

# Владимир Иосифович Векслер.

Сто лет со дня рождения, 4.03.1907 – 22.09.1966.

Создатель Синхрофазотрона.

Один из основателей ОИЯИ.

Автор открытия «Автофазировка в резонансных циклических ускорителях.»

Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, лауреат премии «Атом для мира».

Кавалер трёх орденов Ленина и Трудового красного знамени.

Почётный гражданин г. Дубны.

## Исследования на Синхрофазотроне

Никитин В.А., ОИЯИ, март 2007 г.

«Чтобы задумать и построить такое сооружение, нужна была очень большая смелость».

Нильс Бор.

### Этапы пути:

1949 г. – начало проектирования; 1952 г. – начало строительства;

1957 г., 16 апреля, 23 часа 40 минут – есть проектная энергия 10 ГэВ !!;

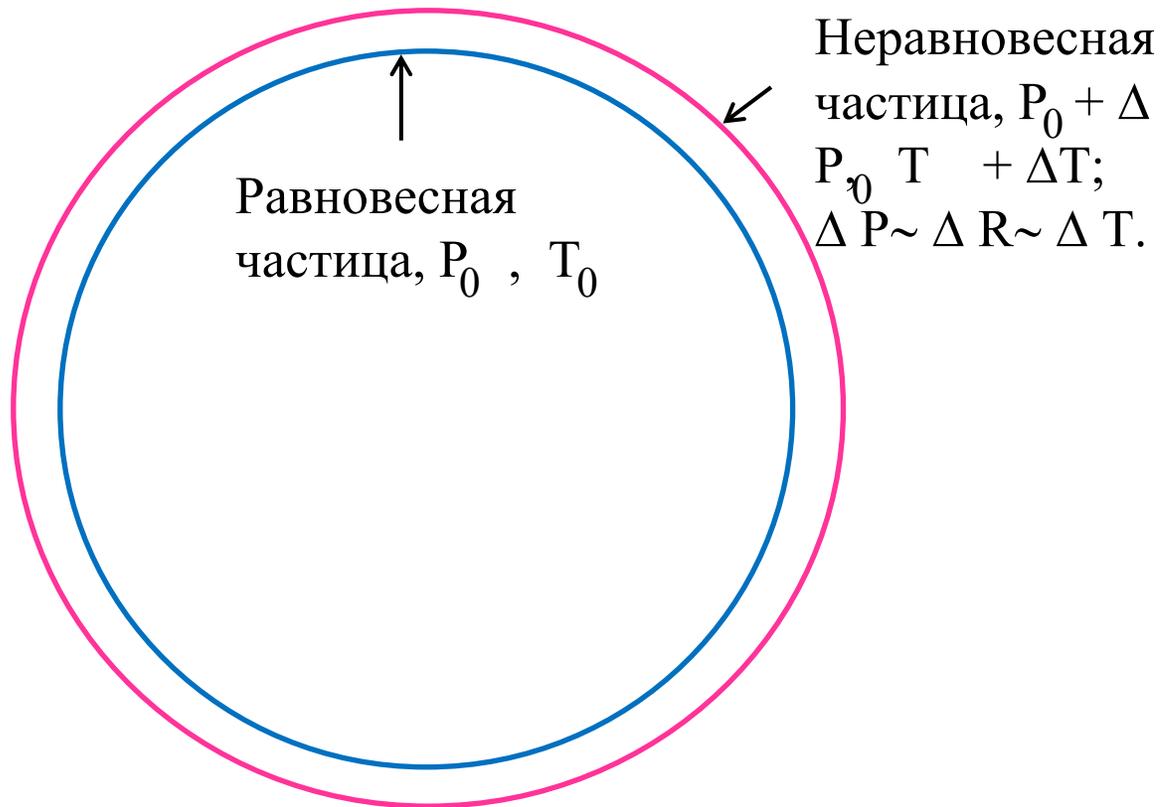
1972 г. – получен выведенный пучок протонов; 1969 г. – ускорение дейтронов; 1981 г. – ускорение ядер от H до Si; 1983 г. – ускорение поляризованных дейтронов;

2002 г. – Конец работ на СФ.



