

СТАТУС РАБОТ по  
СОЗДАНИЮ МАГНИТНОГО (ИМПУЛЬСНОГО) СПЕКТРОМЕТРА  
НА БАЗЕ  $\pi$  - МЕЗОННОГО КАНАЛА СИНХРОЦИКЛОТРОНА ПИЯФ СЦ1000

*ЛМФ, ОТД, ИТЭФ, УО*

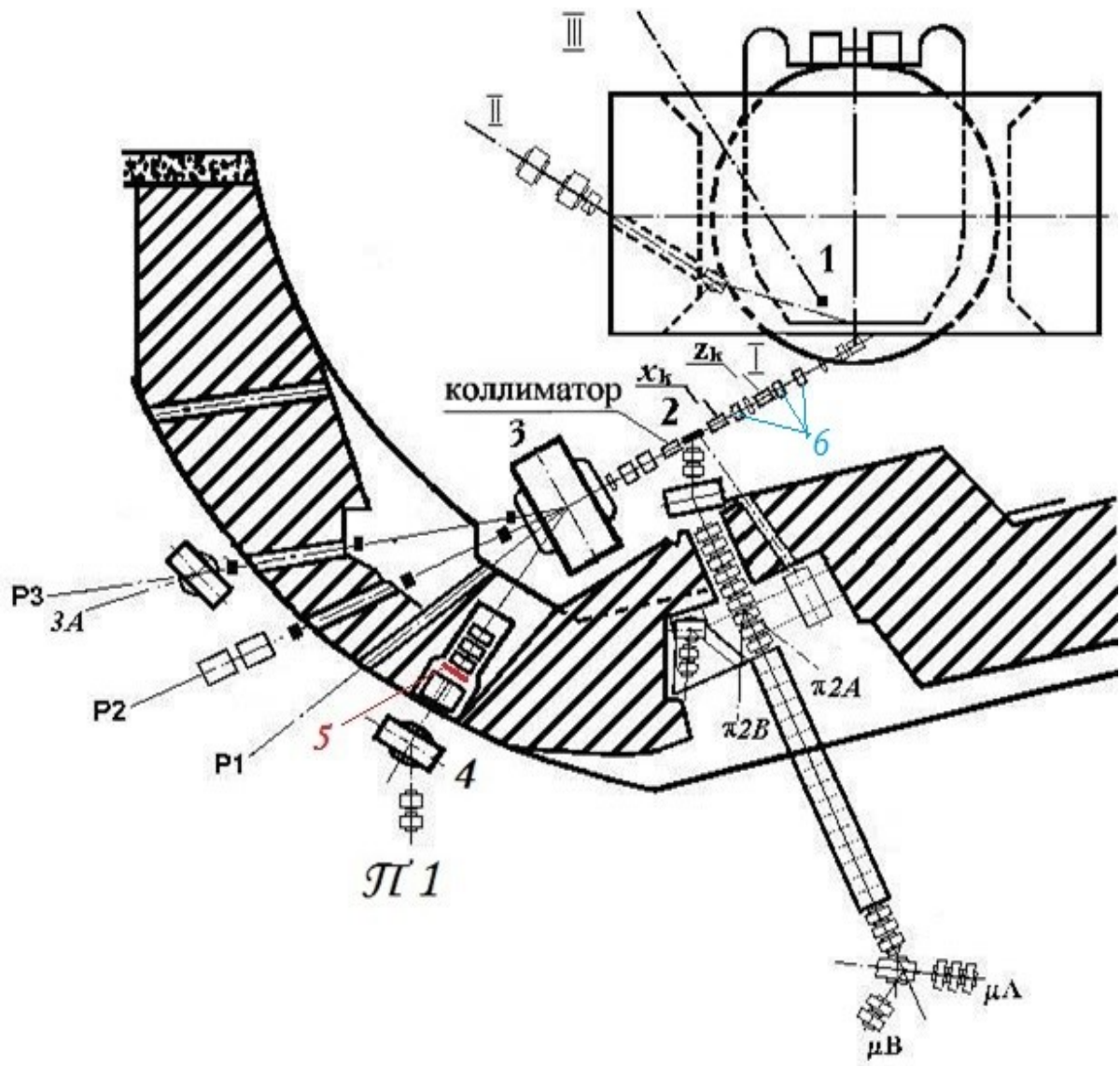



Схема главного и экспериментального зала ускорителя СЦ1000.

- π 1 – используемый π-мезонный канал;
- 1 – протонный ускоритель СЦ-1000;
- 2 – мезонообразующая мишень;
- 3 – магнит СП40 (D1);
- 4 – магнит СП57 (D2);
- 5 – дисперсный фокус; 6 – триплет АП-27, АП-47, АП-48.





