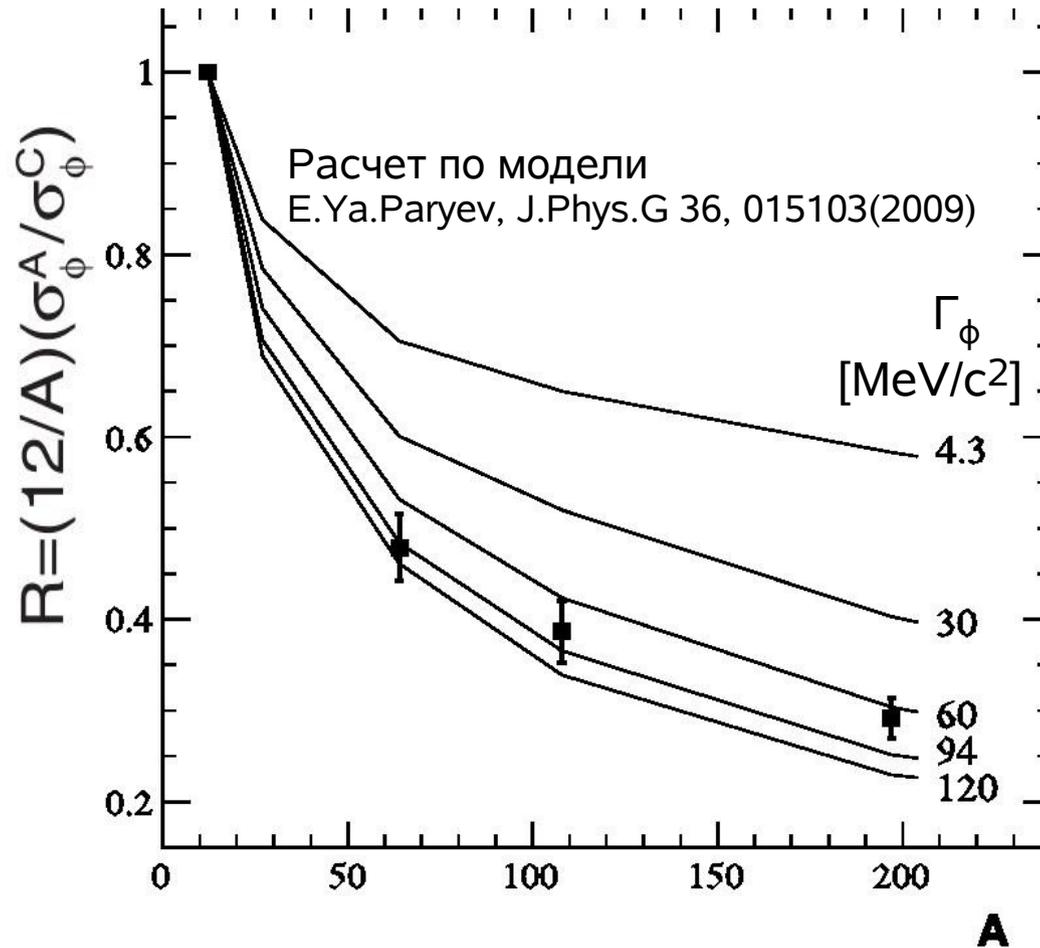
Расчет по модели Парьева и Киселева (ИТЭФ)
 с потенциалом: $V_K = 0, -60, -130, -180\text{ MeV}$

E.Ya.Paryev et al. *J.Phys.G:Nucl.Part..Phys* **42**, 075107(2015)

$pA \rightarrow \phi X \rightarrow K^+ K^- X$: модификация массы ϕ -мезона

A.Polyanskyi et.al, *Phys.Lett.B* 695, 74 (2011)