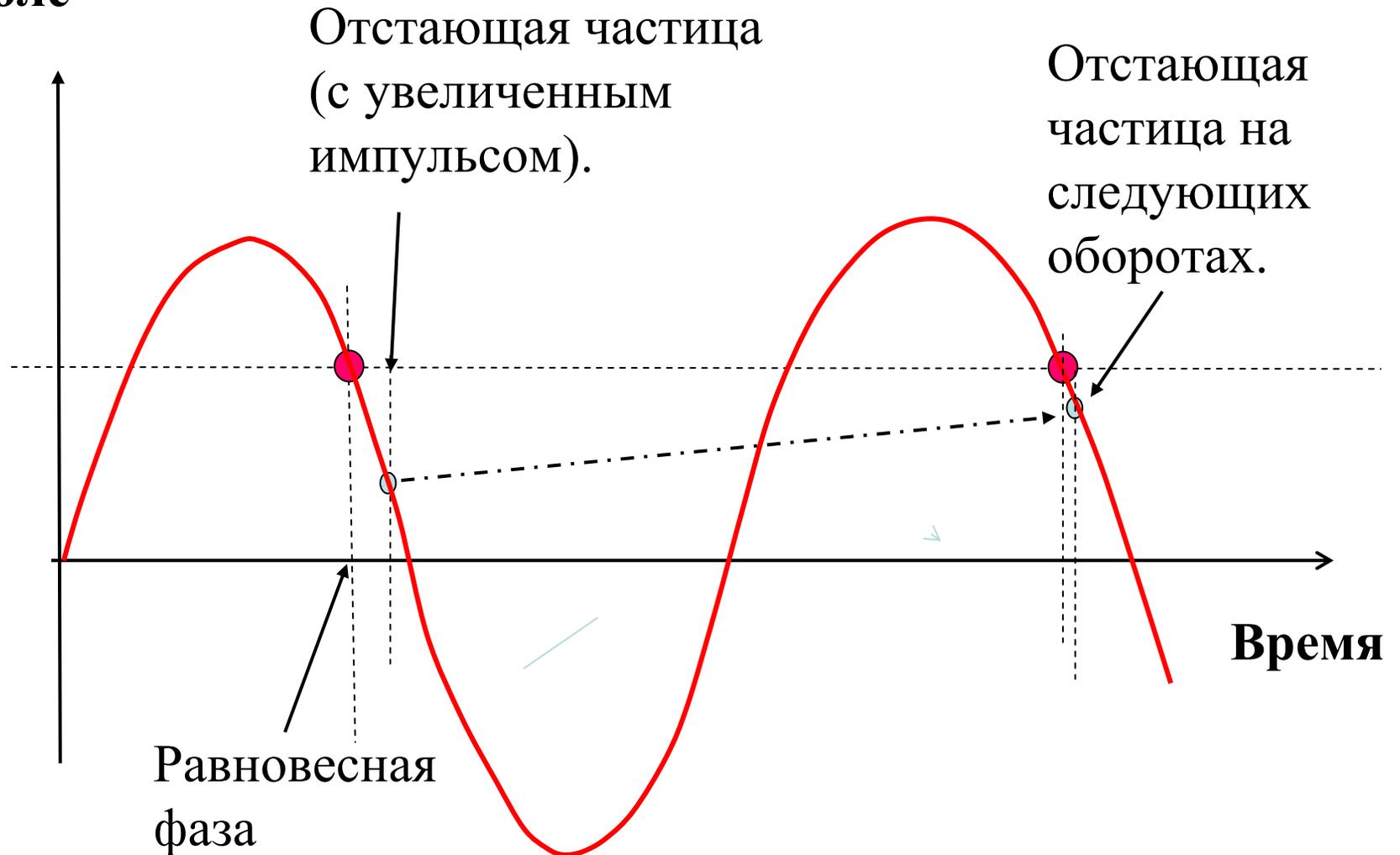
Синхрофазотрон. Общий вид

# Принцип автофазировки

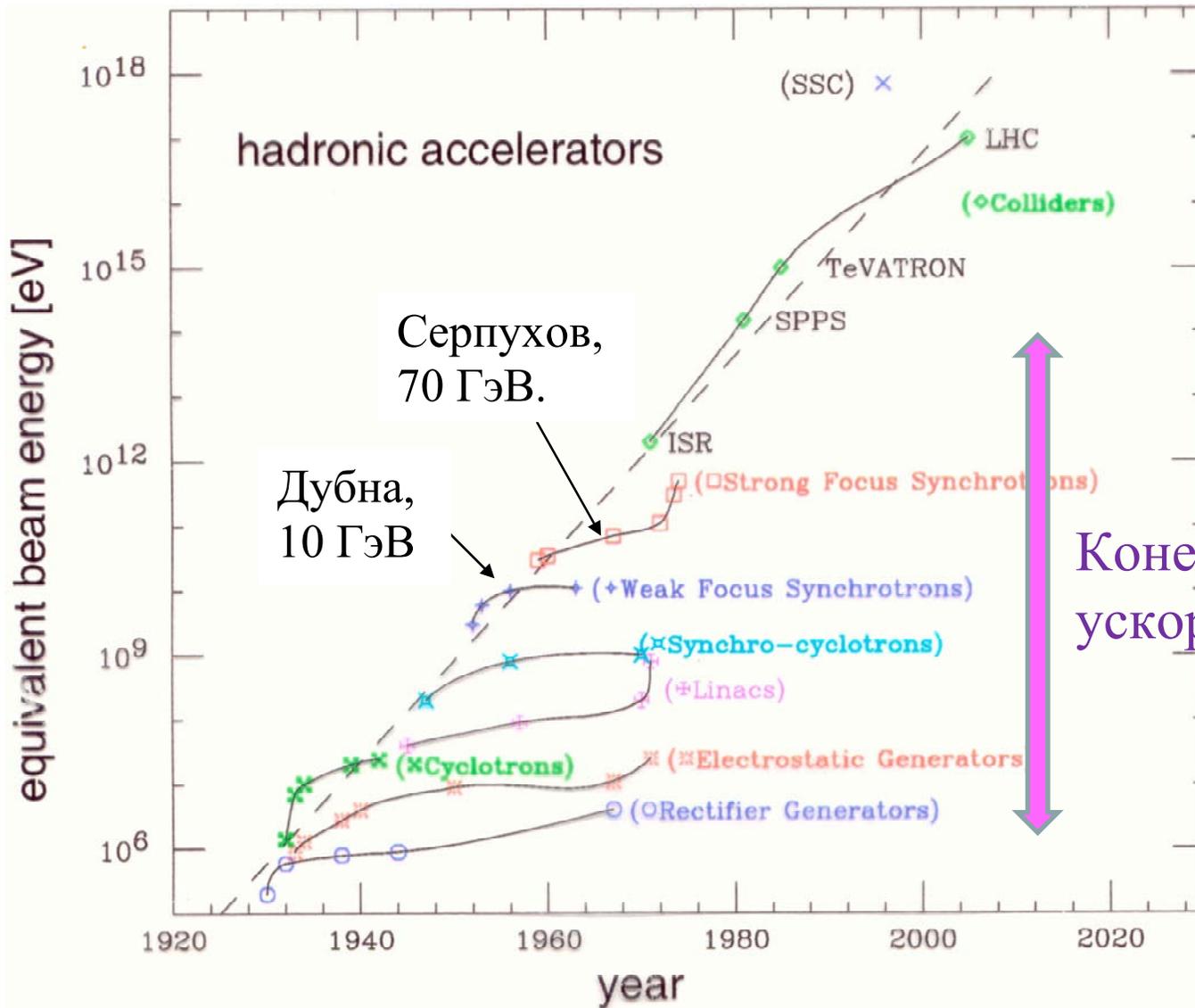


# Принцип автофазировки

Ускоряющее поле

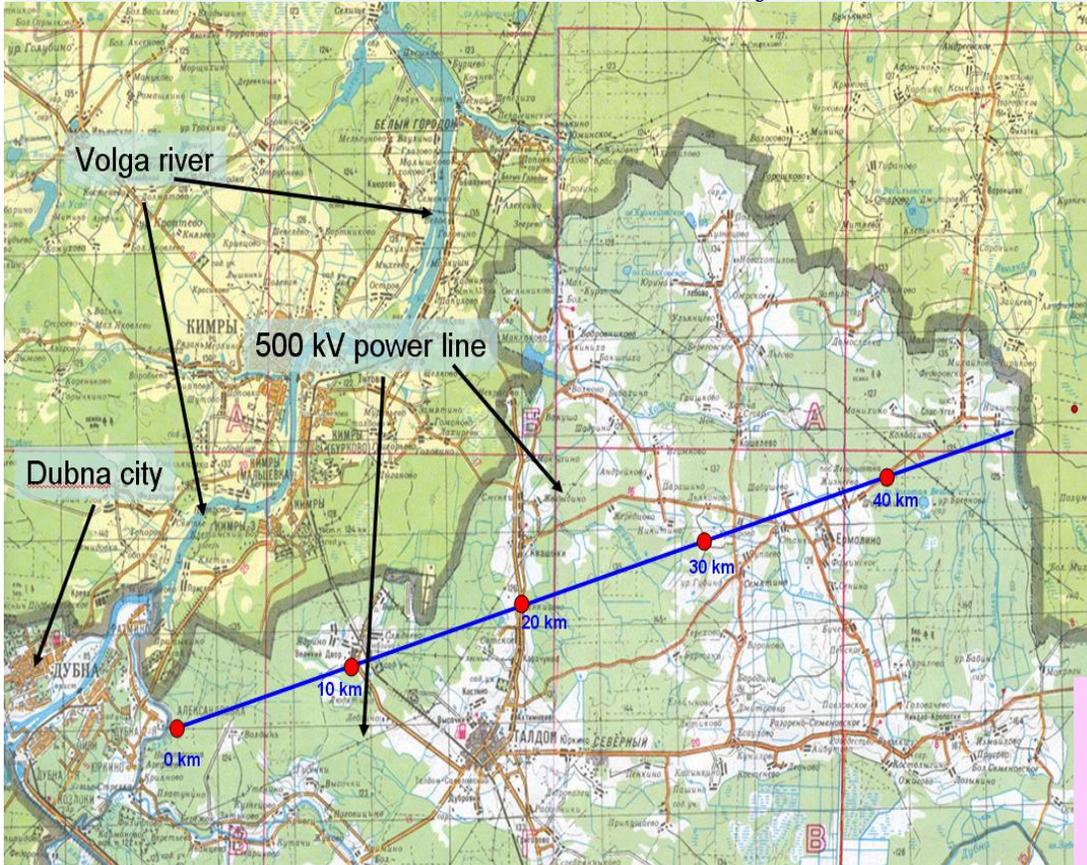


# История ускорителей.



The Scientific Council supports the intention of JINR to participate actively in the ILC project and the possible interest of JINR to host the ILC.

*from the resolution of 99<sup>th</sup> session of the JINR SC*



November 2006 – GDE in Valencia

- Documentation from JINR to Reference

Design Report (RDR) was officially submitted.

- JINR (Dubna) is officially approved by GDE Director as a sample site for ILC hosting.

$$E (\text{LHC, c.m.s., } q+q) = 14 \text{ TeV} / 7 = 2 \text{ TeV}$$

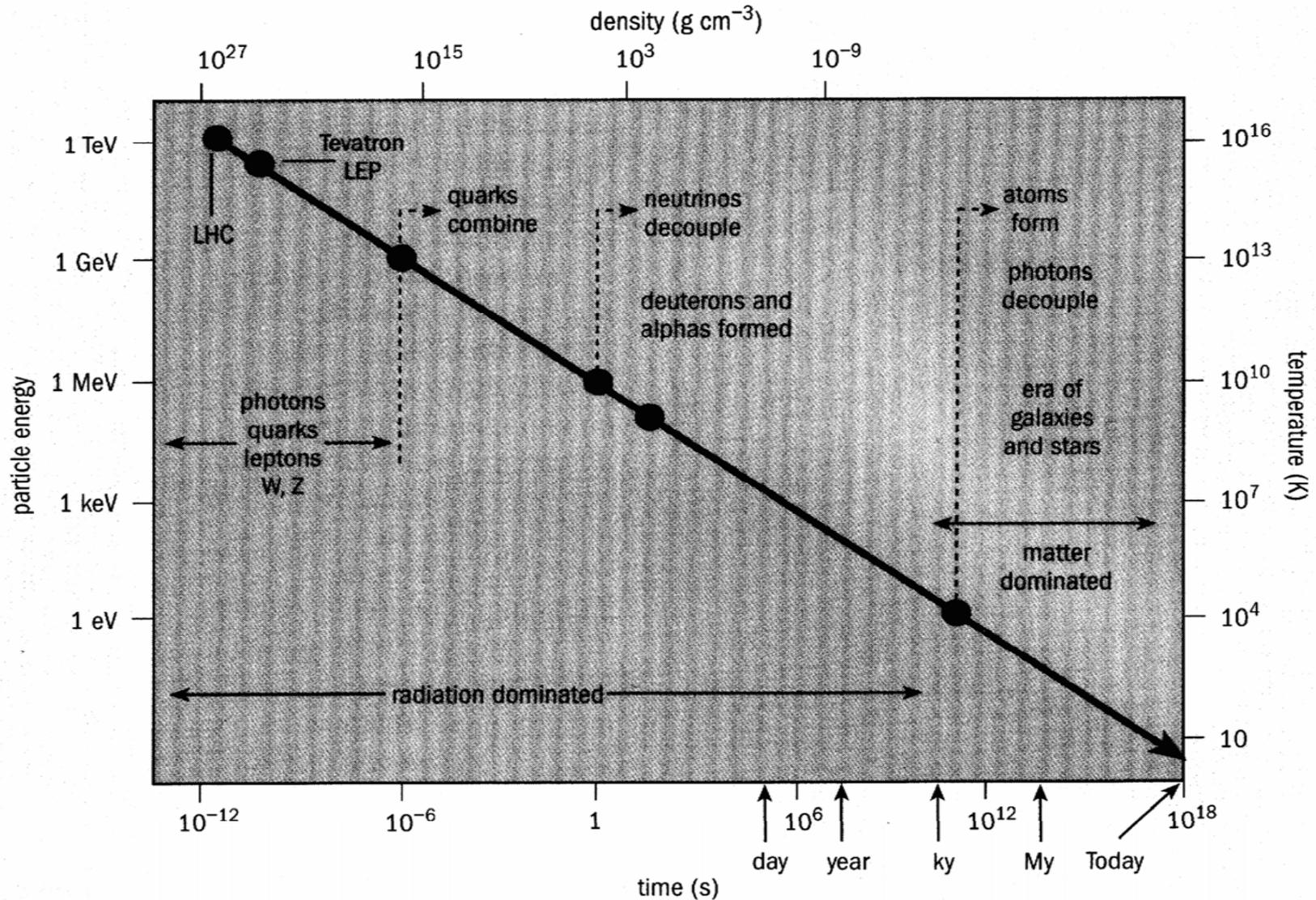
$$E (\text{ILC, c.m.s., } e+e) = (0.5 + 0.5) \text{ TeV} = 1 \text{ TeV}.$$