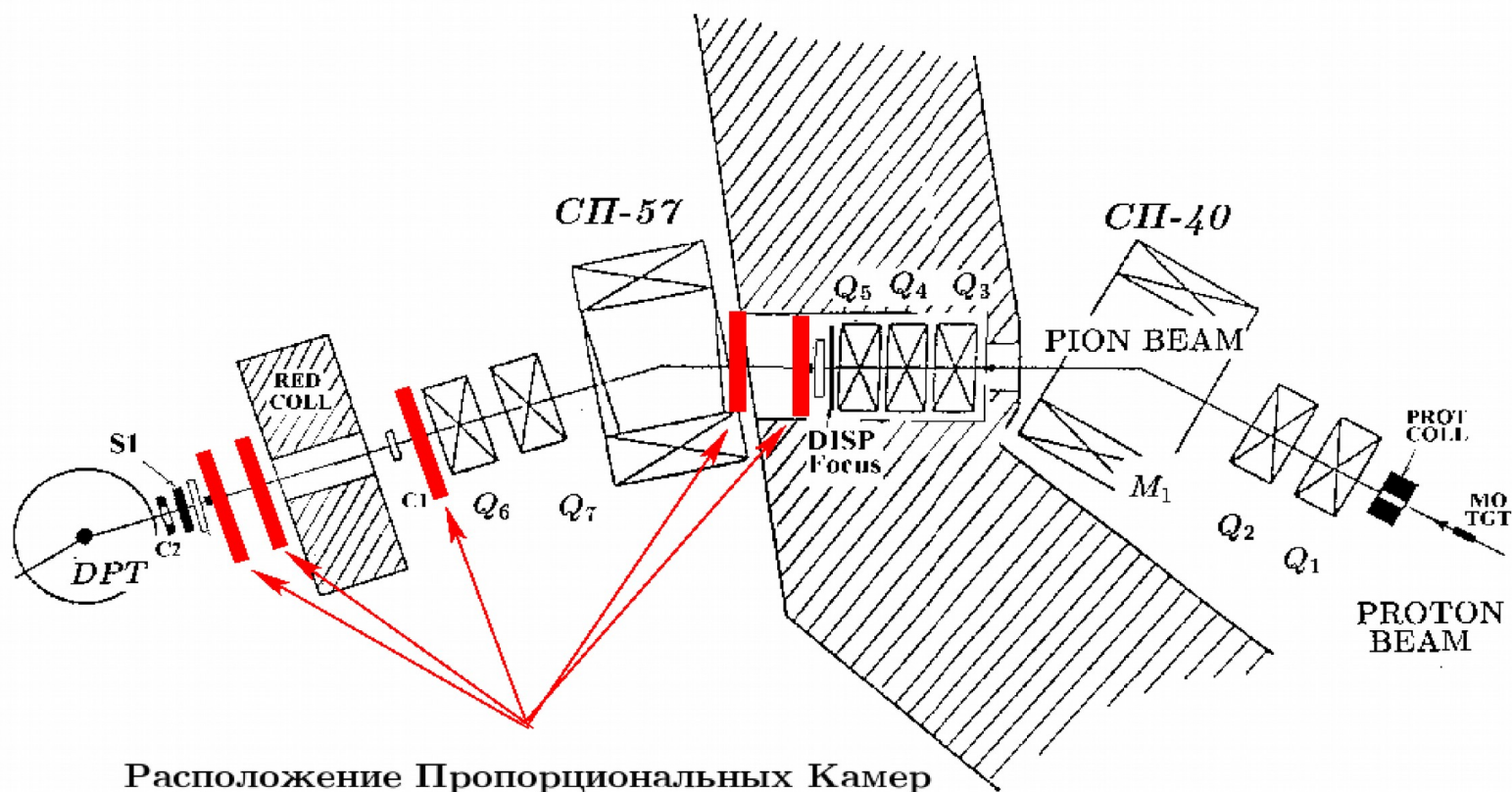
Q7

Q6

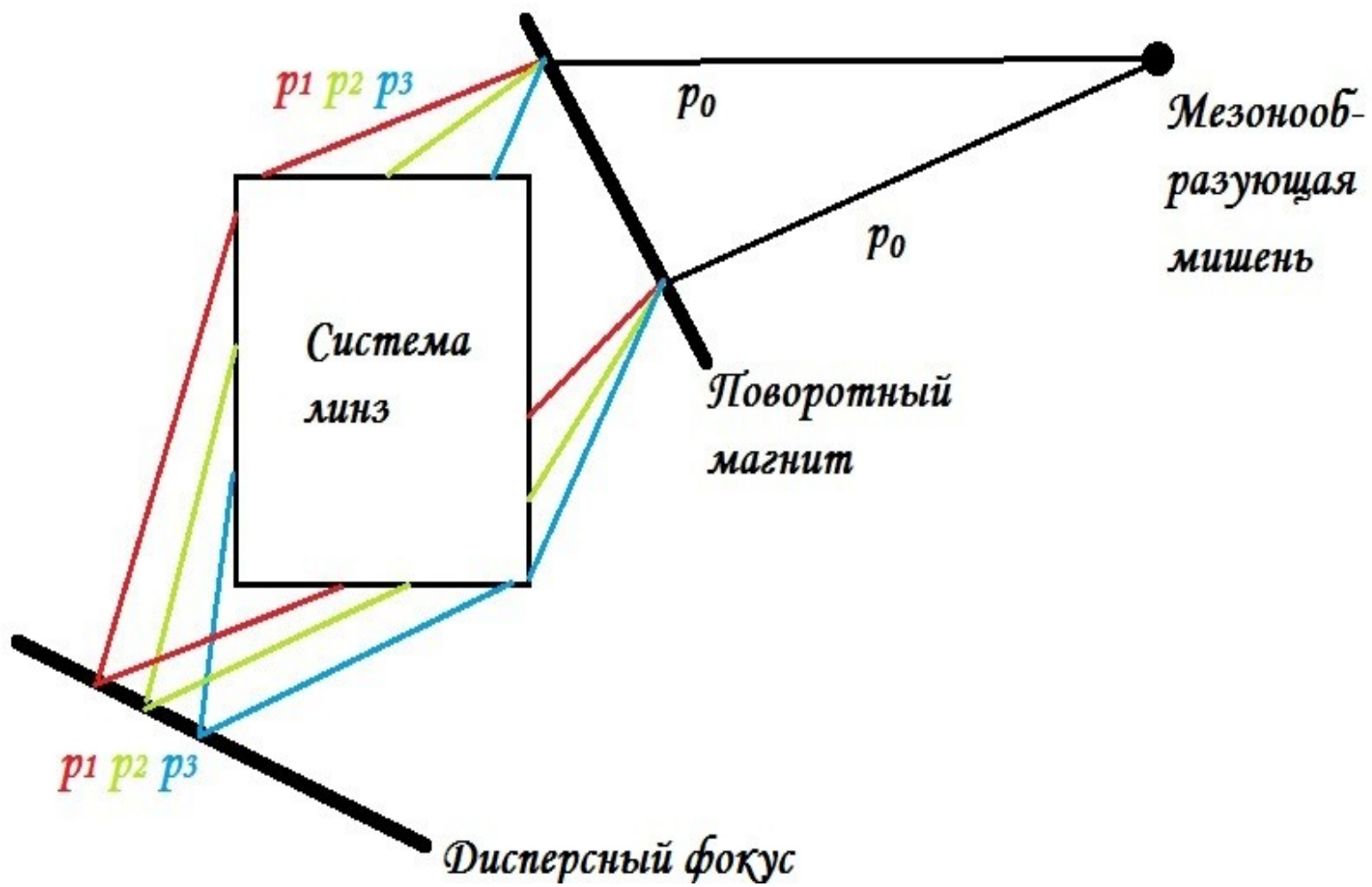
СП-57

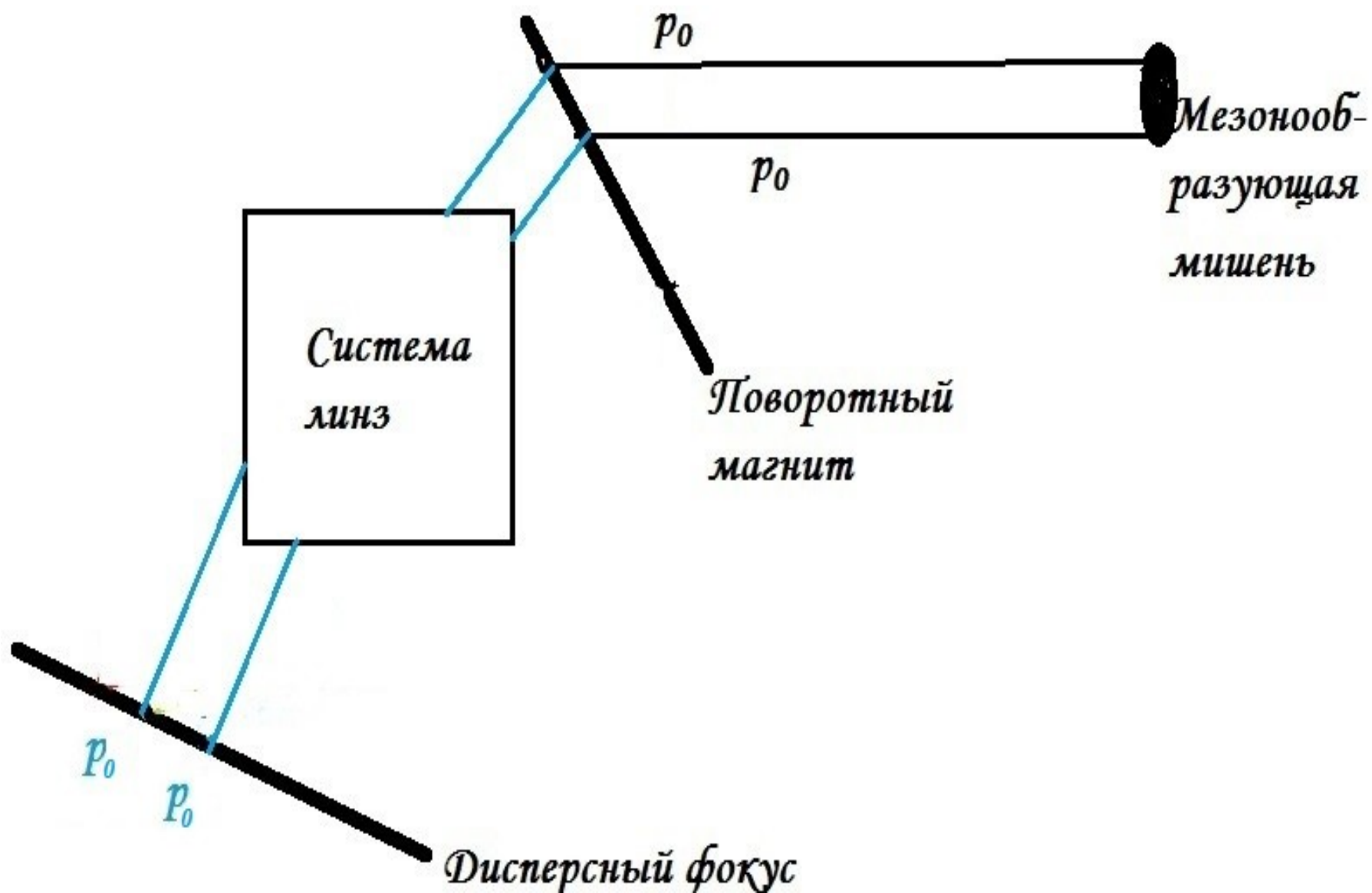


## Расположение Пропорциональных Камер на $\pi$ -канале



Расположение Пропорциональных Камер  
на  $\pi$ -канале

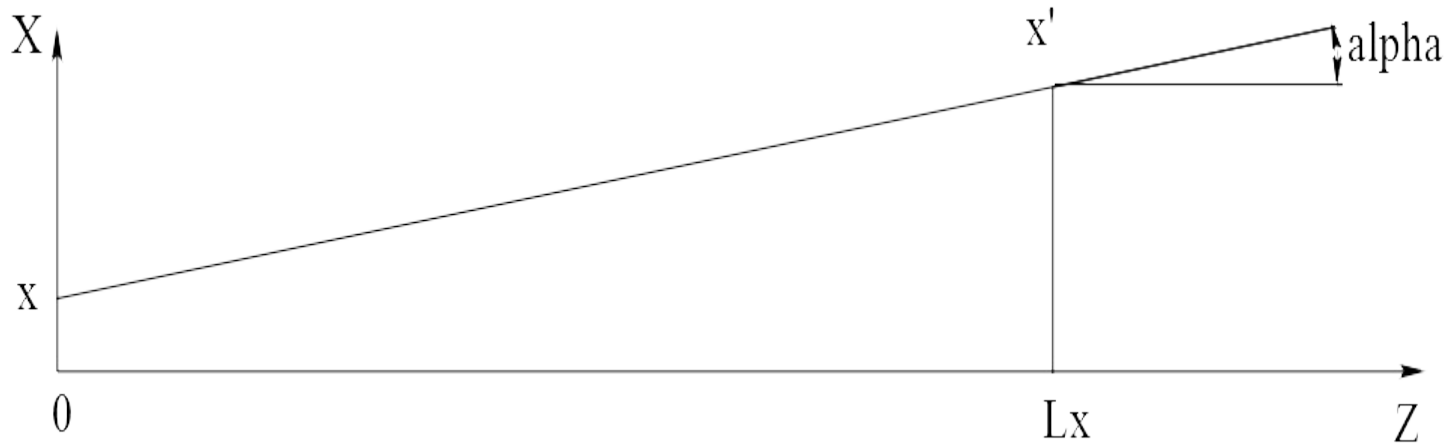




## Траектория частицы в свободном пространстве

$$\begin{aligned}1 \cdot x + l_x \cdot \operatorname{tg} \alpha &= x' \\ 0 \cdot x + 1 \cdot \operatorname{tg} \alpha &= \operatorname{tg} \alpha'\end{aligned}$$

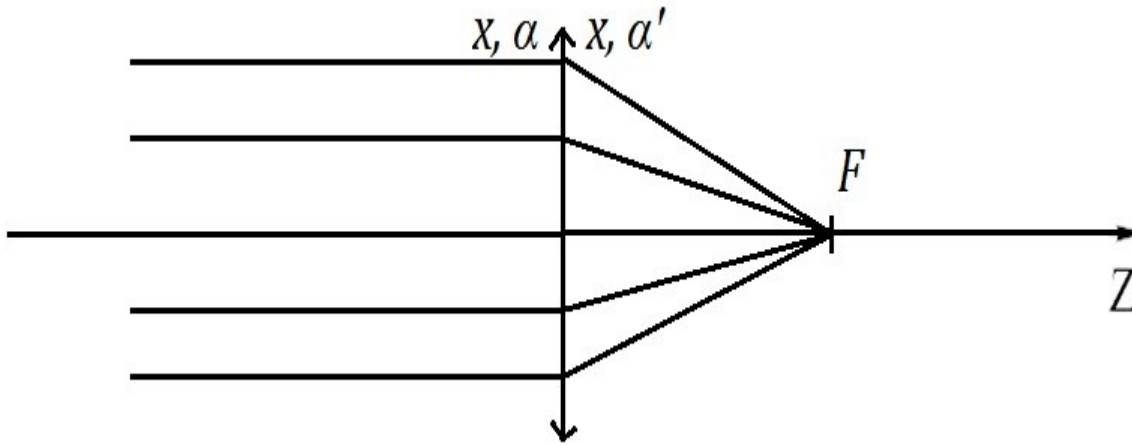
$$\begin{bmatrix} 1 & l_x \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \operatorname{tg}(\alpha) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ \operatorname{tg}(\alpha') \end{bmatrix}$$



## Формулы и матрица тонкой линзы

$$\begin{aligned} 1 \cdot x + 0 \cdot \operatorname{tg} \alpha &= x' \\ \frac{-1}{f} \cdot x + 1 \cdot \operatorname{tg} \alpha &= \operatorname{tg} \alpha' \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-1}{f} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \operatorname{tg}(\alpha) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ \operatorname{tg}(\alpha') \end{bmatrix}$$



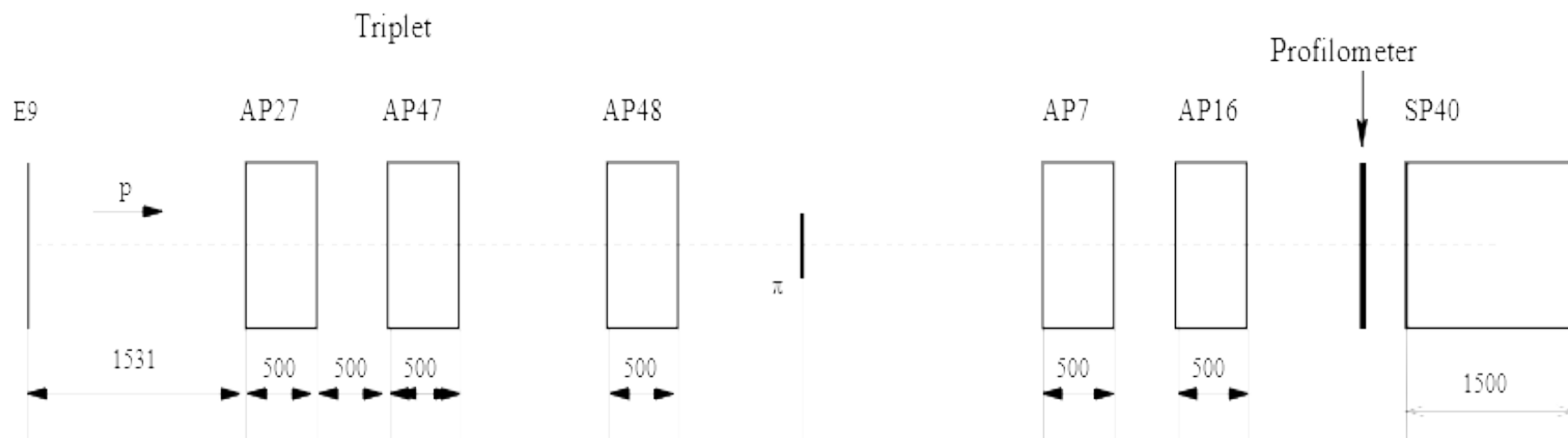


## Матрицы элементов магнитного канала

- $\begin{bmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  - пустого промежутка
- $\begin{bmatrix} \cos(k\omega) & \frac{\sin(k\omega)}{k} \\ -k * \sin(k\omega) & \cos(k\omega) \end{bmatrix}$  - фокусирующей линзы
- $\begin{bmatrix} \text{ch}(k\omega) & \frac{\text{sh}(k\omega)}{k} \\ k * \text{sh}(k\omega) & \text{ch}(k\omega) \end{bmatrix}$  - дефокусирующей линзы

$$X' = T_3 T_2 T_1 X$$

## Протонный триплет и первая часть канала. Главный зал.



## Расчёт триплета в матричном виде

$$\begin{bmatrix} 1 & l_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(k_3\omega) & \frac{\sin(k_3\omega)}{k_3} \\ -k_3\sin(k_3\omega) & \cos(k_3\omega) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & d_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \operatorname{ch}(k_2\omega) & \frac{\operatorname{sh}(k_2\omega)}{k_2} \\ k_2\operatorname{sh}(k_2\omega) & \operatorname{ch}(k_2\omega) \end{bmatrix} \times \\ \times \begin{bmatrix} 1 & d_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(k_1\omega) & \frac{\sin(k_1\omega)}{k_1} \\ -k_1\sin(k_1\omega) & \cos(k_1\omega) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & l_x \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ \operatorname{tg}(\alpha) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ \operatorname{tg}(\alpha') \end{bmatrix}$$

где

$\omega$  — эффективная длина линзы,

$k$  — коэффициент линзы [1/м], квадрат которого

$$k^2 = \frac{Bze}{G_0 m v_z}$$

(здесь в свою очередь  $B$  — магнитная индукция [Тл],  $z$  - зарядовое число частицы,  $e$  — заряд электрона [Кл],  $G_0$  — половина апертуры линзы [м],  $m$  — масса частицы [кг],  $v_z$  — проекция скорости частицы на ось  $Z$  [м/с]),

$l_x$  и  $l_y$  — расстояние от первой линзы до источника по  $X$  и  $Y$  соответственно.