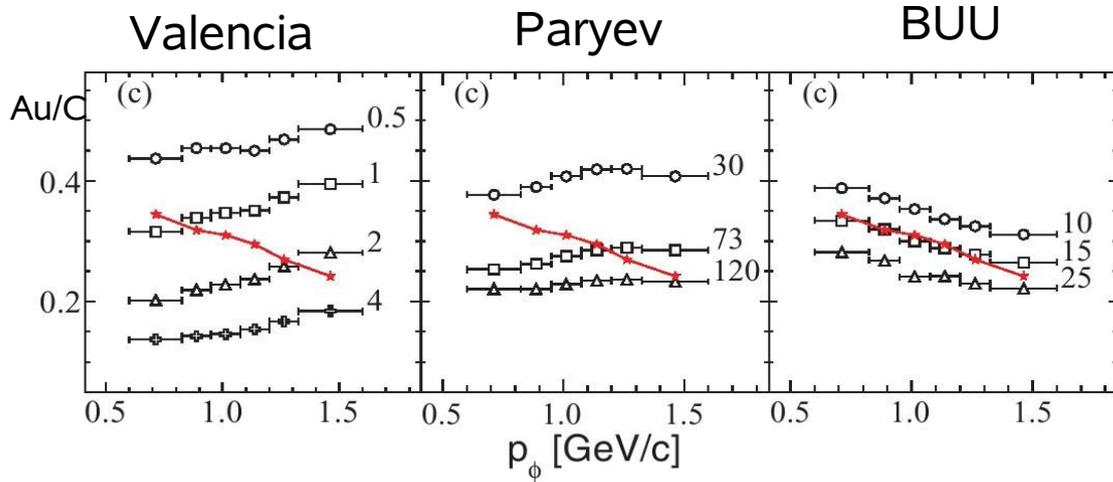
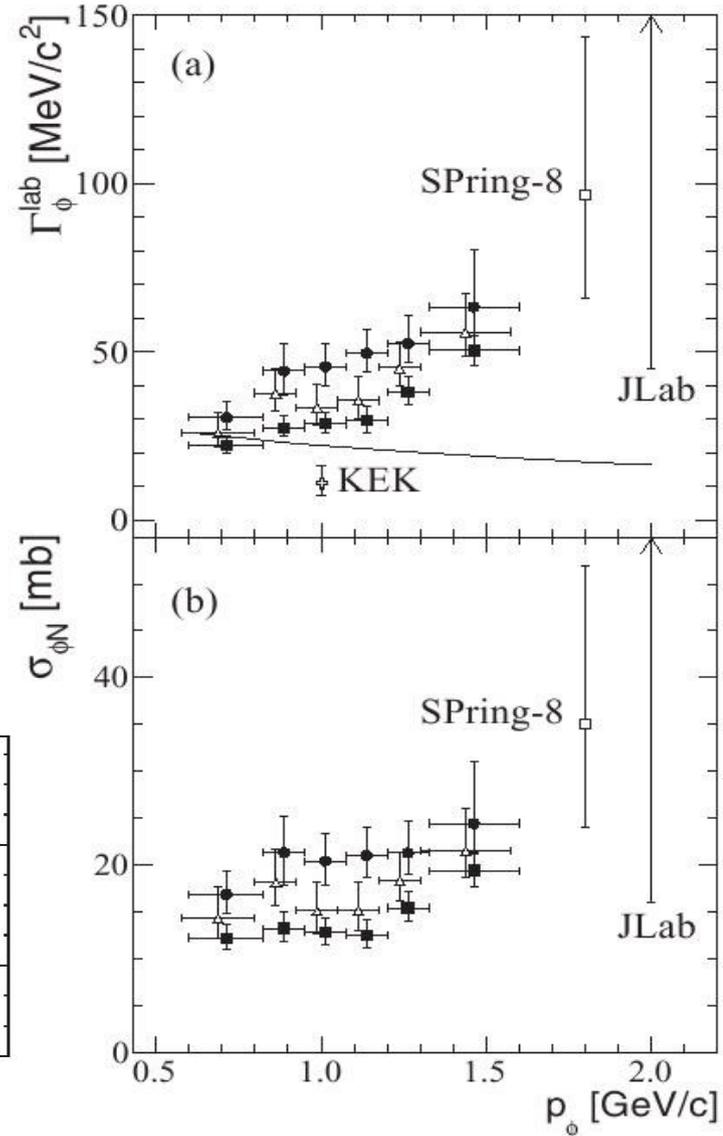
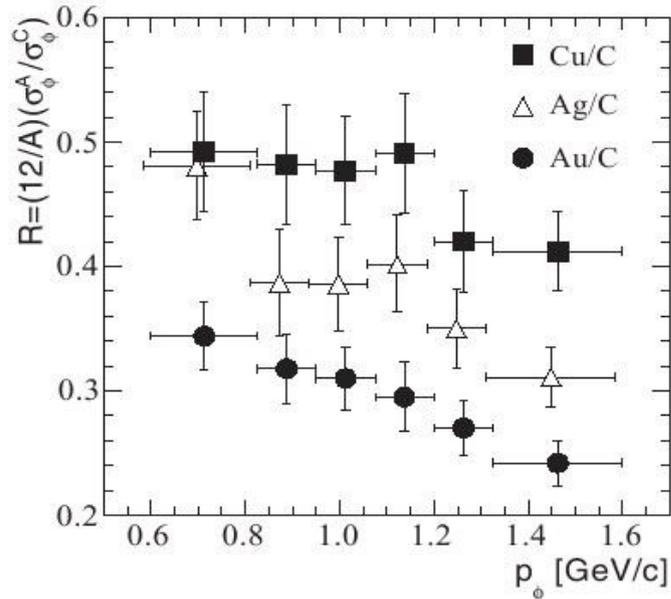
$(\theta, \phi \leq 8^\circ, 0.6 \text{ GeV}/c \leq p_\phi \leq 1.6 \text{ GeV}/c)$