Dubna Siting: Layout of ILC in the Moscow Region

18.01.2007

101st session of the JINR Scientific Council

# Эволюция Вселенной.



*Big physics machines can reproduce the conditions of the early universe.*



В.И. с женой

Ниной Александровной  
Сидоровой

на Памире, 1947 г.

В. И. Векслер с женой Ниной Александровной Сидоровой на Памире.  
Чечекты, 1947 г.

Л.П.Зиновьев, В.И.Векслер, В.А.Петухов, 1960 г.



Л. П. Зиновьев, В. И. Векслер, В. А. Петухов. 1960 г.

М.С.Рабинович, В.И.Векслер, Н.А.Моносзон, 1960 г.



М. С. Рабинович, В. И. Векслер, Н. А. Моносзон. 1960 г.

И.Я.Померанчук, С.Н.Вернов, В.И.Векслер, 1964 г.



И. Я. Померанчук, С. Н. Вернов, В. И. Векслер. 1964 г.

Нильс Бор, И.Е.Тамм, В.И.Векслер, 1961 г.



Нильс Бор, И. Е. Тамм, В. И. Векслер, 1961 г.

Премии государственного уровня,  
присуждённые за методические и физические исследования на СФ  
Ленинские премии.

1959 г. В.И.Векслер (ОИЯИ), Ф.А.Водопьянов, Д.В.Ефремов, Л.П.Зиновьев (ОИЯИ), А.А.Колоиенский, Е.Г.Комар, А.Л.Минц, Н.А.Моносзон, В.А.Пектухов (ОИЯИ), М.С.Рабинович, С.М.Рубчинский, А.М.Столов.

Создание Синхрофазотрона на 10 ГэВ.

1988 г. А.М.Балдин, П.Н.Боголюбов, В.А.Матвеев, Р.М.Мурадян, А.Н.Тавхелидзе.

Новое квантовое число - цвет и установление динамических закономерностей в кварковой структуре элементарных частиц.

Государственные премии.

1983 г. Ю.К.Акимов, В.А.Никитин, Б.А.Морозов, Ю.К.Пилипенко, Л.С.Золин, С.В.Мухин, М.Г.Шафранова, В.А.Копылов-Свиридов, А.А.Кузнецов (ОИЯИ), А.А.Воробьёв (ЛИЯФ), Е.Л.Фейнберг (ФИАН), В.А.Царёв (ФИАН).

Дифракционное рассеяние протонов при высокой энергии.

# Премии государственного уровня, присуждённые за методические и физические исследования на СФ.

1985 г. Г.П.Жуков, И.Ф.Колпаков А.Н.Синаев и др.

Разработка и массовое производство на основе международного стандарта КАМАК системы автоматизации научных и научно-технических исследований.

1986 г. Ю.В.Заневский и др.

Разработка и применение ядерно-физических методов и аппаратуры для исследований для исследований в молекулярной биологии.

1986 г. Н.Н.Говорун, В.П.Шириков и др.

Разработка и внедрение программных средств в инженерные расчёты и проектирование сложных технических систем на ЭВМ.

1992 г. В.С.Алфеев, З.В.Борисовская и др.

Разработка и создание экономичных сверхпроводящих магнитов для ускорителей высоких энергий.

1996 г. М.Д.Бавижев, В.И.Котов (ИФВЭ), А.И.Смирнов (ПИЯФ), А.М.Таратин, Э.Н.Цыганов (ОИЯИ) и др.

Разработка новых методов управления пучками частиц ... с помощью изогнутых кристаллов.



Методические  
и физические  
исследования.

# Первые исследования на СФ 1957 – 1965 гг.

**Векслер В.И., Семенюшкин И.Н., Чувило И.В.** Создание пучка антипротонов методом высокочастотной сепарации.

**Любимов А.Л., Струнов Л.Н.** Создание меченого пучка антипротонов и регистрация антигиперонов в камере Вильсона.

**Оконов Э.О.** Исследование распадных свойств  $K^0$  мезонов.

**Любимов А.Л.** Измерение полных сечений  $\pi p$  взаимодействия и дифференциального сечения  $\pi p$  рассеяния назад.

**Вовенко.А.С.,...Кулаков.Б.А.,...Лихачёв.М.Ф.,...Матуленко Ю.А., Савин И.А., Ставинский В.С..** Разработка газовых черенковских счётчиков.

**Соловьёв М.И., Сташков, Вирясов Н.М., Лебедев Р.М.**

Создание пузырьковых камер и программа исследований на них.

**Подгорецкий М.И., Толстов К.Д. Граменицкий И.М.,  
Любимов В.И., Никитин В.А., Шафранова М.Г.**

Облучение эмульсий и широкая программа исследований на них.

**Мороз В., Хачатурян М.Н., Чувило И.В.**                      Формирование  
нейтронного пучка и измерение полных сечений при  
взаимодействии.

**Струнов Л.Н.** Упругое  $\pi$  p рассеяние на малые углы.

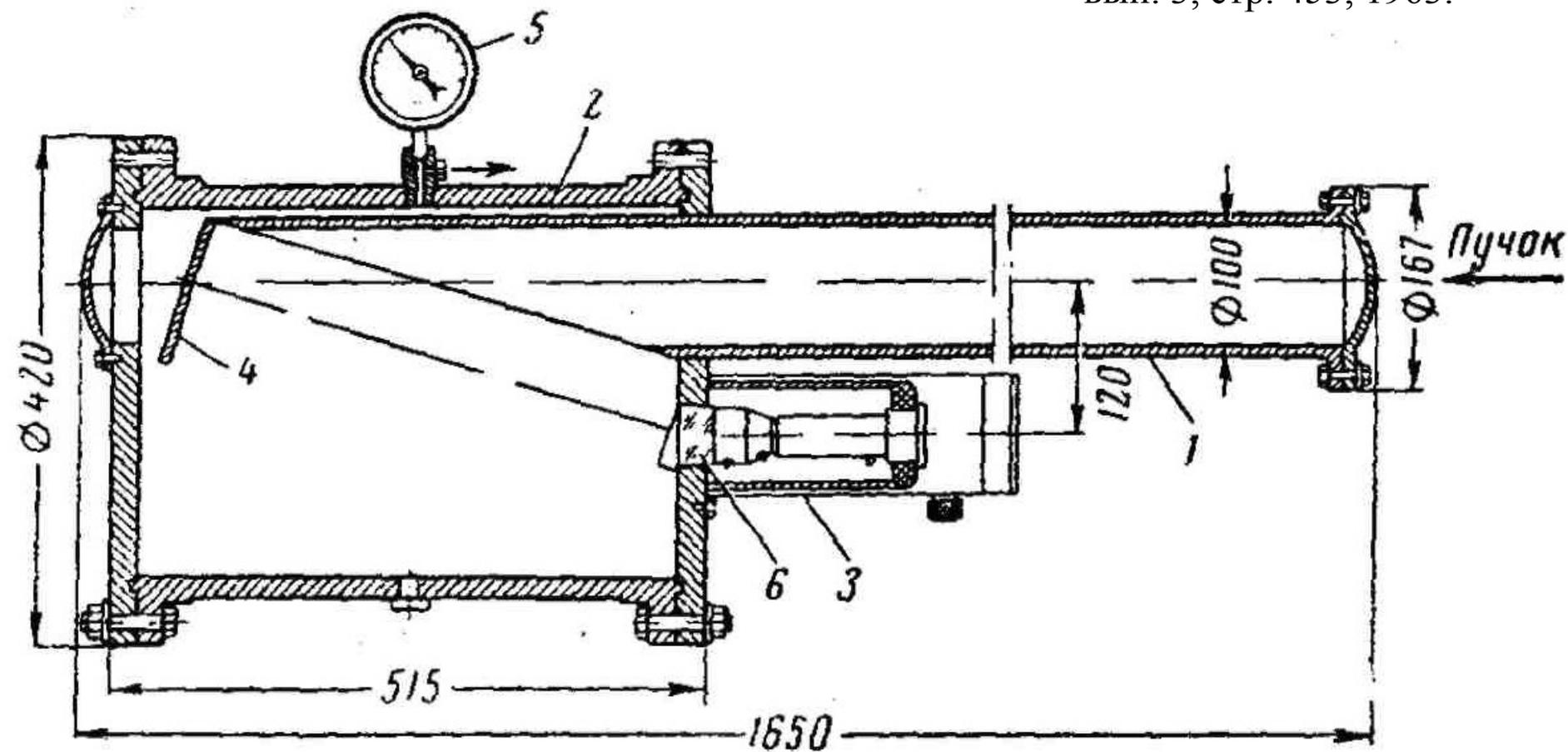
**Свиридов В.А.**                      Упругое pp, pd рассеяние на малые углы.