Переход к итоговой матрице. Фокусировка типа точка-точка

$$\begin{bmatrix} 1 & l_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(k_3\omega) & \frac{\sin(k_3\omega)}{k_3} \\ -k_3\sin(k_3\omega) & \cos(k_3\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \operatorname{ch}(k_2\omega) & \frac{\operatorname{sh}(k_2\omega)}{k_2} \\ k_2\operatorname{sh}(k_2\omega) & \operatorname{ch}(k_2\omega) \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} 1 & d_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(k_1\omega) & \frac{\sin(k_1\omega)}{k_1} \\ -k_1\sin(k_1\omega) & \cos(k_1\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_x \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x|x & a|x \\ x|a & a|a \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x|x & a|x \\ x|a & a|a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ \operatorname{tg}(\alpha) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ \operatorname{tg}(\alpha') \end{bmatrix}$$

Для фокусировки типа точка-точка,  $a|x = 0$

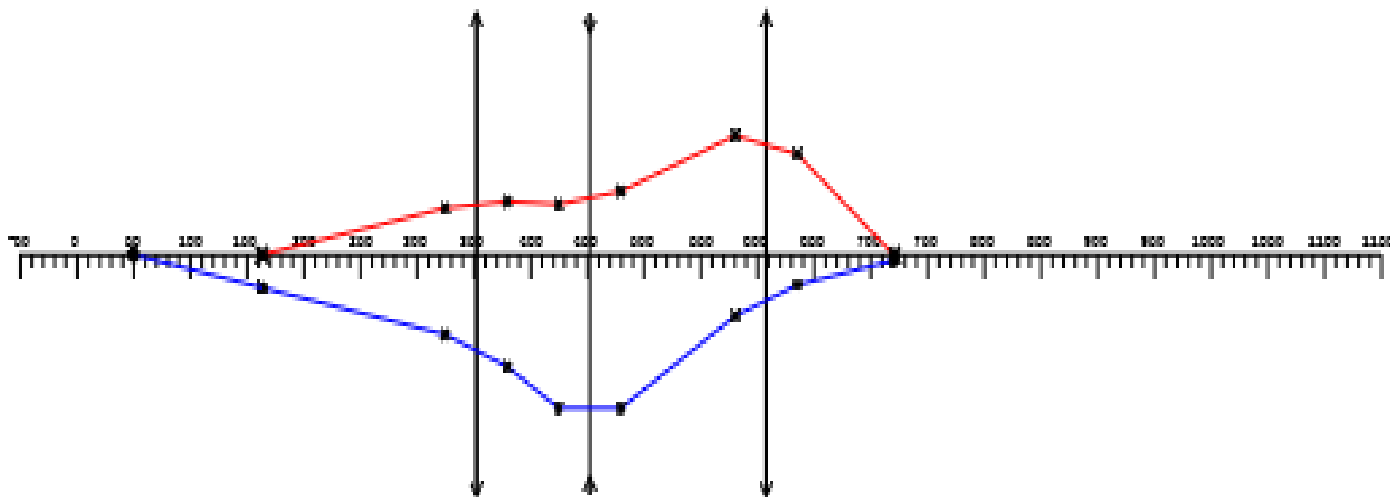
$$\begin{bmatrix} x|x & a|x \\ x|a & a|a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & 0 \\ -f^{-1} & M^{-1} \end{bmatrix}$$

## Разложение в степенной ряд. Упрощение формул.

$$\frac{1}{f} = k \cdot \sin(k\omega); \quad \frac{1}{f} = -k \cdot \text{sh}(k\omega)$$

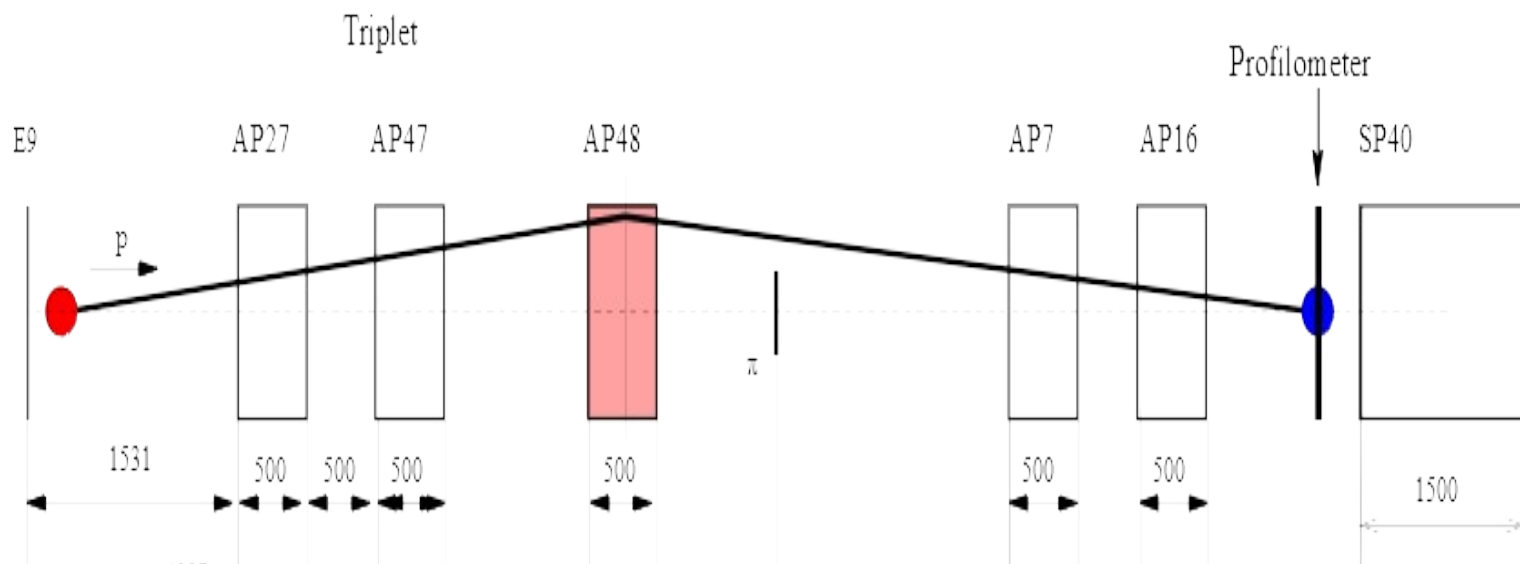
$$f = \frac{1}{k^2\omega} + \frac{\omega}{6} + \dots; \quad f = \frac{1}{k^2\omega} - \frac{\omega}{6} + \dots$$

$$\begin{bmatrix} 1 & l_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -f_3^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ f_2^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -f_1^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & l_x \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$





## Использование профилометра для поиска источников



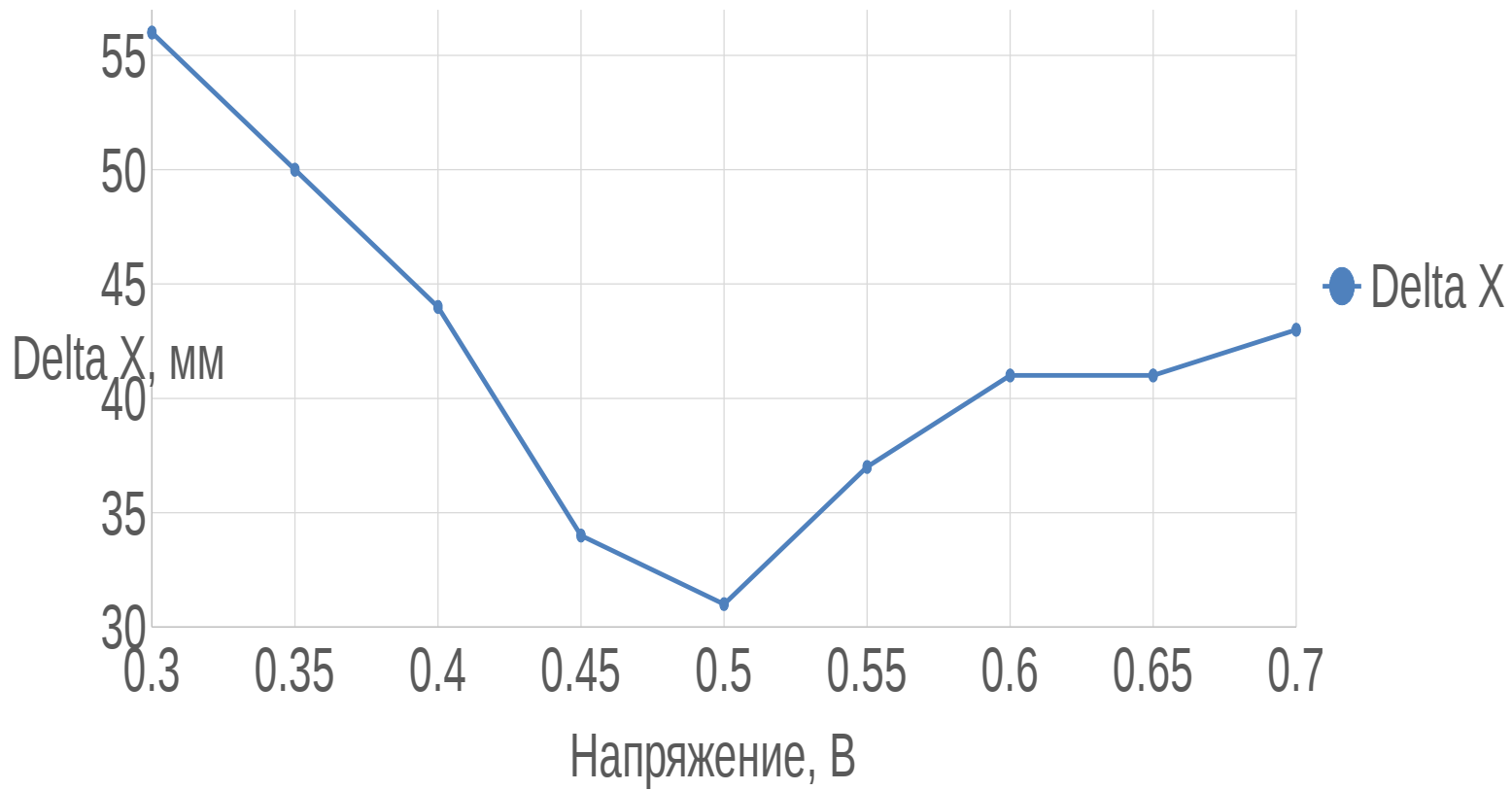


График зависимости размера пучка по X на профилометре от напряжения на линзе АП-47