При $\langle P_\phi \rangle = 1.1 \text{ GeV}/c$
 $\Gamma_\phi = (73 \pm 14) \text{ MeV}/c^2$

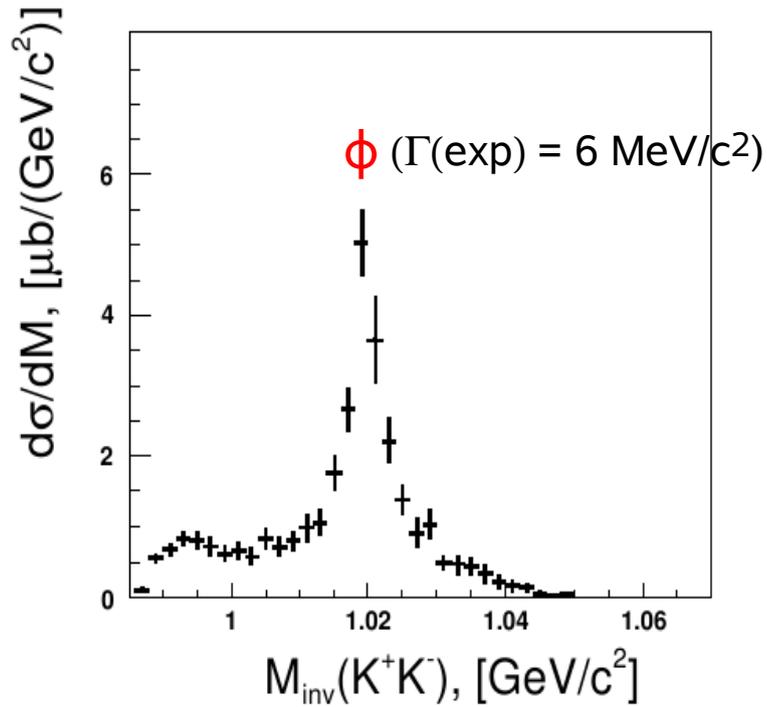
$pA \rightarrow \phi X \rightarrow K^+ K^- X$:зависимость от импульса ϕ -мезона