**Толстов К.Д., Никитин В.А., Золин Л.С., Пилипенко Ю.К.**

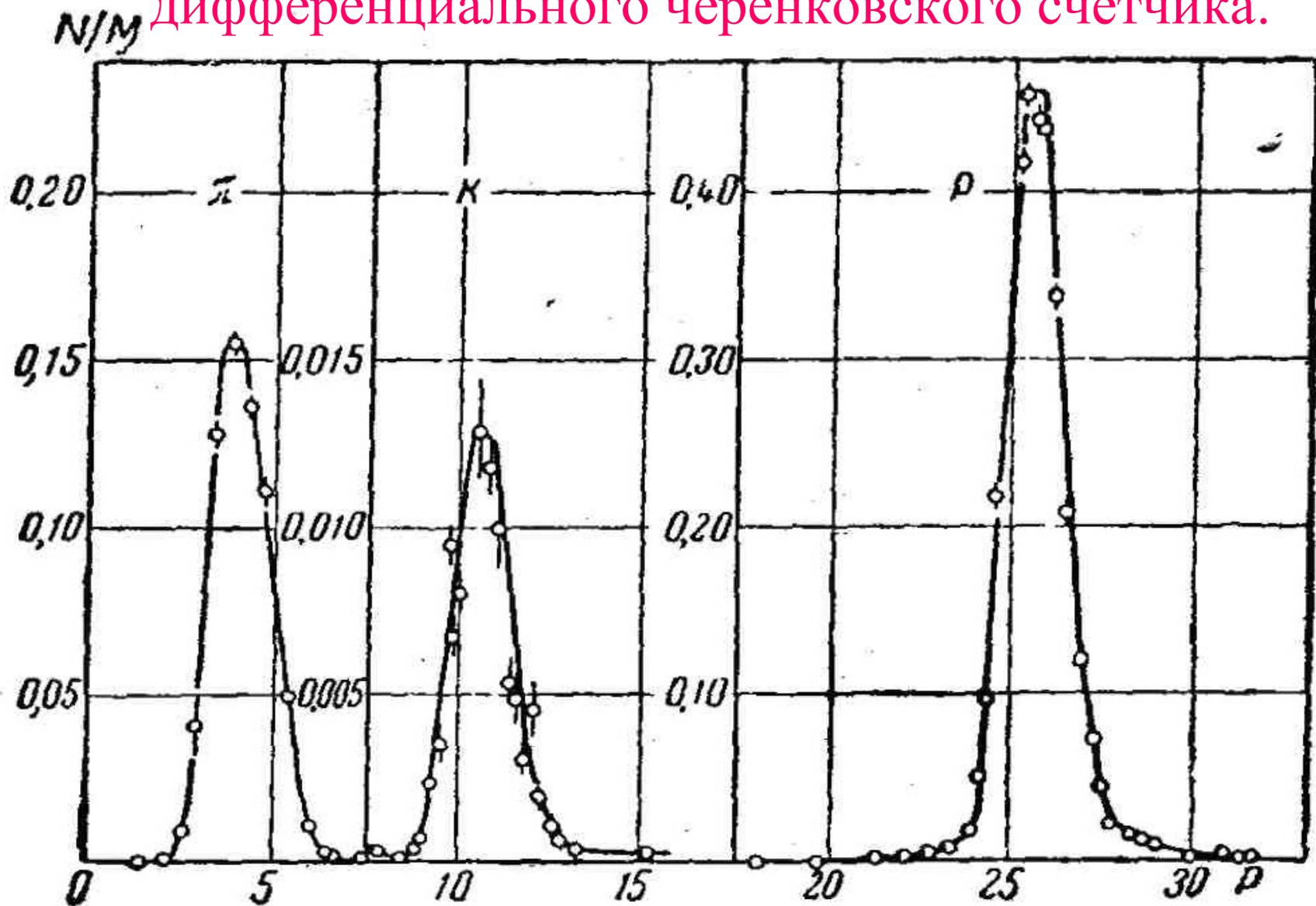
Создание сверхзвуковой струйной газовой мишени.

# Газовый дифференциальный черенковский счётчик.

А.С.Вовенко и др.  
Газовые черенковские счётчики. УФН, т.81,  
вып. 3, стр. 453, 1963.

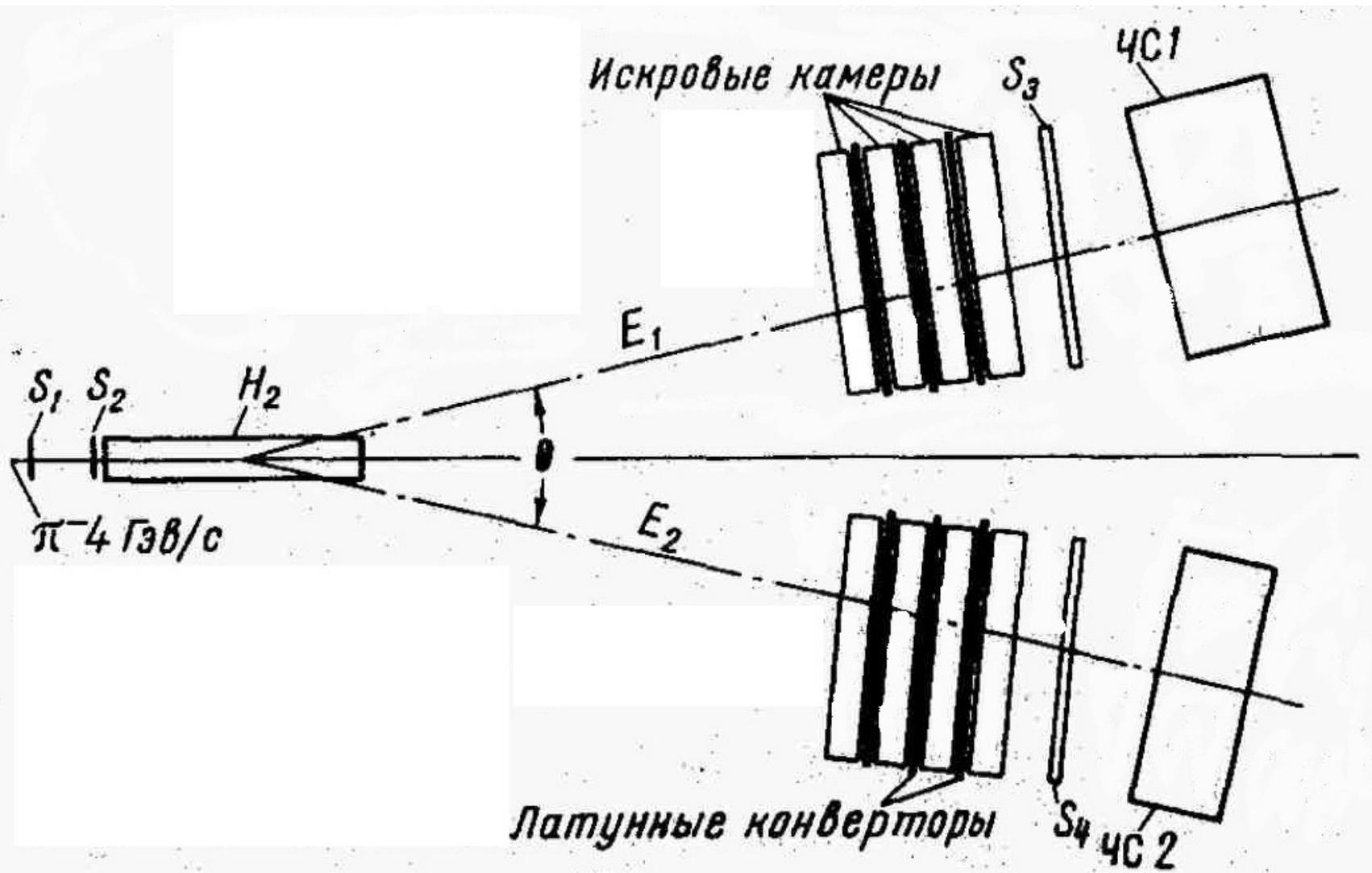


Идентификация  $\pi$ , K и  $p$  с помощью  
дифференциального черенковского счётчика.