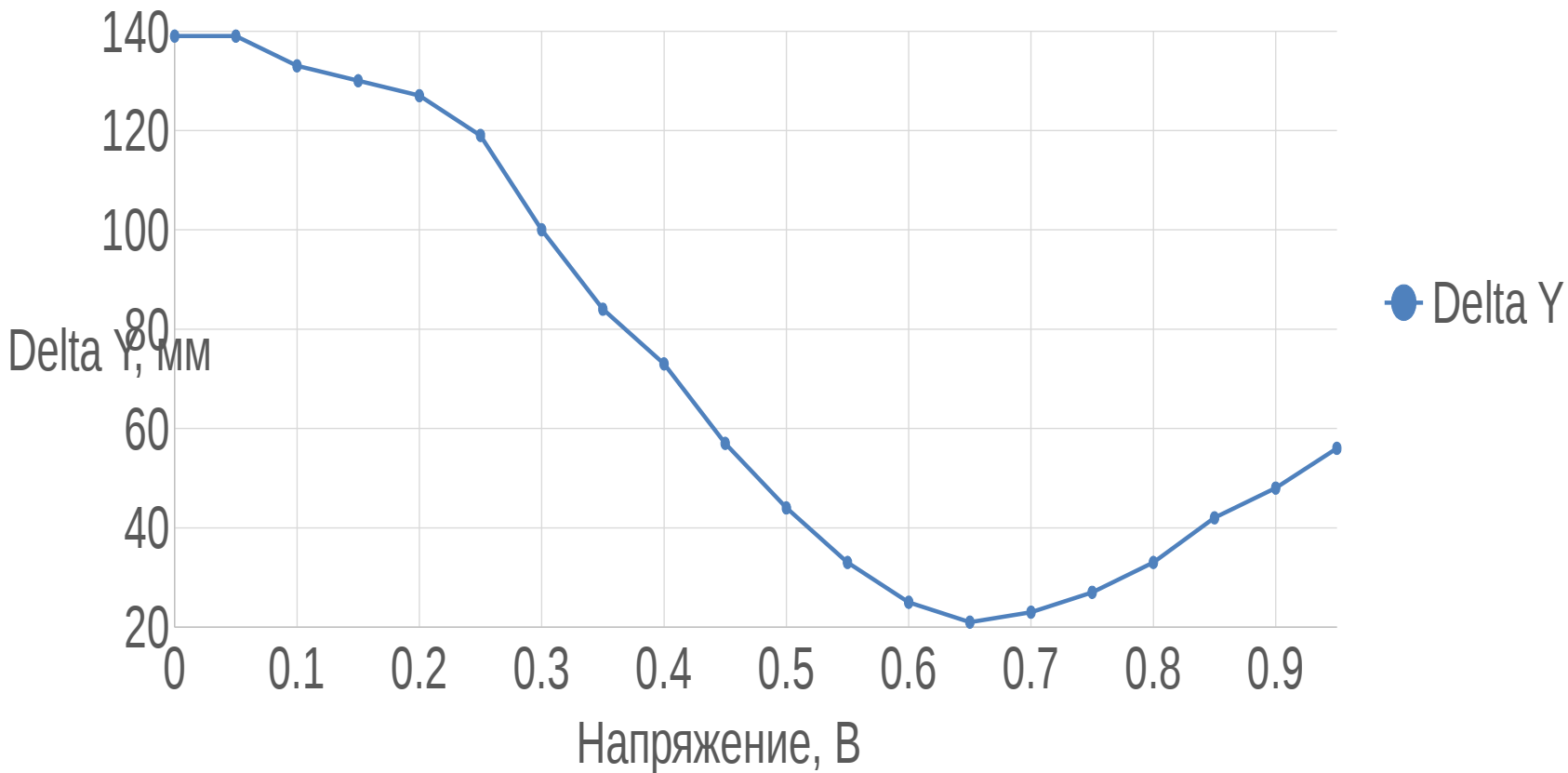
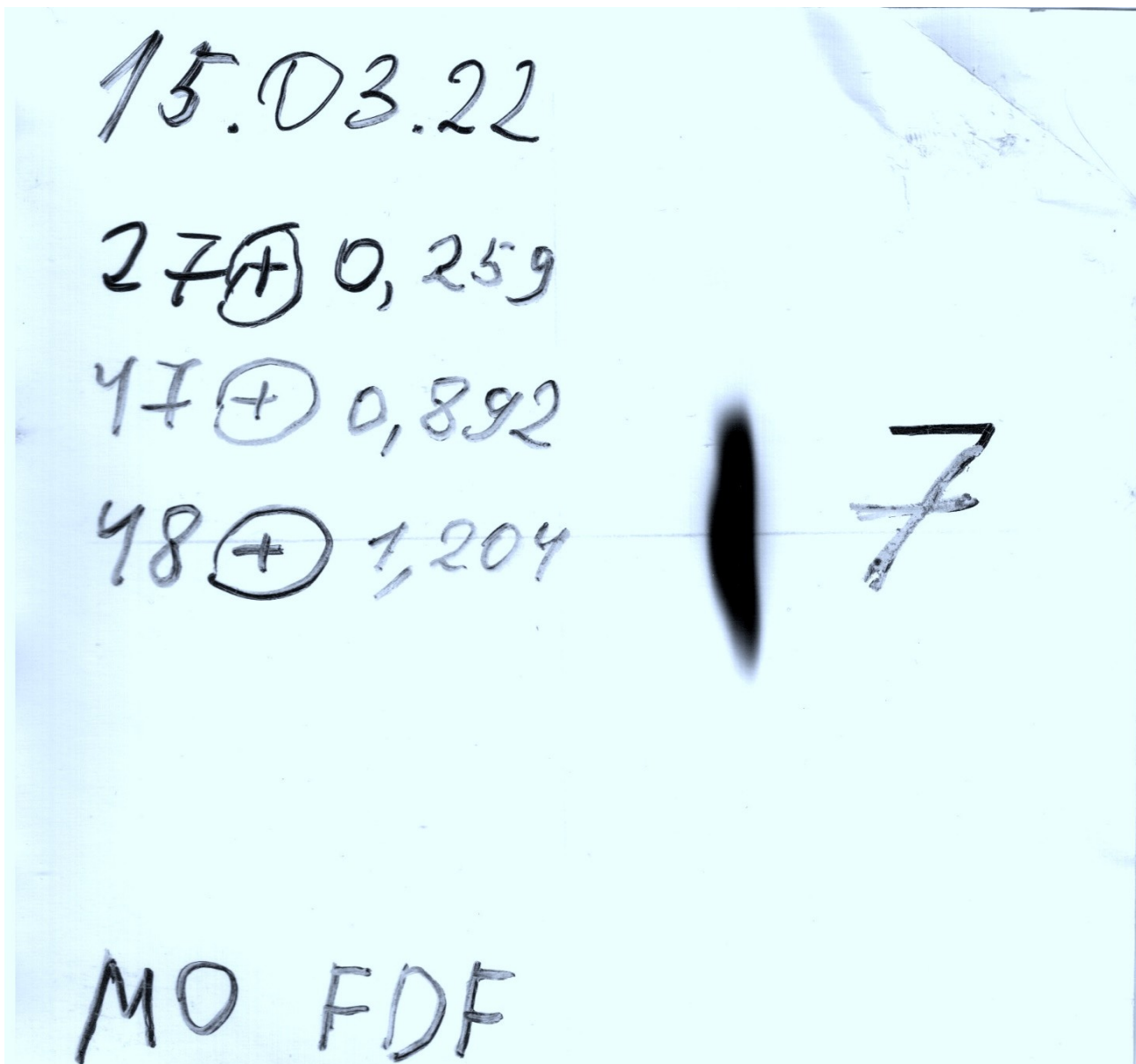
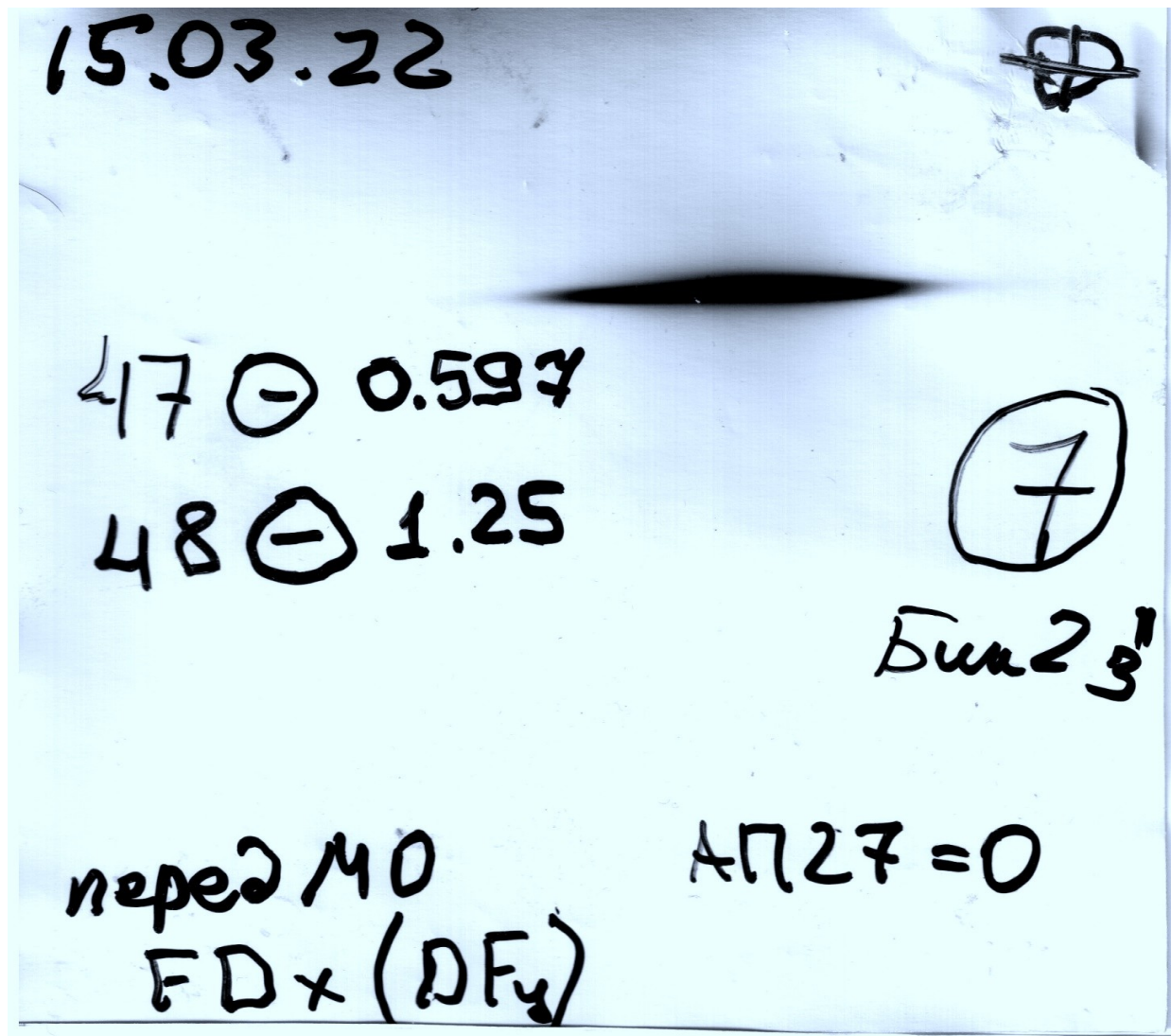


График зависимости размера пучка по Y на профилемере  
От напряжения на линзе АП-47

Профиль протонного пучка на мезонообразующей мишени -  
горизонтальная фокусировка, полученная с помощью триплета.

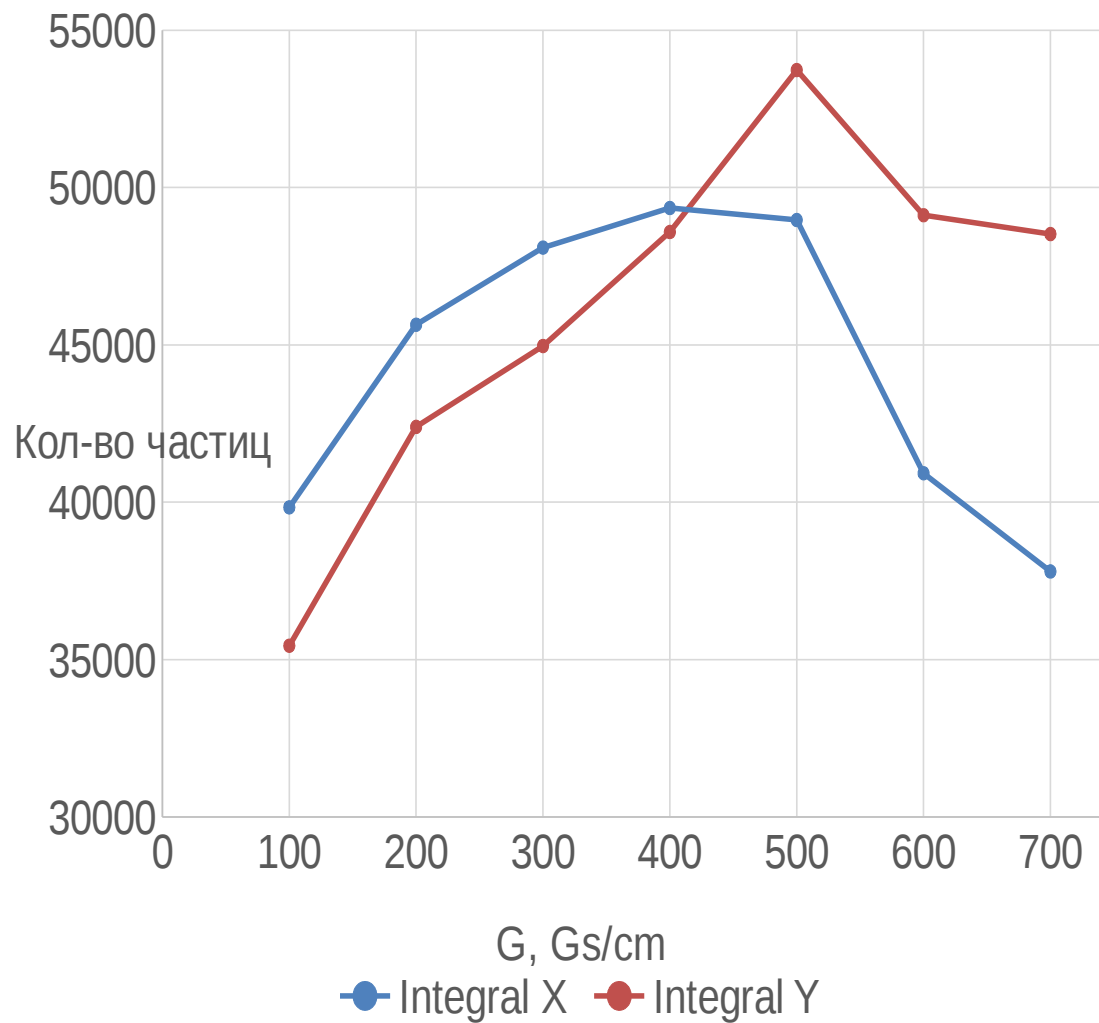


Профиль протонного пучка на мезонообразующей мишени -  
вертикальная фокусировка, полученная с помощью дублета.