M.Hartmann et.al, Phys.Rev.C 85, 035206 (2012)

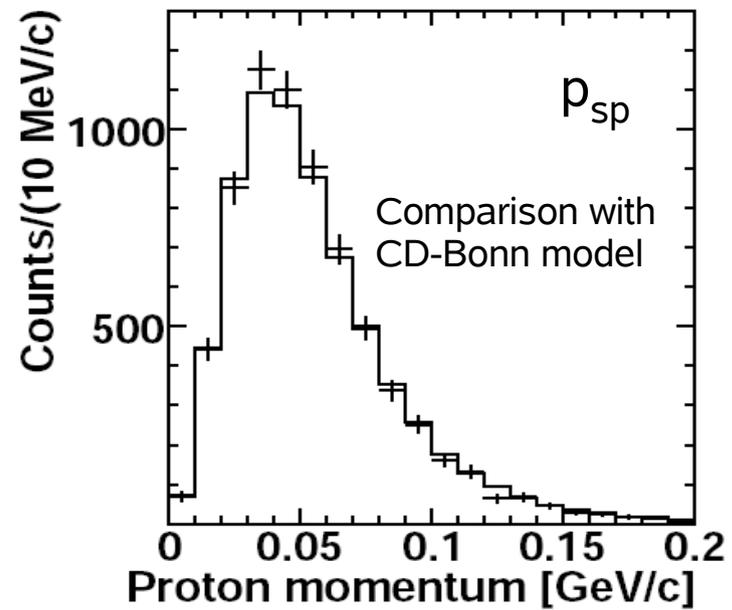
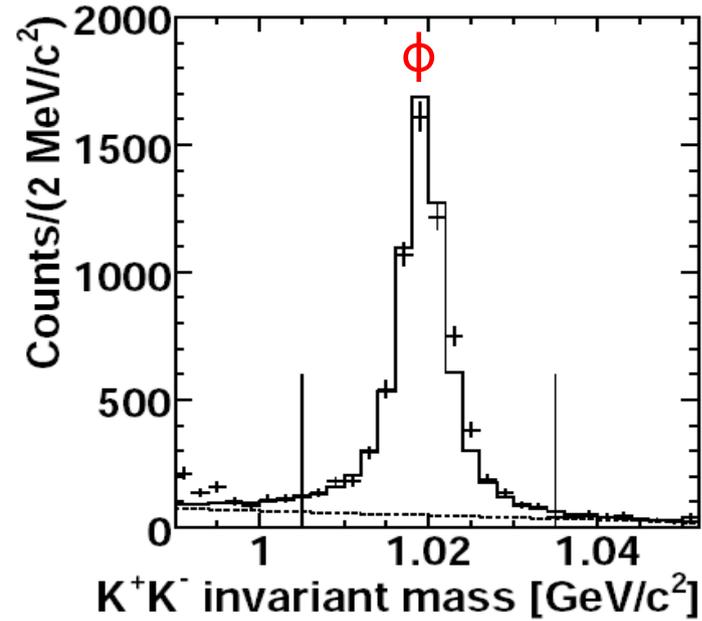