Давление газа, атм.

# Схема черенковского спектрометра электронов и фотонов «Фотон».



# Черенковский спектрометр электронов и фотонов «Фотон».



# Основной результат – открытие распада векторных мезонов $\rho$ , $\omega$ , $\phi$ на $(e^+, e^-)$ пару.

Азимов М.А., Хачатурян М.Н. и др, ЯФ, вып. 3, с. 515, 1967.

$$\frac{\Gamma(\rho \rightarrow ee)}{\Gamma(\rho)} \sigma_{tot}(\rho) + \frac{\Gamma(\omega \rightarrow ee)}{\Gamma(\omega)} \sigma_{tot}(\omega) = (0.45 \pm 0.12) \cdot 10^{-1} \text{ mcb},$$

$$\frac{\Gamma(\phi \rightarrow ee)}{\Gamma(\phi)} \sigma_{tot}(\phi) \leq 1.8 \cdot 10^{-2} \text{ mcb}.$$

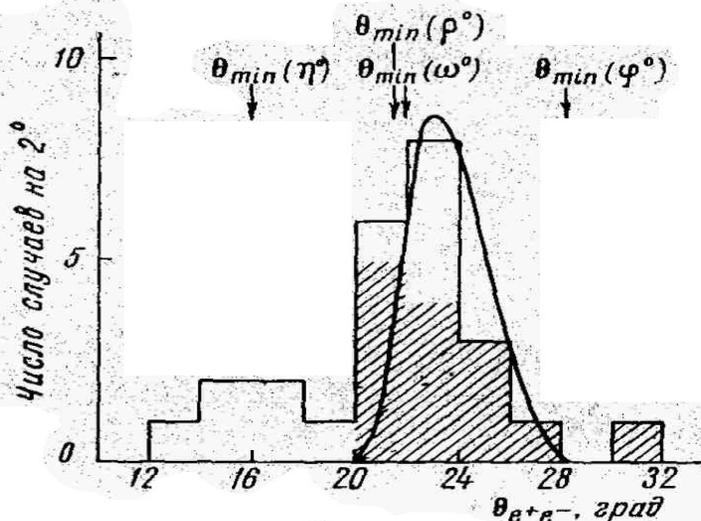


Рис. 3

Рис. 3. Распределение углов разлета для 25 кандидатов в  $e^+e^-$ -пары, отобранных по фотографиям с искровых камер и энергии. Показана теоретическая кривая, рассчитанная для  $\omega^0$ -мезонов. Заштрихованные части — случаи, удовлетворяющие кинематике распада  $\rho^0$ ,  $\omega^0$  и  $\phi^0$

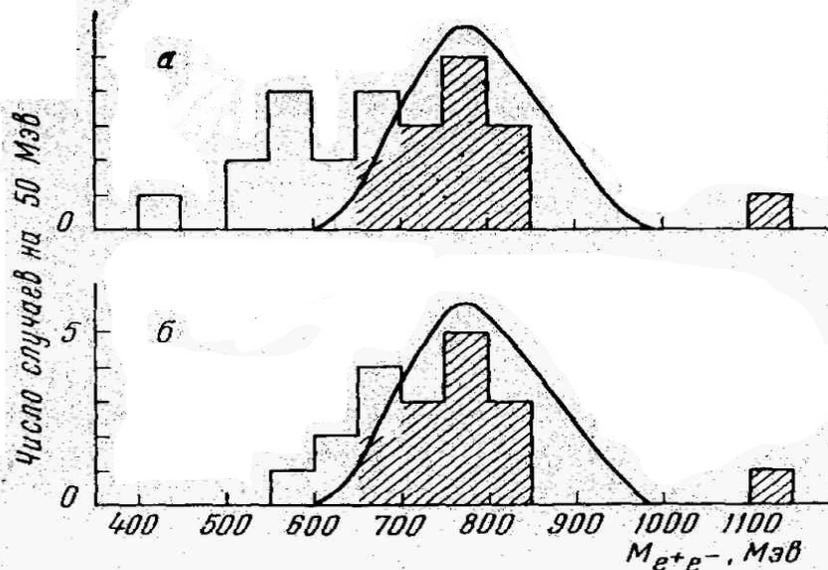


Рис. 4

Рис. 4. Распределения по эффективным массам: *a* — для 25 кандидатов в  $e^+e^-$ -пары, отобранных по фотографиям с искровых камер и энергии; *b* — для 19 кандидатов в  $e^+e^-$ -пары, отобранных по фотографиям с искровых камер, энергии и углу разлета. Показана в л.с. теоретическая кривая, рассчитанная для  $\omega^0$ -мезонов. Заштрихованные части — случаи, удовлетворяющие кинематике распада  $\rho^0$ ,  $\omega^0$  и  $\phi^0$

## **Газовые и пузырьковые камеры, разработанные и созданные в ЛВЭ ОИЯИ.**

- Камеры Вильсона (газообразный водород, гелий, аргон) 40 см, 50 см, 1 м.
- Стримерные камеры 1 м, 2 м.
- Пропановые пузырьковые камеры 24 л, 2 м.
- Ксеноновая камера 50 см.
- Водородные пузырьковые камеры 40 см, 1 м, 2 м.
- Водородная камера 2 м с дейтериевой мишенью.

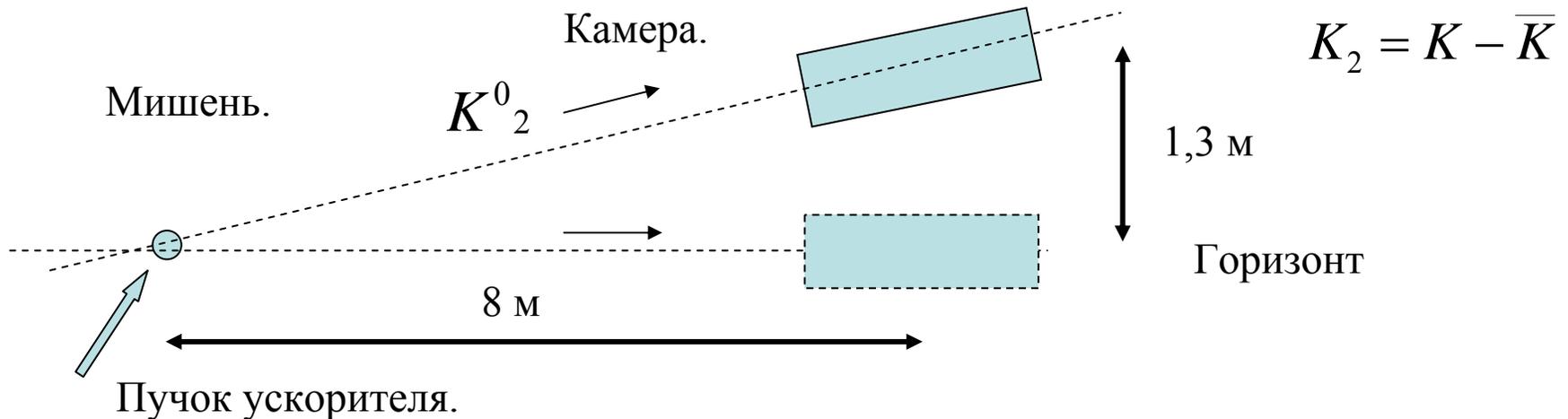
# Исследования распадов $K^0$ – мезонов на камерах Вильсона.

- Исследованы характеристики  $K_{L3}$  распадов. Не обнаружена зарядовая асимметрия в продуктах распада – поиск несохранения CP чётности.
- Открыты каналы распадов  $K = \pi^+ \pi^- \pi^0 = \pi^+ \pi^- e^+ e^-$ ,  $3\pi^0$ .
- Показано несохранение C – чётности.

Э.Оконов, М.Подгорецкий,  
О.Хрусталёв. Препринт ОИЯИ  
Д-647, 1961 г.