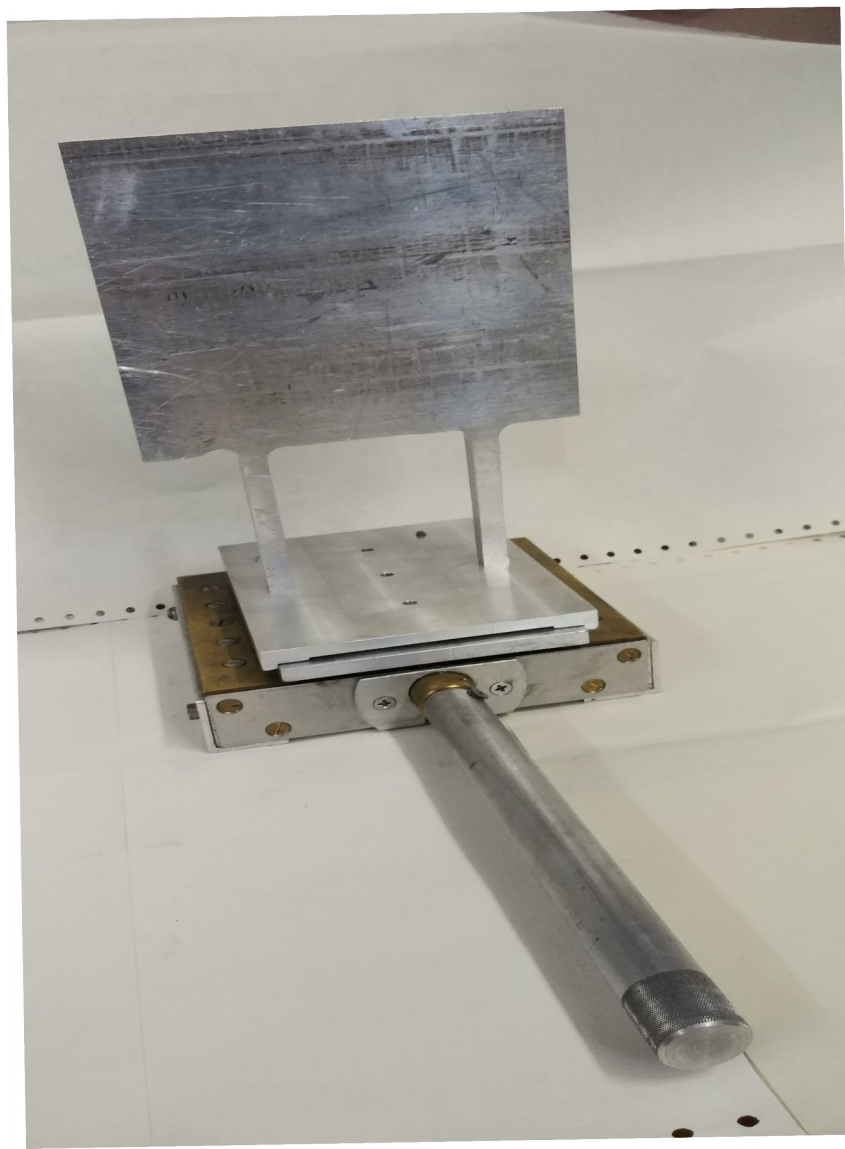




## Оценка влияния первой линзы на интенсивность пучка



Мезонообразующая мишень для точечного источника  $\pi$ -мезонов по координате X.



## Заключение

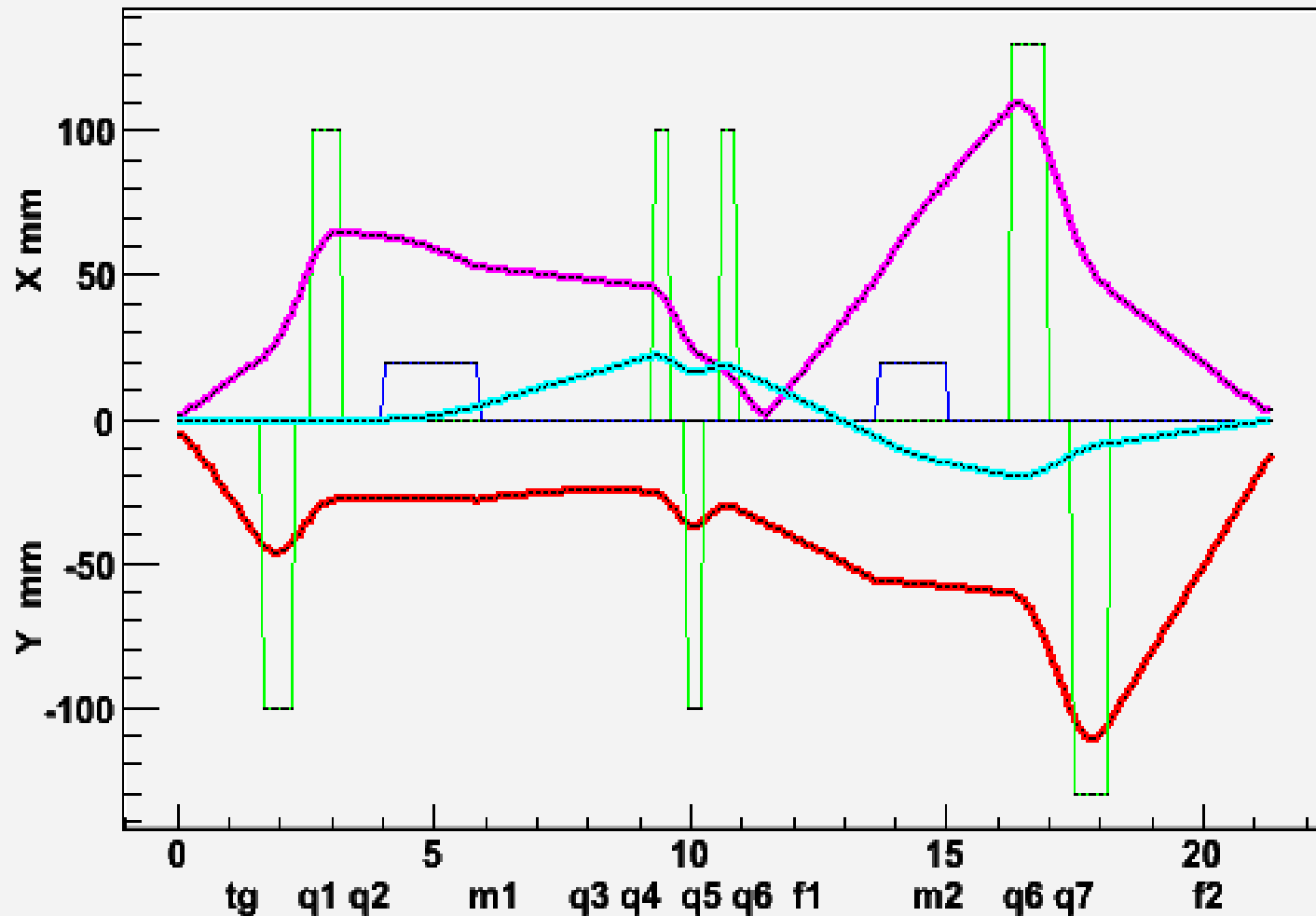
- Определён критерий поиска градиентов линз.
- Выведены аналитические формулы для расчёта фокусных расстояний и градиентов линз протонного триплета для фокусировки на мезонообразующую мишень.
- Написана программа, которая по этим формулам рассчитывает фокусные расстояния и градиенты линз.
- Написана программа для расчёта и визуализации траекторий частиц по матричным выражениям.
- Рассчитаны режимы триплета для горизонтальной фокусировки и дублета для вертикальной фокусировки на мезонообразующую мишень.
- Получены размеры пучка при горизонтальной фокусировке  $\sigma = 2,3$  мм и при вертикальной фокусировке  $\sigma = 2$  мм.
- Было выяснено, что количество зарегистрированных частиц растёт с ростом градиента первой линзы до значения 400 Гс/см.

## Пример Монте-Карло моделирования $\pi$ -мезонного канала.

Розовая линия – огибающая для X плоскости.

Красная линия – для Y

Envelopes n5 07GeV/c x1.5mm\*13mm y5mm26mm 01%



# ЭВМ-ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ПУЧКОВ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО („МЕЗОН“)

Н.К.Абросимов, В.А.Волченков, Г.А.Рябов  
Ленинград 1975

## Фокусировка в дисперсном фокусе

X-фокусировка

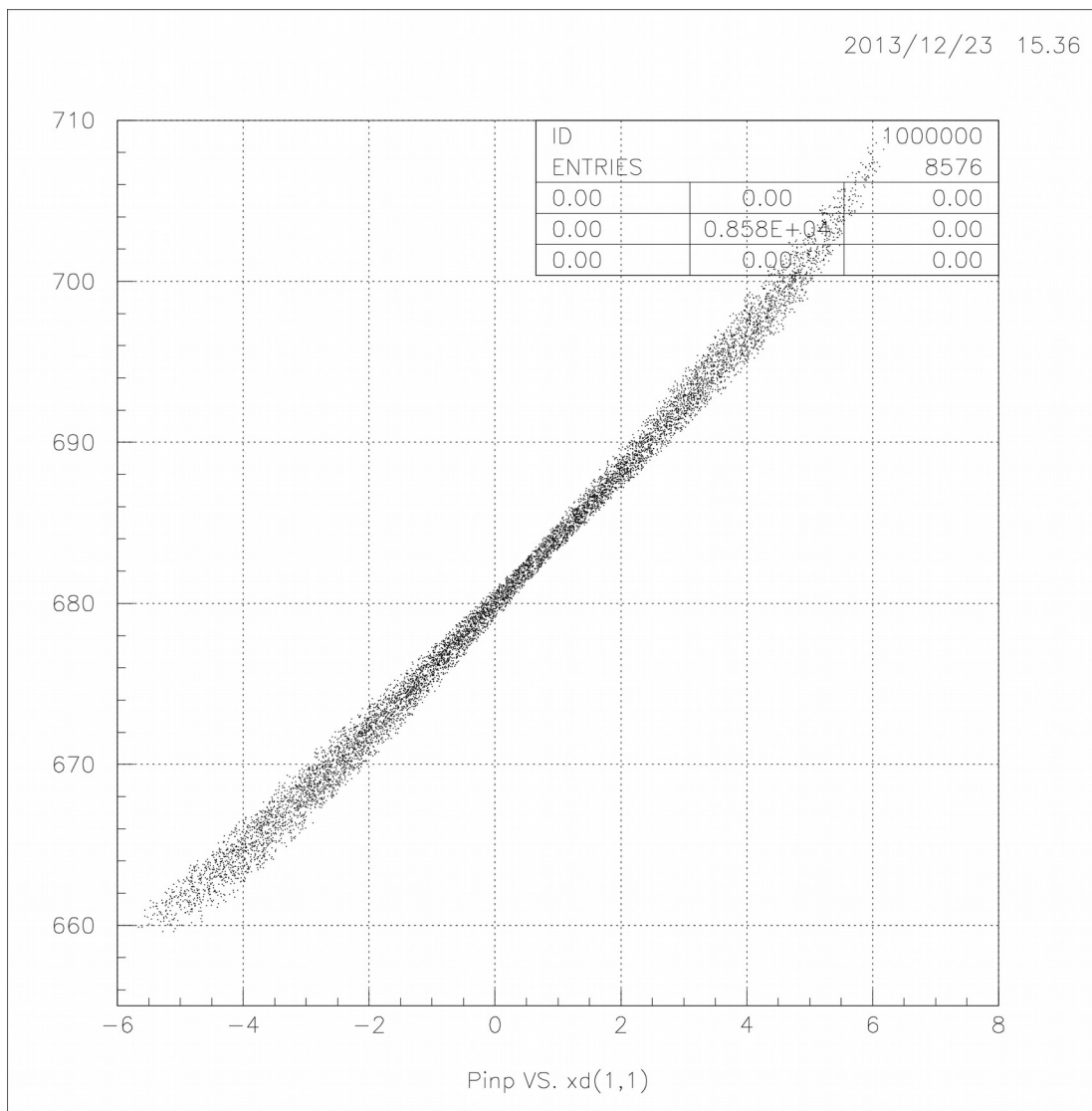
Y-фокусировка

N	ПРИЗН. (СМ)	ДЛ. КАН.	ДЛ. ГС/СМ	G
1	0.00	161.00	161.00	
2	1.00	60.00	221.00	486.00
3	0.00	34.50	255.50	
4	-1.00	60.00	315.50	320.00
5	0.00	80.00	395.50	
6	3.00	187.00	582.50	
7	0.00	340.00	922.50	
8	0.00	0.50	923.00	
9	-1.00	33.00	956.00	260.00
10	0.00	32.00	988.00	
11	1.00	33.00	1021.00	1149.00
12	0.00	32.00	1053.00	
13	-1.00	33.00	1086.00	1197.00
14	0.00	27.00	1113.00	
15	0.00	20.00	1133.00	
16	0.00	20.00	1153.00	
17	0.00	50.00	1203.00	
18	0.00	50.00	1253.00	
19	0.00	108.00	1361.00	
20	3.00	135.00	1496.00	
21	0.00	125.00	1621.00	
22	-1.00	70.00	1691.00	240.66
23	0.00	50.50	1741.50	
24	1.00	70.00	1811.50	270.56
25	0.00	72.00	1883.50	
26	0.00	18.00	1901.50	
27	0.00	75.00	1976.50	
28	0.00	78.00	2054.50	
29	0.00	87.00	2141.50	

N	ПРИЗН. (СМ)	ДЛ. КАН.	ДЛ. ГС/СМ	G
1	0.00	161.00	161.00	
2	-1.00	60.00	221.00	512.00
3	0.00	34.50	255.50	
4	1.00	60.00	315.50	326.00
5	0.00	80.00	395.50	
6	3.00	187.00	582.50	
7	0.00	340.00	922.50	
8	0.00	0.50	923.00	
9	1.00	33.00	956.00	627.00
10	0.00	32.00	988.00	
11	-1.00	33.00	1021.00	1330.00
12	0.00	32.00	1053.00	
13	1.00	33.00	1086.00	931.00
14	0.00	27.00	1113.00	
15	0.00	20.00	1133.00	
16	0.00	20.00	1153.00	
17	0.00	50.00	1203.00	
18	0.00	50.00	1253.00	
19	0.00	108.00	1361.00	
20	3.00	135.00	1496.00	
21	0.00	125.00	1621.00	
22	1.00	70.00	1691.00	245.37
23	0.00	50.50	1741.50	
24	-1.00	70.00	1811.50	269.80
25	0.00	72.00	1883.50	
26	0.00	18.00	1901.50	
27	0.00	75.00	1976.50	
28	0.00	78.00	2054.50	
29	0.00	87.00	2141.50	



# Зависимость $P_{inp}$ $\pi$ -мезона от координаты X в дисперсном фокусе.



Как проверить получаемое импульсное разрешение?