$pN \rightarrow K^+ K^- X$: идентификация реакций

$pp \rightarrow ppK^+K^-$



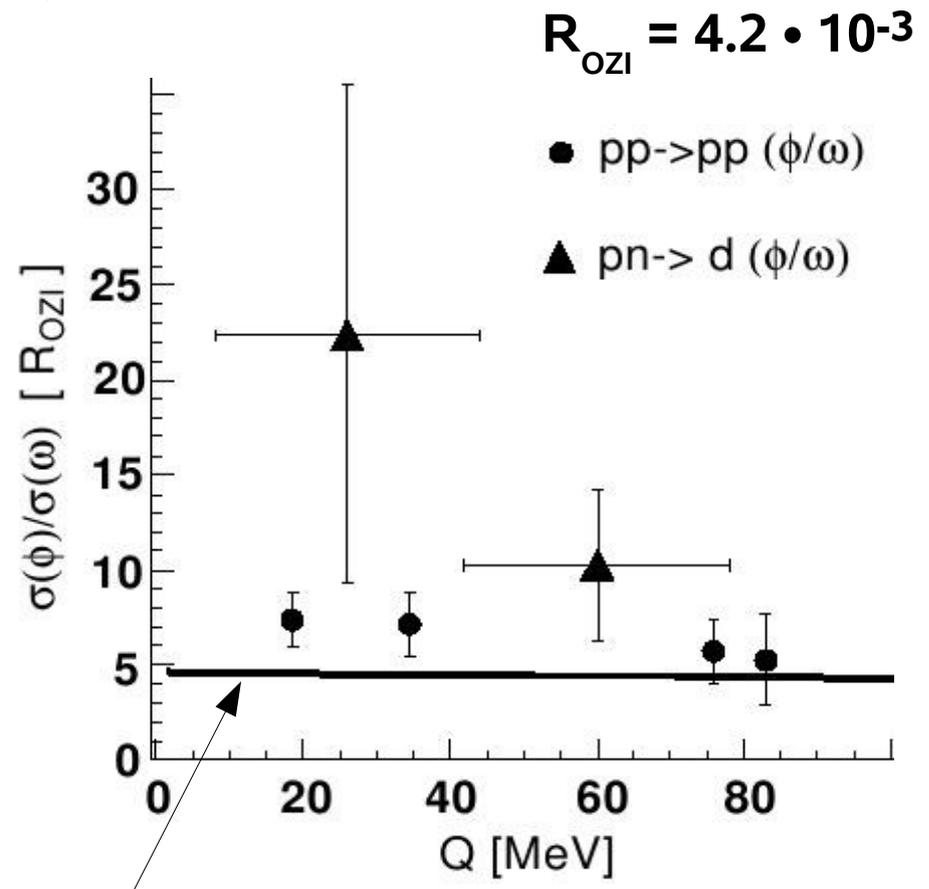
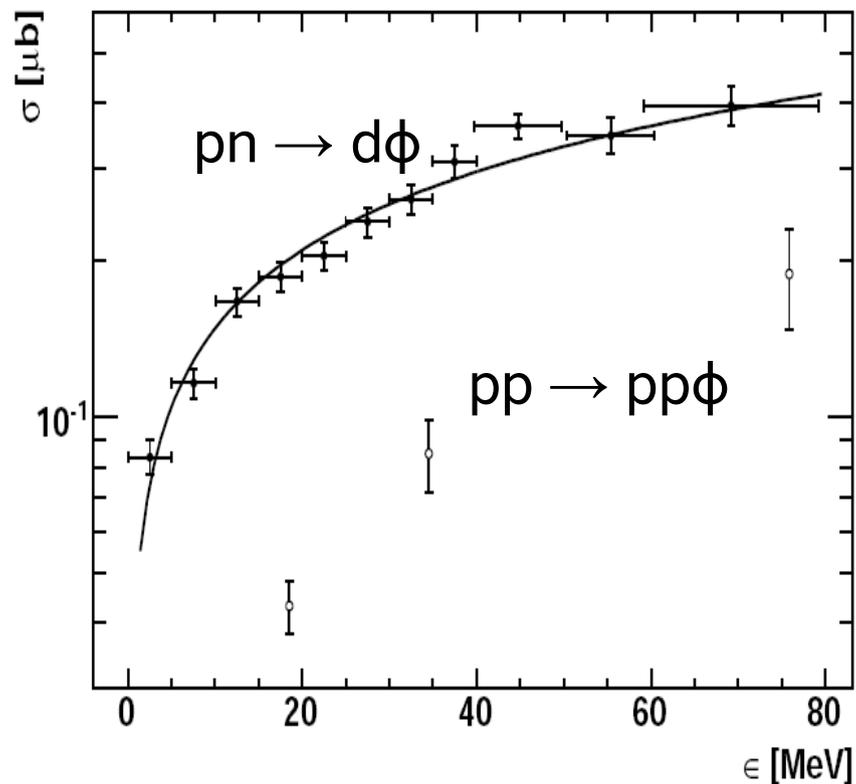
$pd \rightarrow p_{sp} dK^+K^-$