## Поиск антигравитации.

«Известно, что структура современной физики предполагает отсутствие антигравитации. Вместе с тем фундаментальная важность вопроса заставляет искать методы экспериментальной проверки этого положения. .... При отрицательном знаке гравитационной массы  $\bar{K}^0$  - частицы исходный пучок  $K^0_2$  разделится на два пучка, причём  $\bar{K}^0$  отклонятся вверх, а  $K^0$  - вниз.»



$$\frac{d\Psi_1}{dt} = im_1\Psi_1 - \delta\Psi_2 - \lambda\Psi_1 / 2;$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = im_2\Psi_2 + \delta\Psi_1 - \lambda_2\Psi_2 / 2;$$

$$\delta = m\gamma g H.$$

$$R = n(K_1) / n(K_2) = 4\delta^2 (H/v)^2 \lambda_1 / \lambda_2 (\dots).$$

Результаты эксперимента.

$$R(H=0) = (4 \pm 4) \cdot 10^{-3}.$$

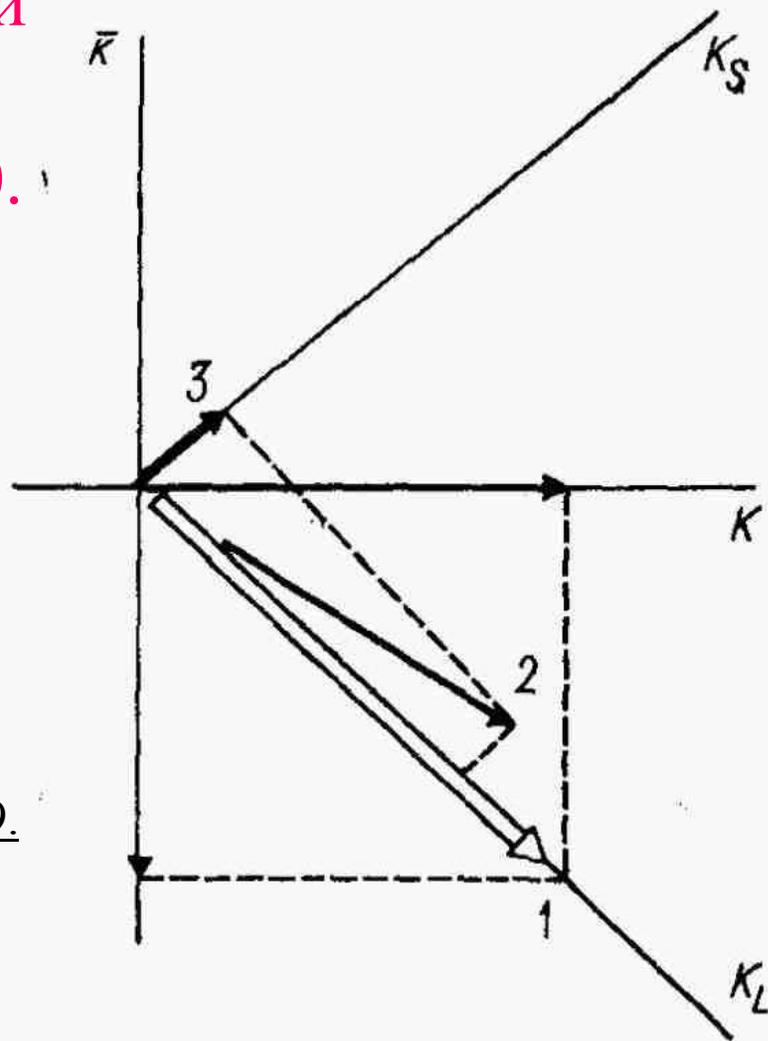
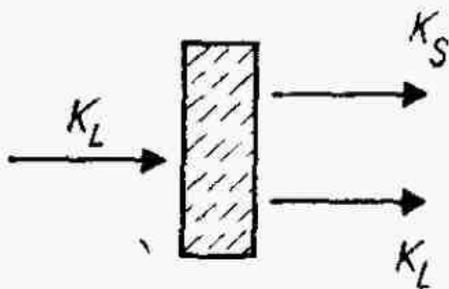
$$R(H=127 \text{ см}) = (2 \pm 2) \cdot 10^{-3}.$$

Расчётная величина для варианта антигравитации:

$$R(H=127 \text{ см}) = (90 \pm 10) \cdot 10^{-3}$$

Эффект антигравитации анти-К  
не обнаружен.

Исследование регенерации  
 $K_L - K_S$   
на ускорителе ИФВЭ У-70.



Бирулёв В.К. и др. ЯФ, т.24, с. 748, 1969.

Рис. 13. Иллюстрация к эксперименту по регенерации  $K_L^0 \rightarrow K_S^0$ .  
Начальное чистое состояние  $K_L$  1 в результате взаимодействия с мишенью переходит  
в состояние 2, имеющее отличную от нуля проекцию 3 на орт  $K_S$

# Разность полных сечений

взаимодействия  $K$ , анти- $K$  с протонами —  
 проверка теоремы Померанчука  
 на ускорителе ИФВЭ У-70.

$$K_L = K - \bar{K}, \quad K_S = K + \bar{K};$$

$$K_L \rightarrow K_L + \alpha K_S$$

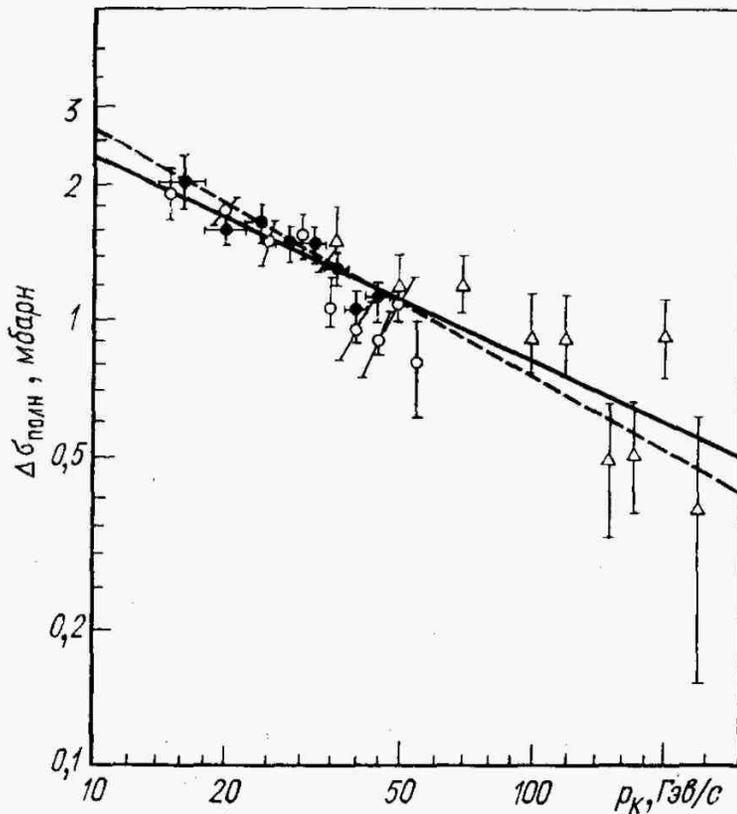


Рис. 14. Разность полных сечений взаимодействия каонов и антикаонов с нуклонами:

○ — Данные работы [3], полученные в эксперименте по регенерации  $K_L \rightarrow K_S$  на водороде; остальные точки получены в опытах на пучках  $K^+$ ,  $K^-$ -мезонов (ссылки см. в [3]);  
 - - - - аппроксимация данных [3] функцией  $A p_K^{-n}$  ( $n = 0,50 \pm 0,15$ ); — — — — то же для остальных данных ( $n = 0,46 \pm 0,05$ )

Амплитуда регенерации  $K_L \rightarrow K_S$   
 $f_{LS}$  выражается через амплитуды  
 рассеяния  $K$ , анти-  $K$ :

$$f_{LS} = (f - \bar{f})/2$$

Имеет место оптическая теорема:

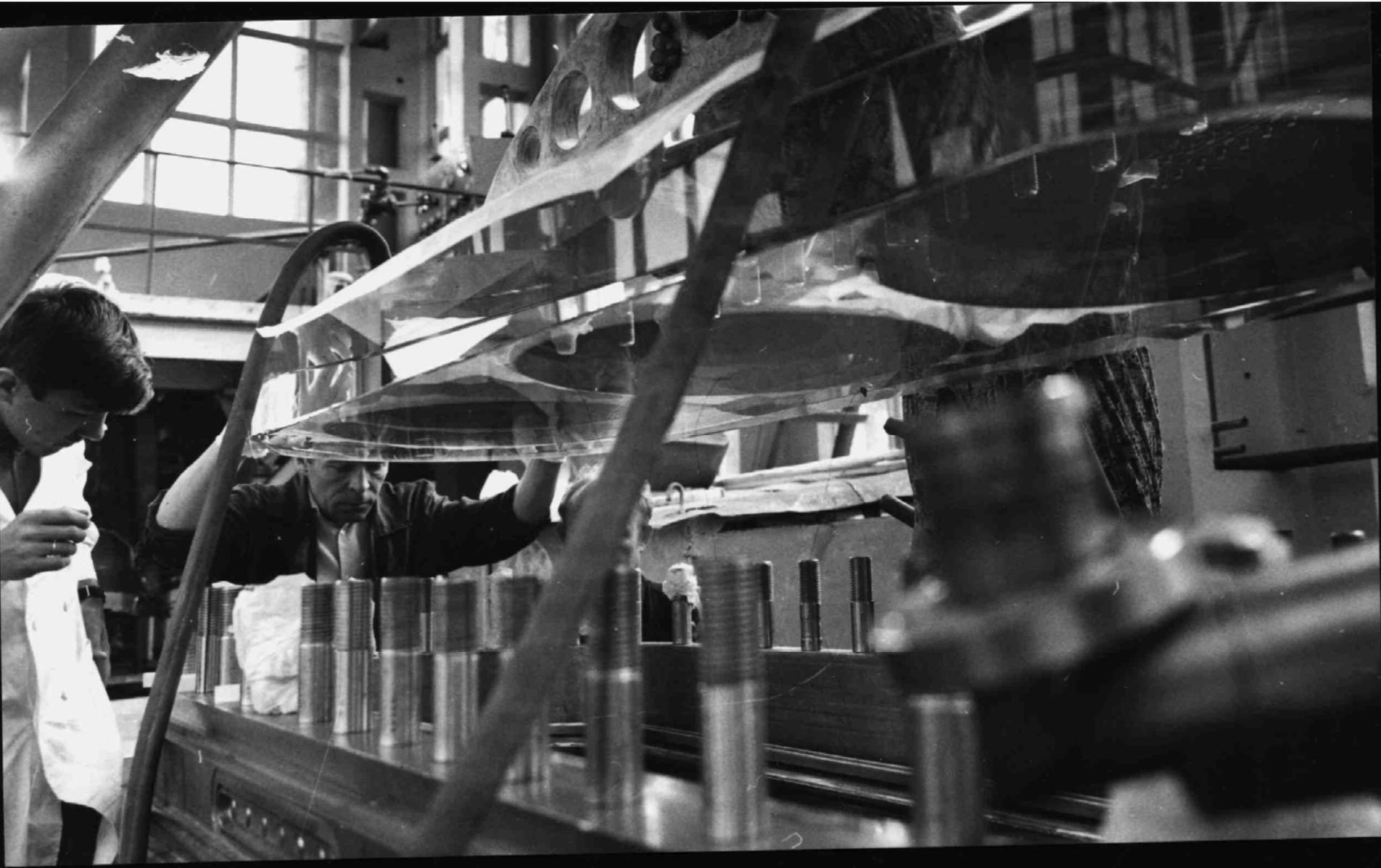
$$\text{Im } f_{LS} =$$

$$(k / 4\pi)(\sigma_{\text{tot}}(Kp) - \sigma_{\text{tot}}(\bar{K}p)).$$

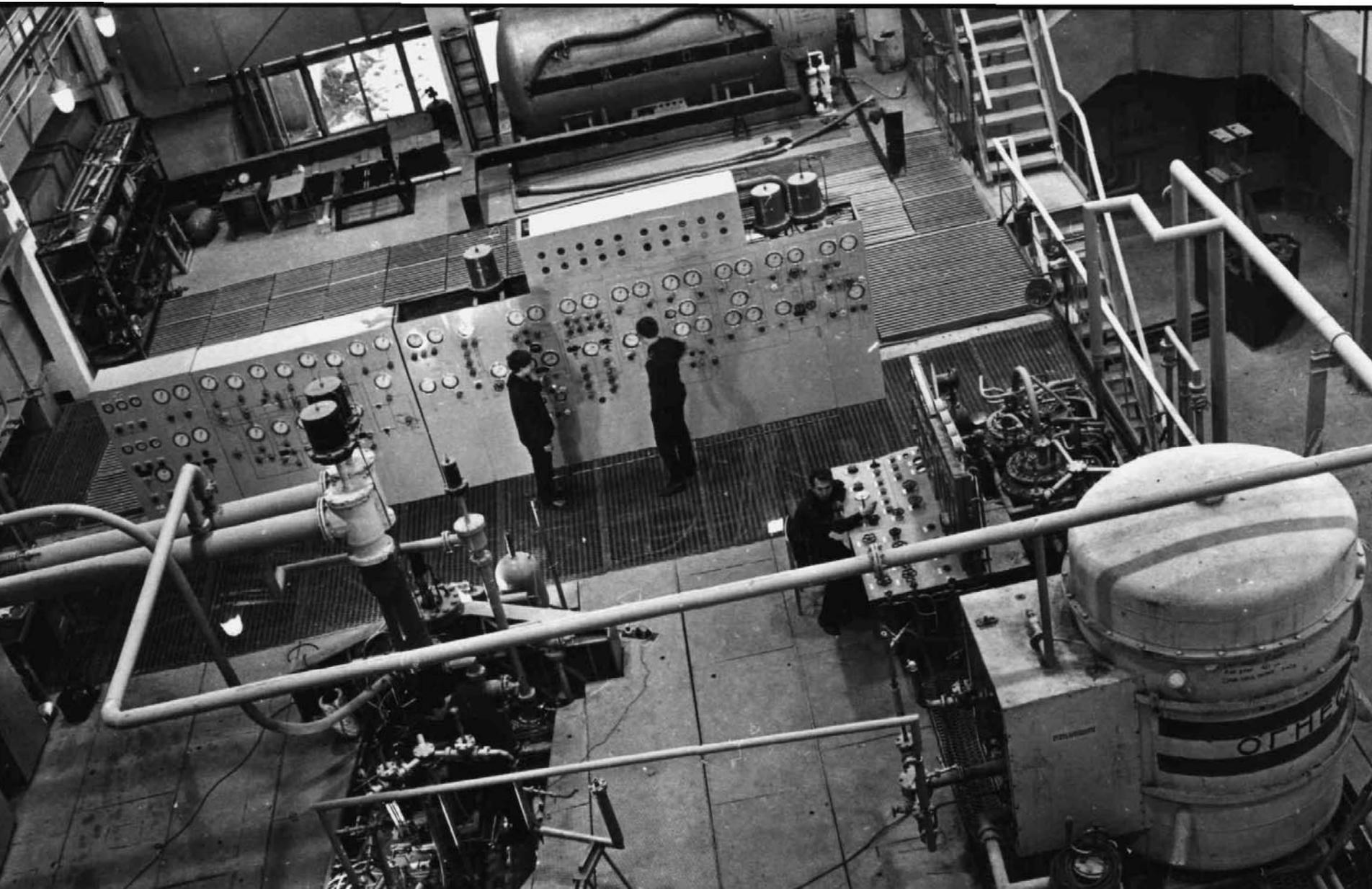
Амплитуды  $f$  определяются  
 экспериментально из  
 распределения распадов  $K$  за  
 регенератором.

Жидководородная 2 м камера. Сборка в ЛВЭ ОИЯИ.

На камерах 1 м и 2 м сделано более 2 млн снимков.



Пульт управления жидководородной камеры 2 м  
на ускорителе ИФВЭ У-70.



Сотрудничество пропановых камер.  
Руководители М.И.Соловьёв, В.Г.Гришин.



## Некоторые результаты исследований на пузырьковых камерах.

- Обнаружена инерция барионного заряда: в событиях  $pp$  и  $p\bar{p}$  взаимодействия с множественностью пионов  $< 4$  угловое распределение барионов в с.ц.м. резко анизотропно. В событиях с  $n_\pi > 8$  наблюдается изотропия. Введено понятие области пионизации и фрагментации.
- Получены характеристики рождения странных частиц, антипротонов и антигиперонов. Обнаружено множественное рождение странных частиц.
- Открыты резонансы
- $f(980) \rightarrow 2K$ ,  $f(600) \rightarrow 2\pi$ , ( $\sigma$  - мезон).

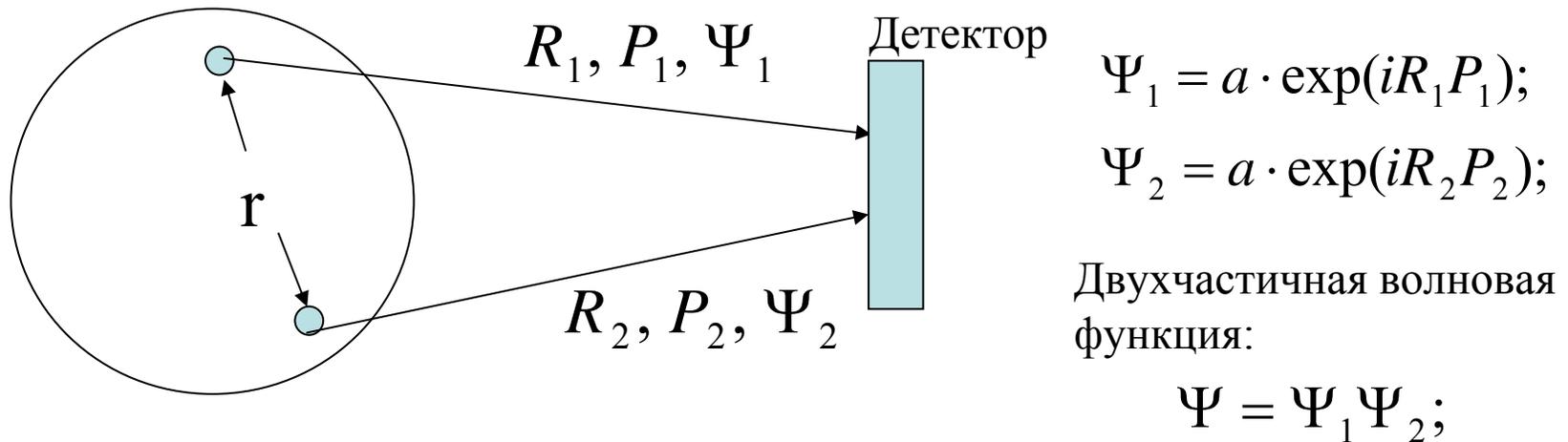
М.И. Подгорецкий, Г.И.Копылов, Я.А.Смородинский.