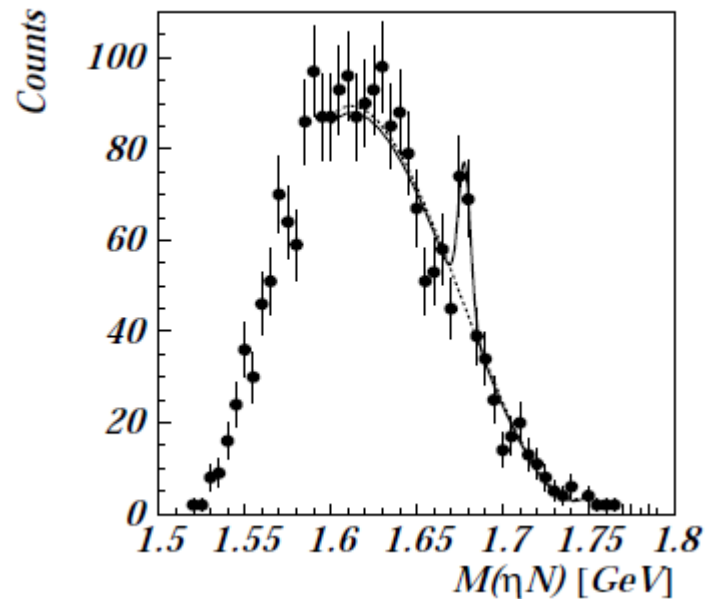
Матвеев Иван Романович (Тема Бакалавровской работы):

"Моделирование и калибровка импульсного разрешения магнитного спектрометра пи-мезонного канала методом времени-пролета."

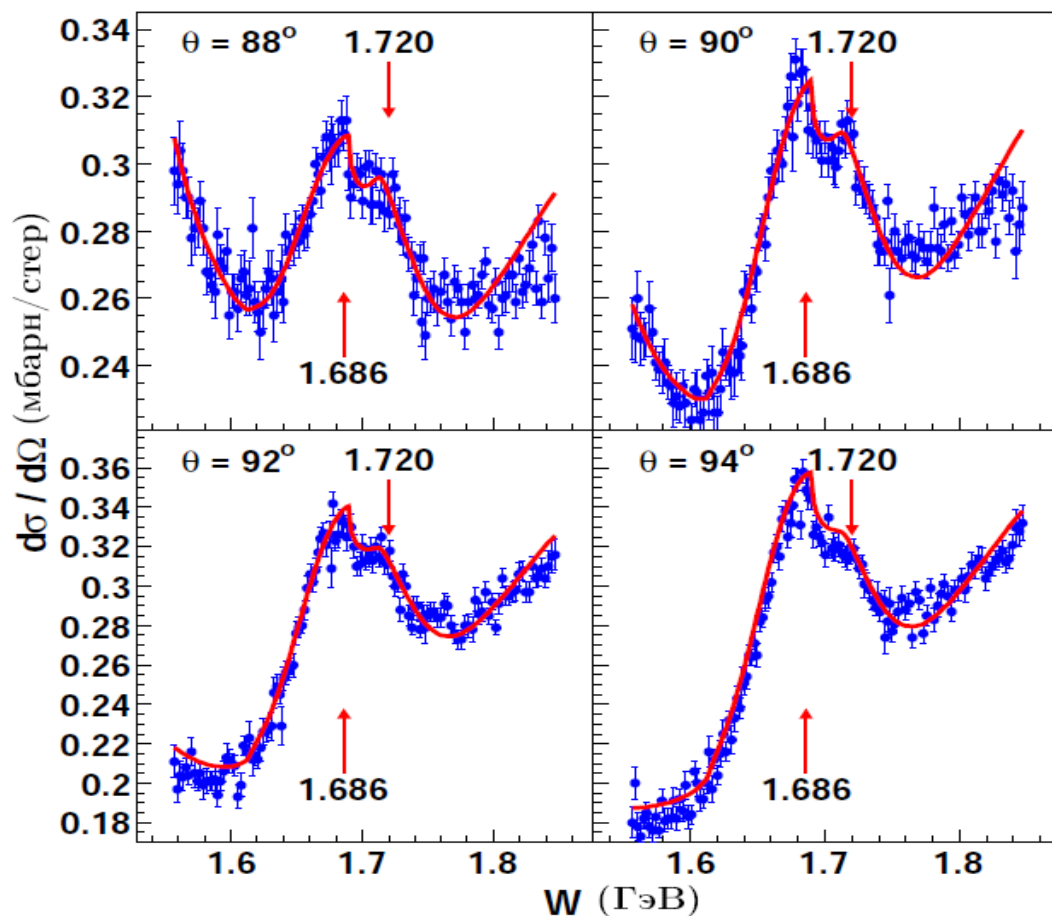
**Планируемая физическая программа на пи-мезонном пучке  
Лаборатории Мезонной Физики**

а) Изучение реакции перезарядки  $\pi^+ p \rightarrow \pi^0 n$  возле порога рождения  $\eta$  – мезона.

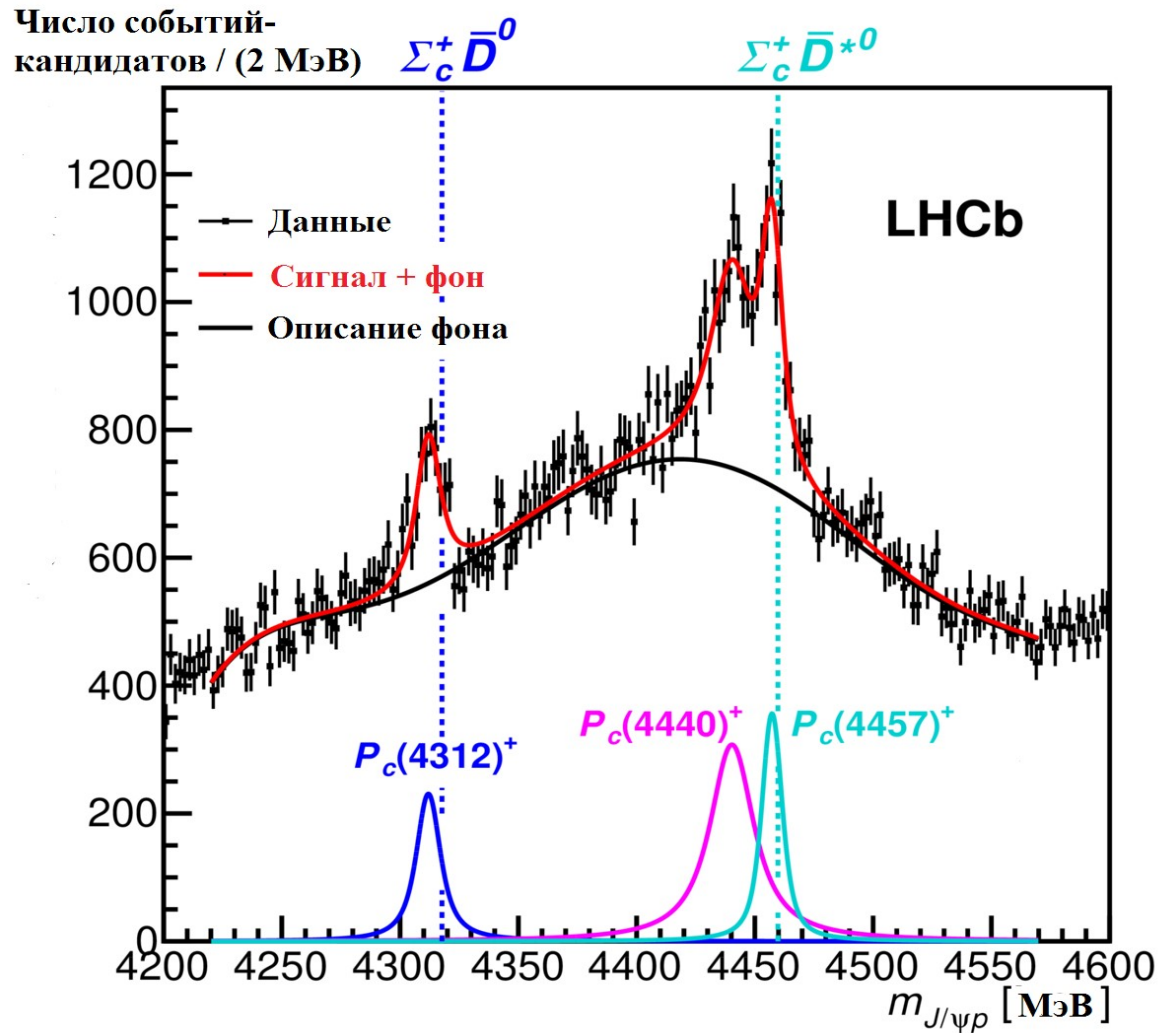
В уже в течении длительного время большой интерес вызывают эксперименты исследующие особенности сечений в области открытия новых каналов реакций.



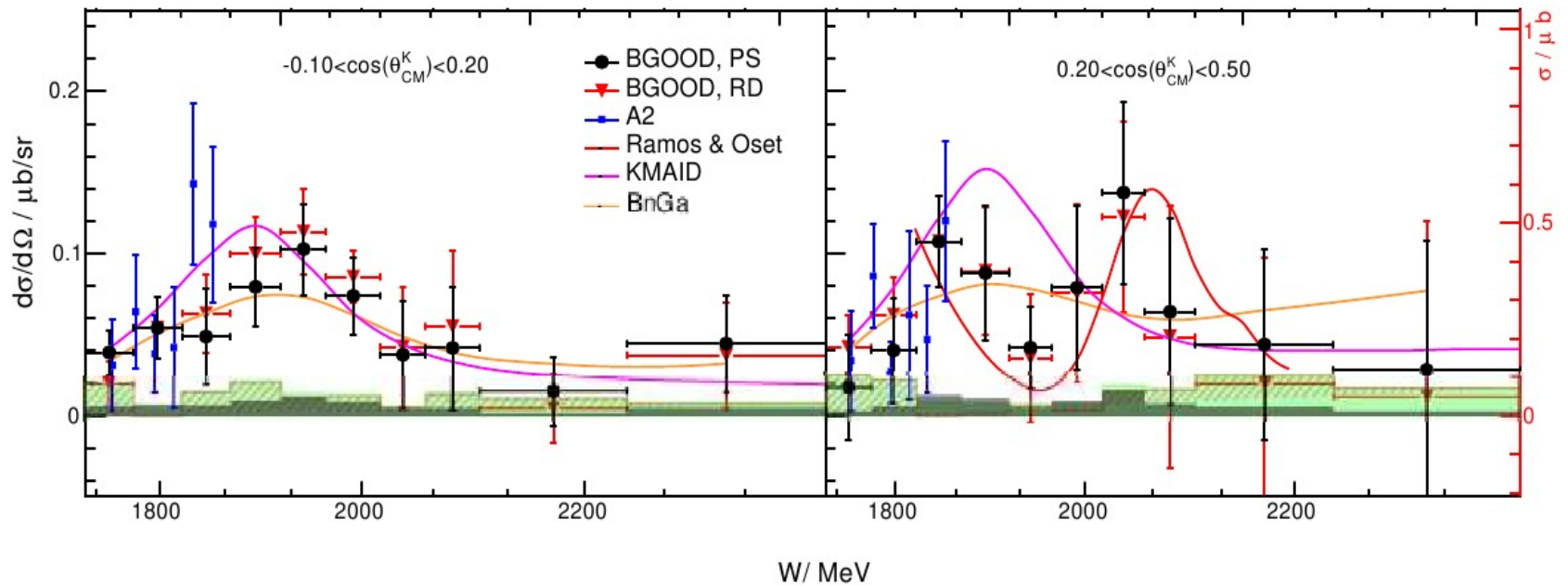
Эксперимент “Эпекур” с участием нашей лаборатории, который проводился в ИТЭФ, где измерялись дифференциальные сечения реакции упругого рассеяния  $\pi^- p \rightarrow \pi^- p$ , ниже показаны результаты в области 1550 – 1850 МэВ в СЦМ. Нами была предпринята попытка описания полученных данных при помощи К-матричной модели с включенными узкими резонансами N(1686) и N(1720)



Аналогичные явления наблюдались на LHC-коллайдере



## Differential cross section of $\gamma n \rightarrow K^0 \Sigma^0$



**Figure 1.** Differential cross section of  $\gamma n \rightarrow K^0 \Sigma^0$  as a function of  $W$  for two intervals in  $\cos \theta_{\text{CM}}^K$  and two different fitting methods (red triangles, and black circles). Data from the A2 Collaboration and calculations from KMAID and BnGa are labelled in the legend. The predicted total cross section from Ramos and Oset [7] is included in the angular bin  $0.2 < \cos \theta_{\text{CM}}^K < 0.5$  (red solid line) at an arbitrary scale denoted by the red axis on the right. Figure (adapted) and references in Ref. [11].