$pN \rightarrow \phi X$: полные сечения и проверка OZI-rule

M.Hartmann et.al, *Phys.Rev.Lett.* **96**, 242301 (2006)

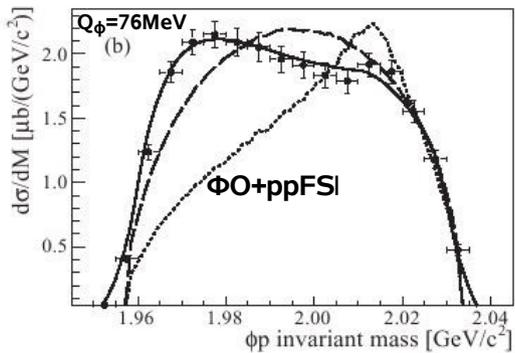
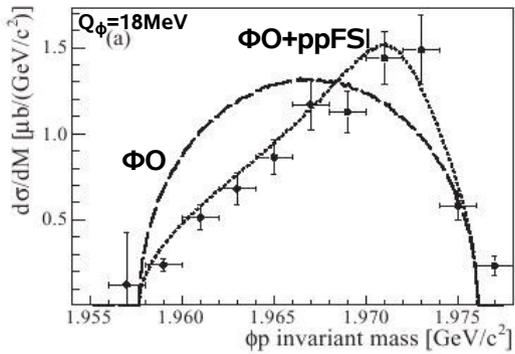
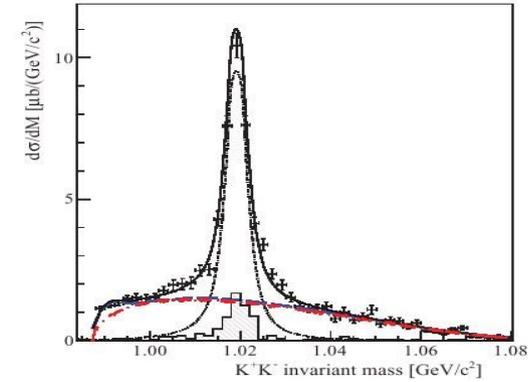
Y.Maeda et.al, *Phys.Rev.Lett.* **97**, 142301 (2006)



Модельный расчет для pp канала
(L.P.Kaptari, B.Kampfer, EPJ A23, 291(2005))
содержит нарушение OZI-rule в вершине
 $pp \rightarrow \omega(\phi)$

$pp \rightarrow K^+ K^- X$: исследования FSI

Q.J.Ye et al., *Phys.Rev.C* **85**, 035206(2012)
 Дифф. сечения искажены влиянием FSI
 фоновой реакции $pp \rightarrow pp \{K^+ K^-\}_{\text{non-}\phi}$