Мы планируем исследовать реакцию перезарядки вблизи порога рождения  $\eta$ -мезона.

Подобный эксперимент уже выполнялся в BNL, результаты приведены на рисунке ниже. Видно, что у полученных результатов не хватает статистической точности, особенно ниже порога.

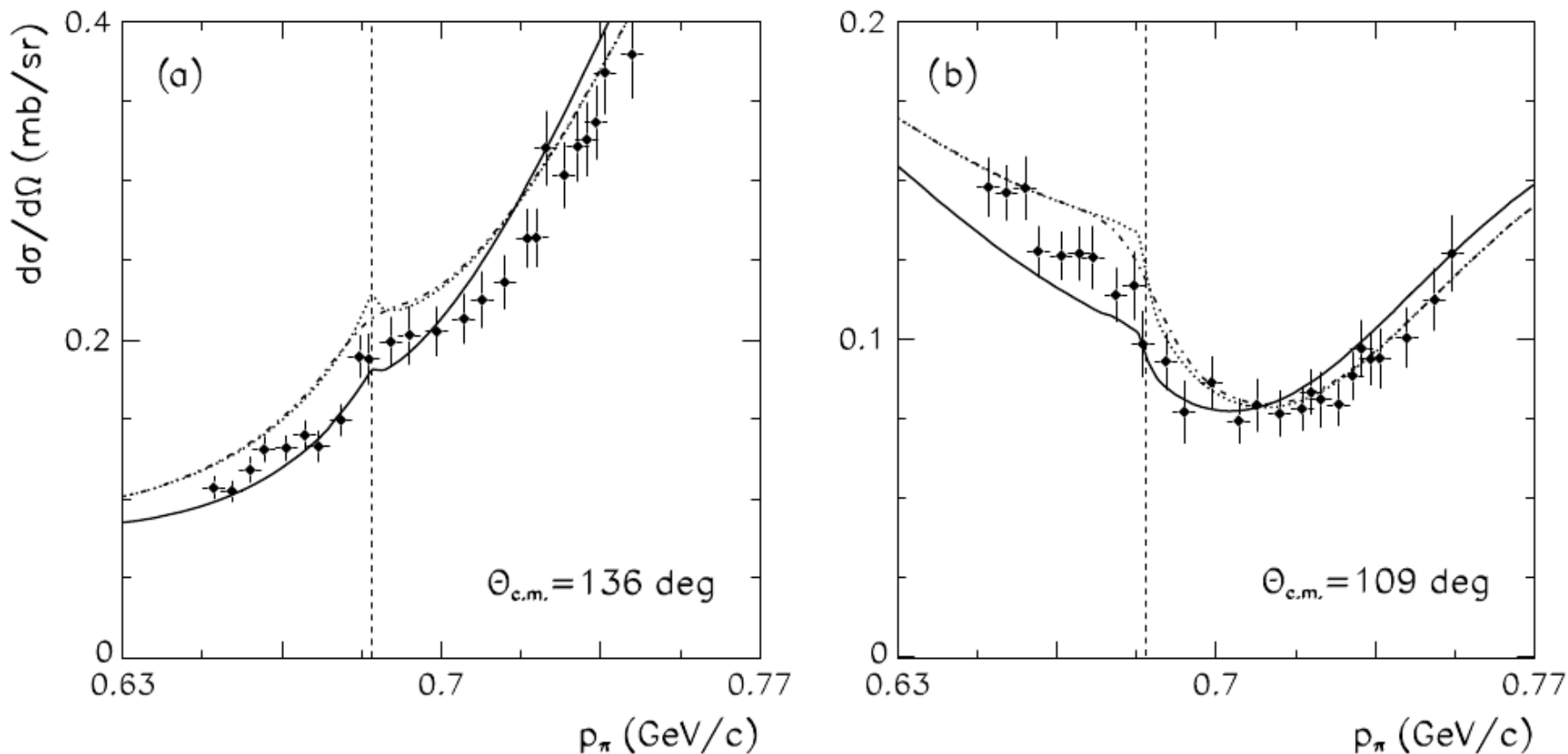


FIG. 9. The  $\pi - p \rightarrow \pi^0 n$  differential cross sections at selected angles compared to the SAID results. Solid circles ( $\square$ ) show the data points. The solid line represents the FA02; the dotted line shows the SM95 solution of the SAID PWA. The dashed-dotted line shows the SM95 solution convoluted with the experimental beam momentum resolution ( $\sigma$ ) of 5 MeV/c. The dashed vertical line indicates the  $\eta$  production threshold.



В дальнейшем планируется изучить реакцию перезарядки на дейтроне:  
 $\pi^- D \rightarrow \pi^0 n n$  и  $\pi^+ D \rightarrow \pi^0 p p$  с целью проверки изотопической инвариантности, а также существования нерегулярностей в районе порога рождения  $\eta$ -мезона.

Изотопическая инвариантность является одной из фундаментальных симметрий сильных взаимодействий. В лагранжиане квантовой хромодинамики источником нарушения изотопической инвариантности служит член пропорциональный разности масс кварков, поэтому экспериментальное изучение эффектов нарушения изотопической инвариантности может дать информацию о зависимости масс кварков от аромата, что является одной из важных и нерешенных проблем в физике.

С наступающим Новым Годом !!!

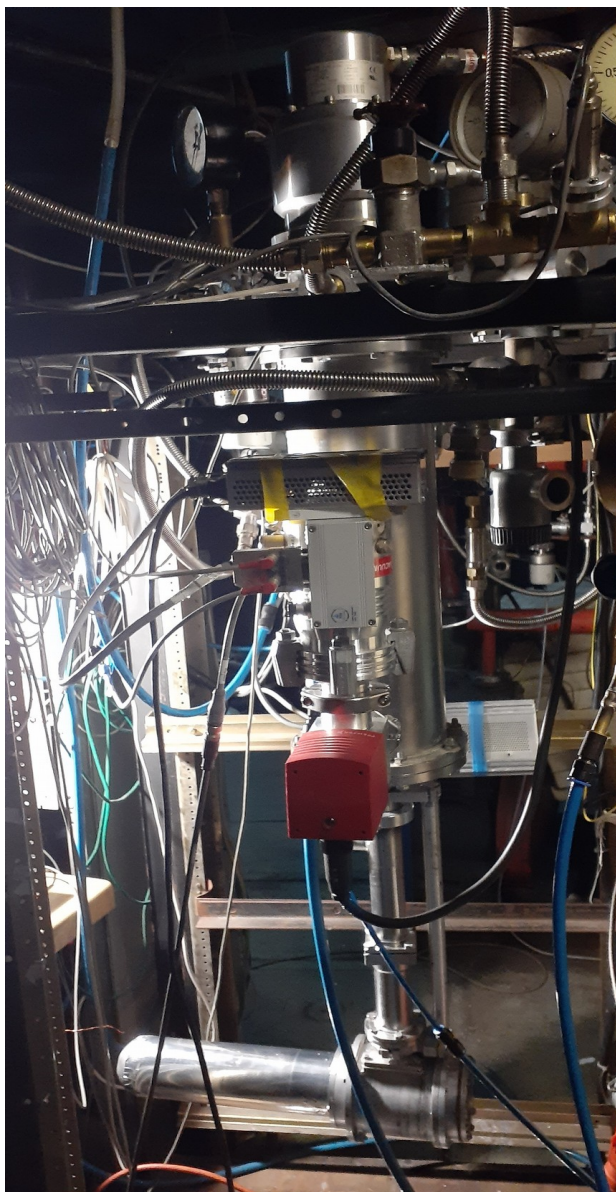
CsI 2х плечевой спектрометр,  $6 \times 4 = 24$  кристалла каждое плечо







Протонная или дейтеривая мишень



Криогенератор

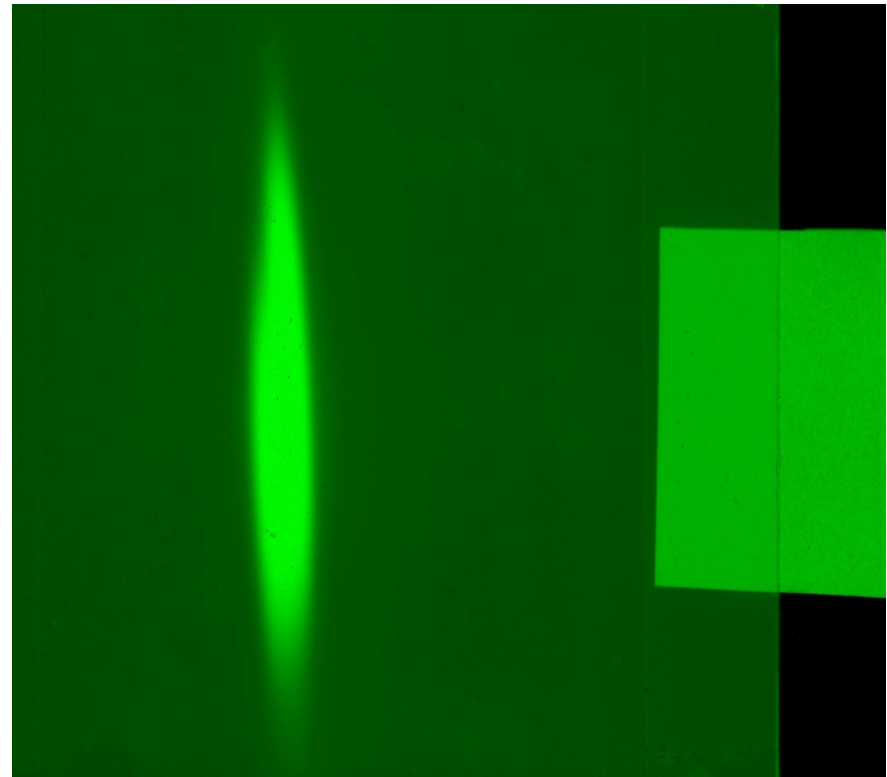
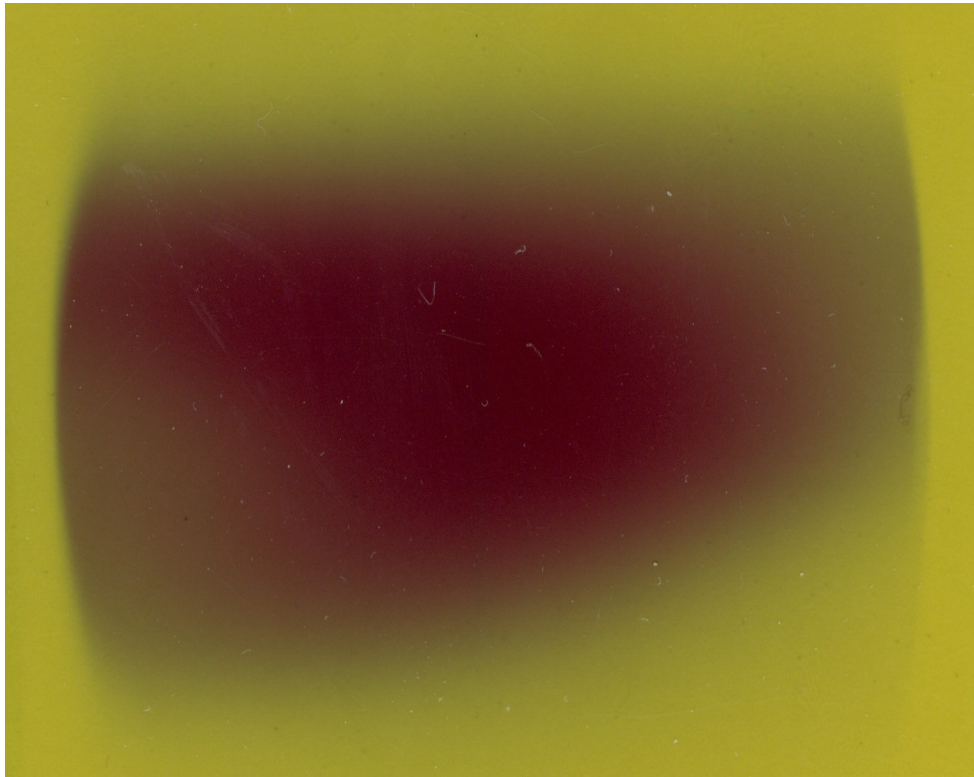




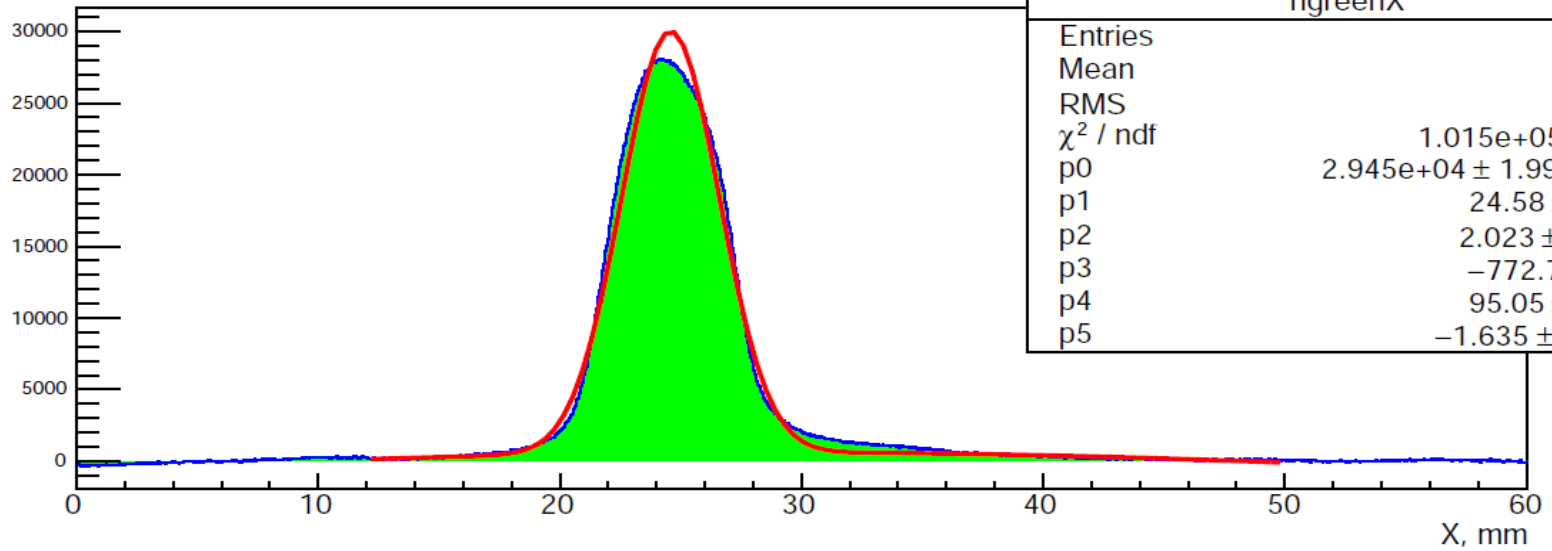
## Пропорциональные камеры



Фото пучка после дублета

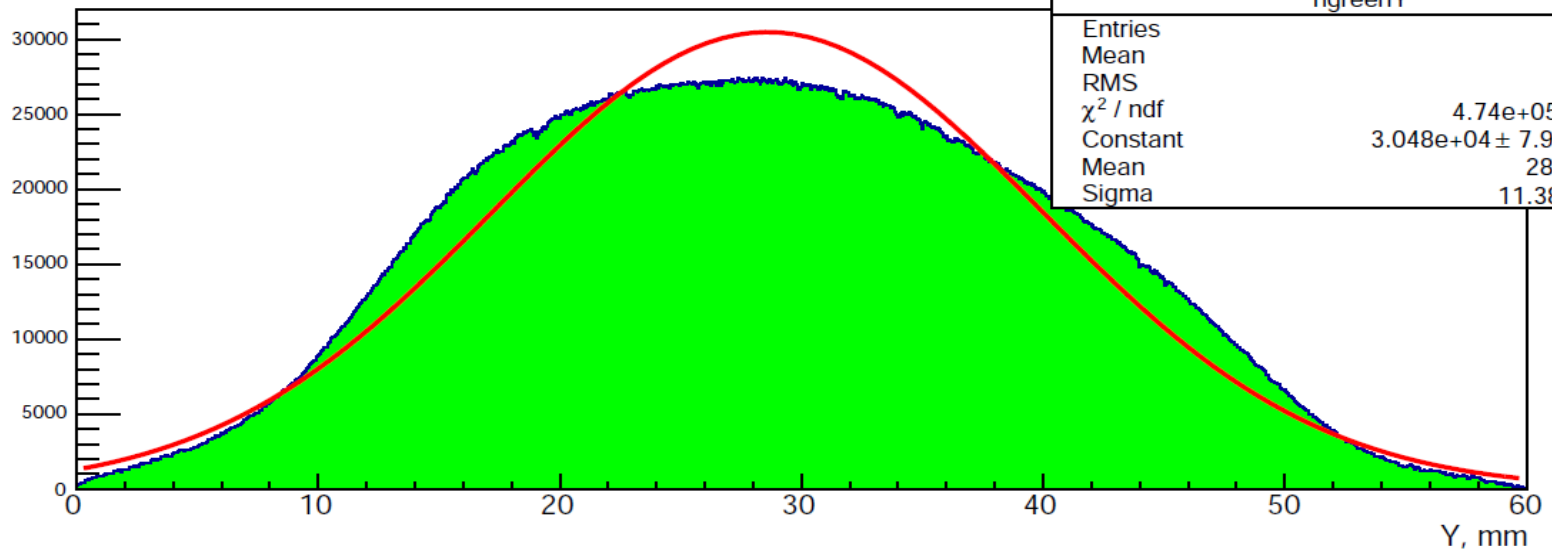


X Beam Profile at Z MO tgt



hgreenX	
Entries	2753
Mean	25.22
RMS	3.644
$\chi^2 / \text{ndf}$	1.015e+05 / 892
p0	2.945e+04 $\pm$ 1.998e+01
p1	24.58 $\pm$ 0.00
p2	2.023 $\pm$ 0.001
p3	-772.7 $\pm$ 4.8
p4	95.05 $\pm$ 0.38
p5	-1.635 $\pm$ 0.006

Y Beam Profile at Z MO tgt



hgreenY	
Entries	1447
Mean	28.73
RMS	11.25
$\chi^2 / \text{ndf}$	4.74e+05 / 1414
Constant	3.048e+04 $\pm$ 7.982e+00
Mean	28.6 $\pm$ 0.0
Sigma	11.38 $\pm$ 0.00



SpasCharm — выстроенности векторных мезонов, поляризация Лямда-гиперона, ассиметрии на поляризованной мишени.

сеанс завершен. Набрали 40 млн. К-триггеров.

Набирали:

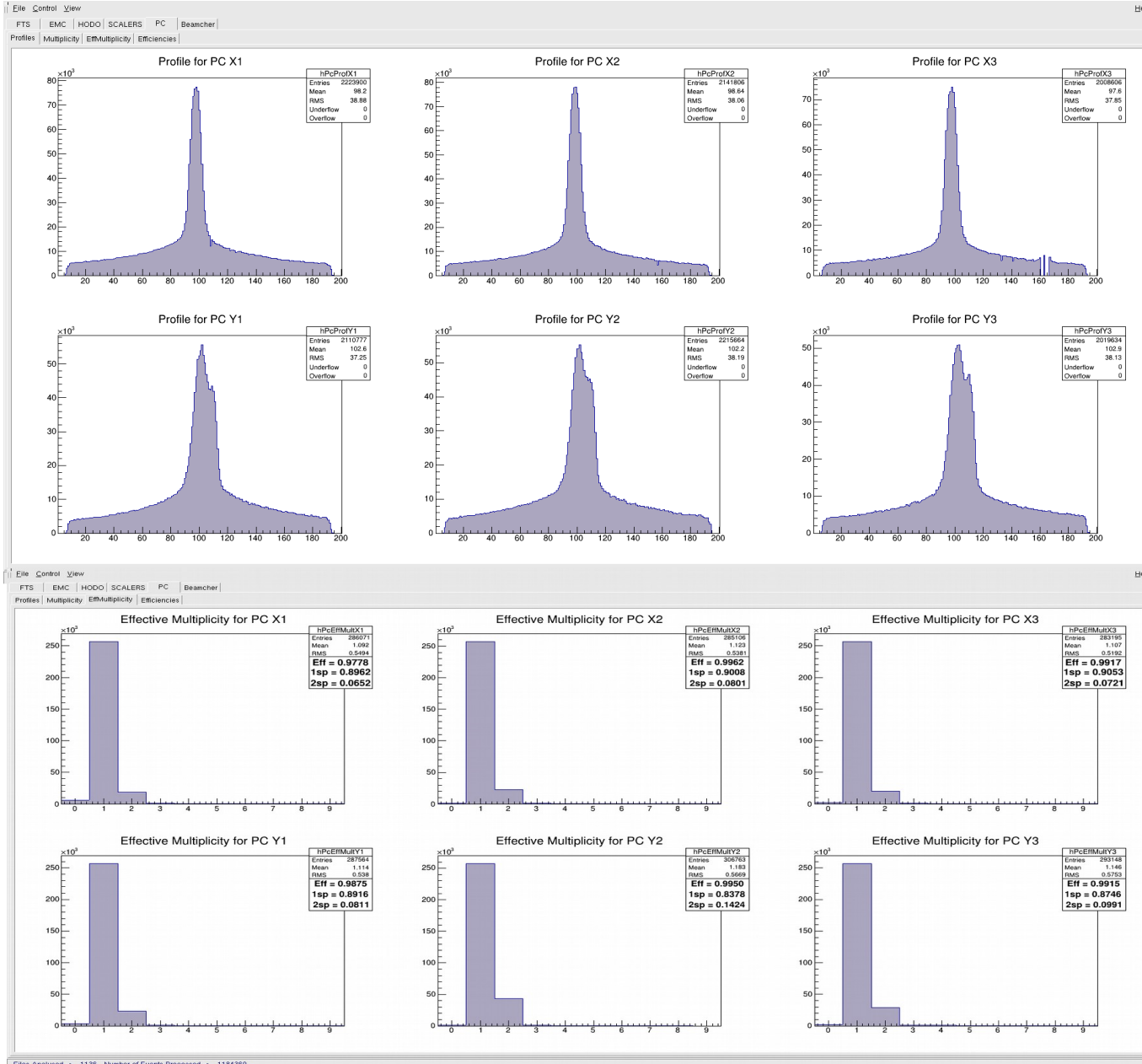
7 дек 22:00 - 16 дек 8:00 -> 202 часа (~ 8.5 суток),  
из них набирали статистику 171 час (эффективность = ~85%).

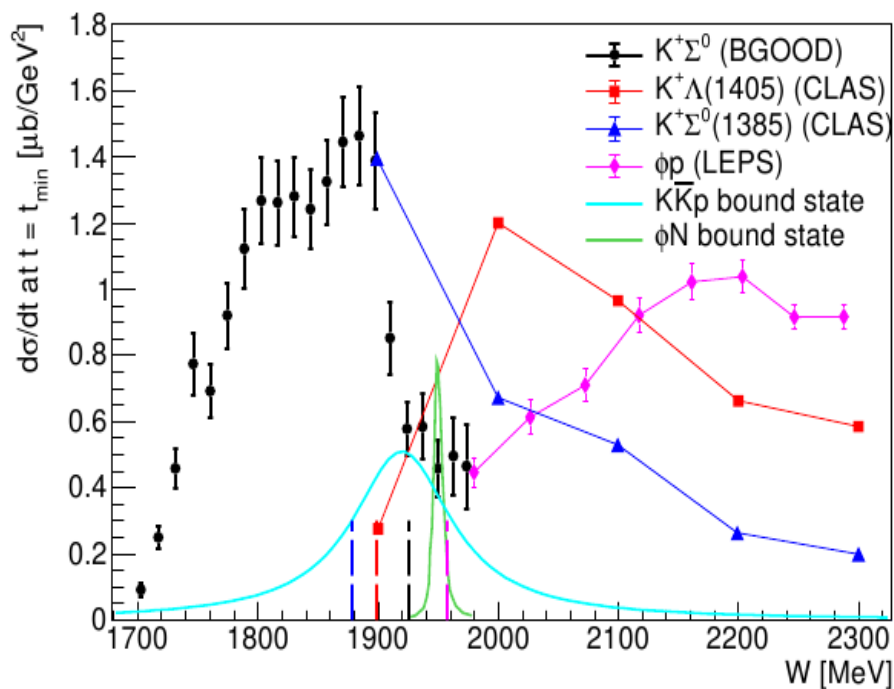
В соответствии с записями в электронном журнале за сеанс набрали:

A = 0	Empty target	29.5 h
A = 12	Carbon	18. h
A = 27	Aluminum	40.5 h
A = 64	Copper	19.5 h
A = 118	Tungsten	21.5 h
A = 207	Lead	42. h

-----  
ИТОГО: 171 час --> набрано ~40 млн. К-триггеров/

# Работа пропорциональных камер на эксперименте SpasCharm





**Figure 5.**  $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma^0$  differential cross section,  $d\sigma/dt$  extrapolated to  $t_{\min}$  versus  $W$  (filled black circles). Previous data of other final states indicated in the legend. The vertical dashed lines indicate the respective thresholds, with the addition of the  $K^+ K^- p$  threshold indicated by the black dashed line. Predictions of  $K\bar{K}N$  and  $\phi N$  bound states are shown. Figure and references in Ref. [14].