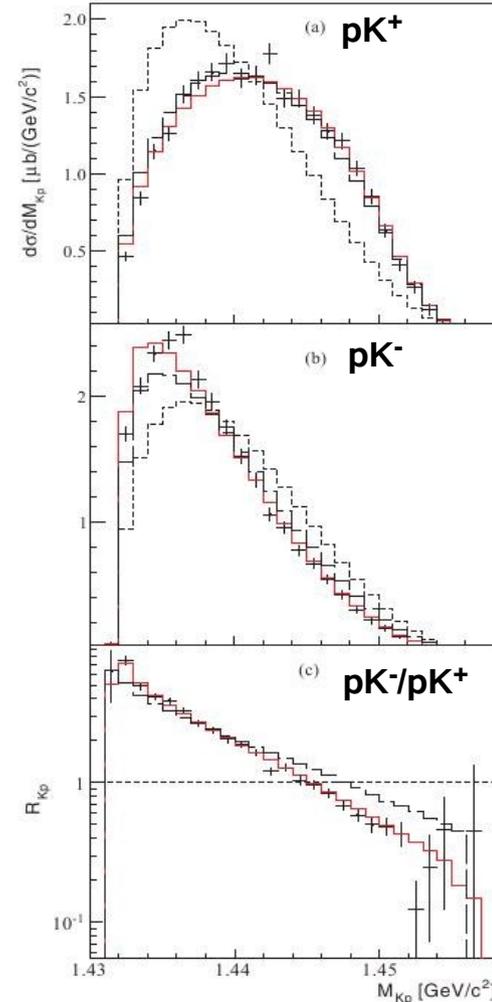
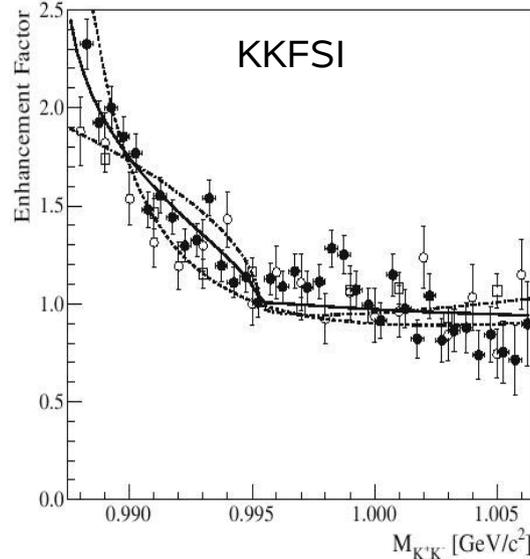


Q.J.Ye et al., *Phys.Rev.C* **87**, 065203(2013)

Описание реакции $pp \rightarrow pp \{K^+ K^-\}_{\text{non-}\phi}$
 Фазовый объем (ΦO) + KppFSI + KKFSI

$$\text{KppFSI: } F_{K^-pp} = F_{pp}(q_{pp}) \times F_{K^-p}(q_{K^-p_1}) \times F_{K^-p}(q_{K^-p_2})$$

A.Dzyuba et al., *Phys.Lett.B* **668**, 315(2008)



Заключение

1. Измерены сечения рождения K^+ - мезонов на ядрах C, Si, Ag и Au при энергиях протонного пучка 1.0, 1.5, 1.75 и 2.3 ГэВ. Показано доминирование 2-х ступенчатых процессов в подпороговом рождении. Уточнена величина потенциала K^+ в ядерной среде.
2. Измерены сечения рождения пары K^+K^- на тех же ядрах. Анализ данных проведен в рамках различных транспортных моделей. Полученные результаты показывают наличие существенной импульсной зависимости ширины ϕ – мезона в ядерной среде.
3. Впервые измерены полные и дифференциальные сечения рождения ϕ – мезона около порога в протон-протонных и протон-нейтронных столкновениях. Отношения полных сечений рождения Φ и ω мезонов при одинаковых Q в 6 раз превышает величину R_{OZI} . Интерпретация результата зависит от детального теоретического анализа механизмов рождения.
4. Впервые проведены высокостатистические измерения процесса $pp \rightarrow ppK^+K^-$ около порога. Детально исследованы эффекты каон-протонного и каон-антикаонного взаимодействий при малых относительных импульсах. Измерен модуль эффективной длины K-p рассеяния.