## Интерференция тождественных частиц: фемтометрия.

Хорошо известные факты: вынужденное излучение в оптике-увеличение выхода пар фотонов с малым относительным углом, лазерный эффект.

Рассмотрим возбуждённую адронную материю.



Для тождественных частиц:

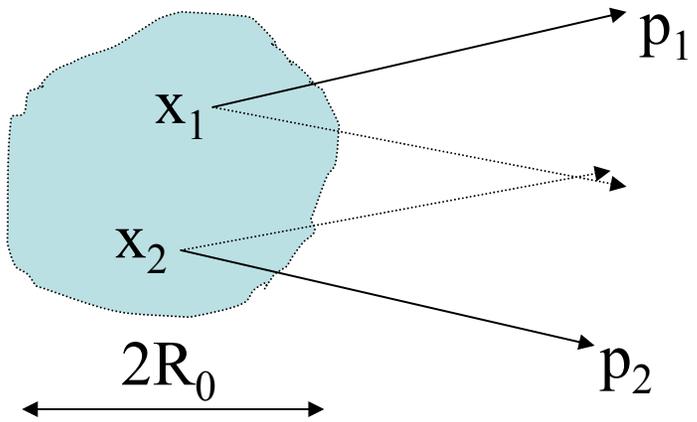
$$\Psi(x_1, x_2) = \pm \Psi(x_2, x_1); \quad \ll + \gg - \text{ бозоны, } \ll - \gg - \text{ фермионы.}$$

Симметризация волновой функции:

$$\Psi_{s,a} = \Psi_1(R_1, P_1) \cdot \Psi_2(R_2, P_2) \pm \Psi_1(R_2, P_2) \cdot \Psi_2(R_1, P_1);$$

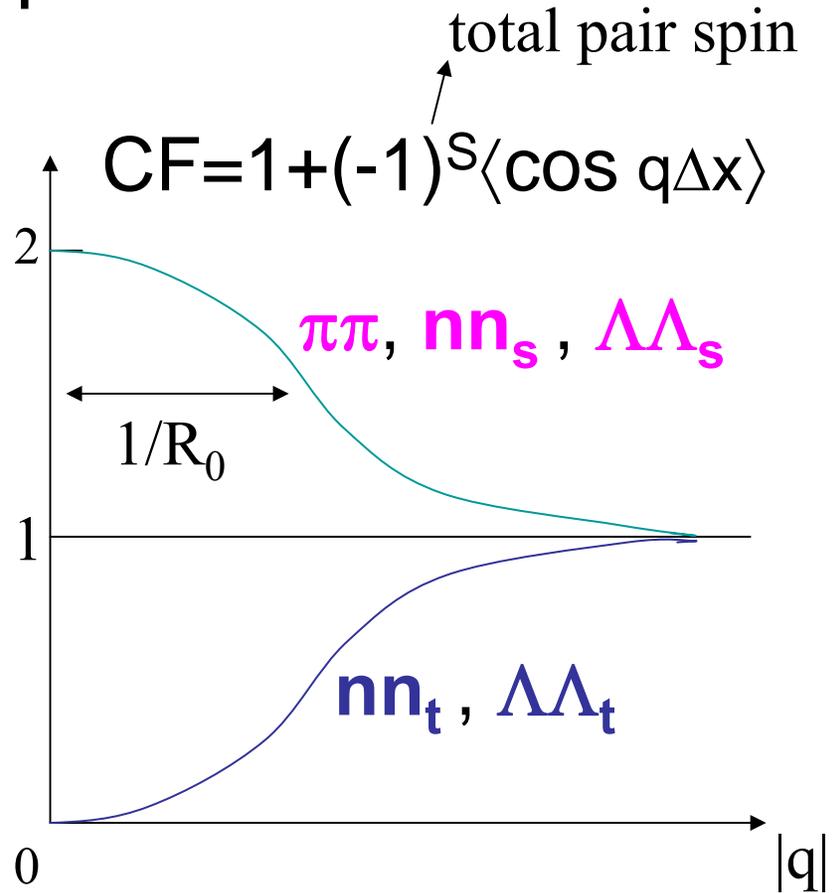
$$\left| \Psi_{s,a} \right|^2 = I \quad \text{Экспериментально измеряемая интенсивность двухчастичных событий.}$$

# QS symmetrization of production amplitude



$$q = p_1 - p_2, \quad \Delta x = x_1 - x_2$$

$$C = \frac{\frac{d^6 \sigma}{dp_1^3 \cdot dp_2^3}}{\frac{d^3 \sigma}{dp_1^3} \cdot \frac{d^3 \sigma}{dp_2^3}}$$



# Интерференция тождественных частиц: АА-взаимодействия, ЛВЭ

# Обнаружена зависимость радиуса области взаимодействия от угла наблюдения

$\tau_0$  фм He+Au; 4,5 ГэВ/нукл

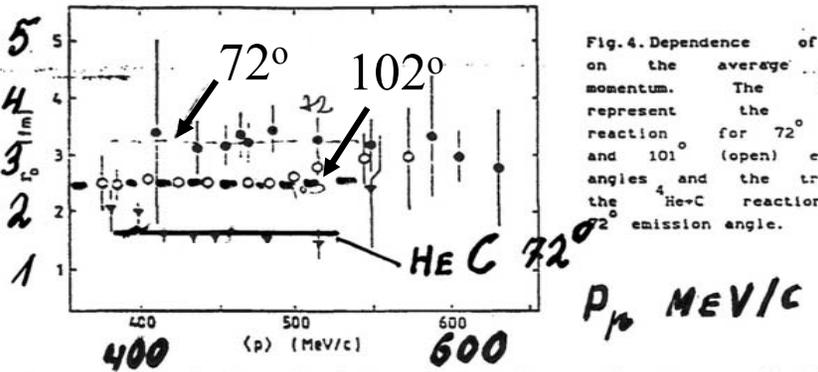
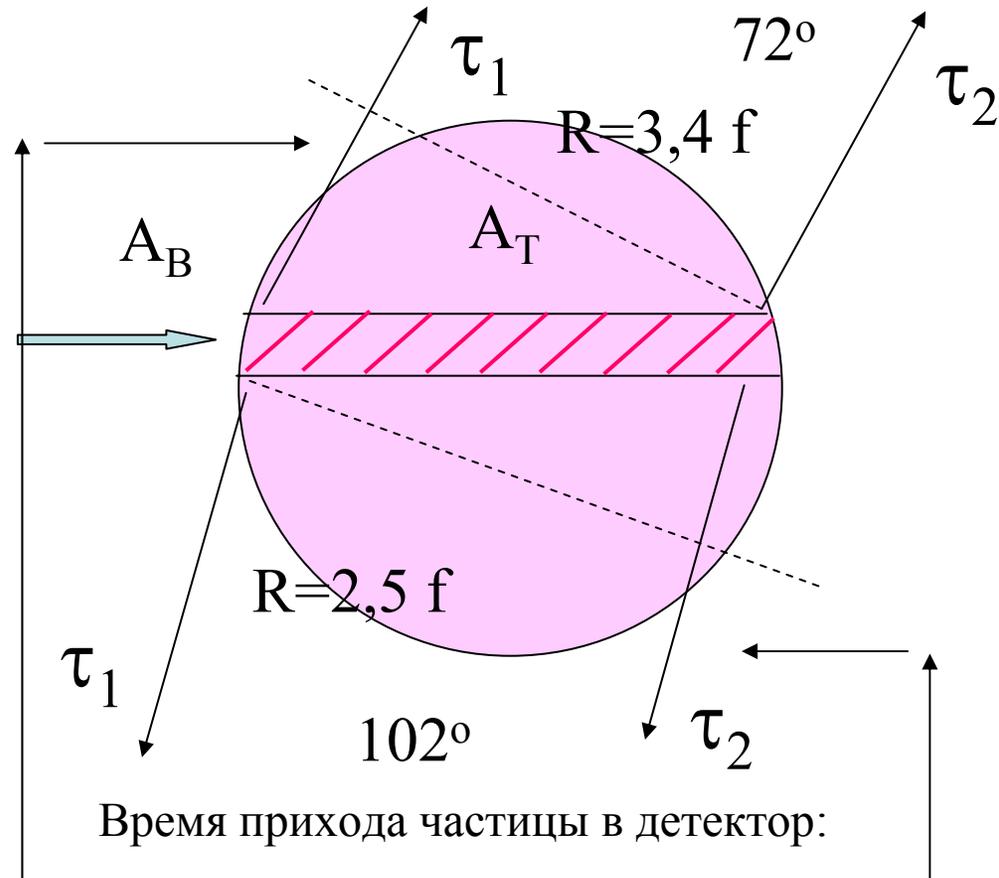
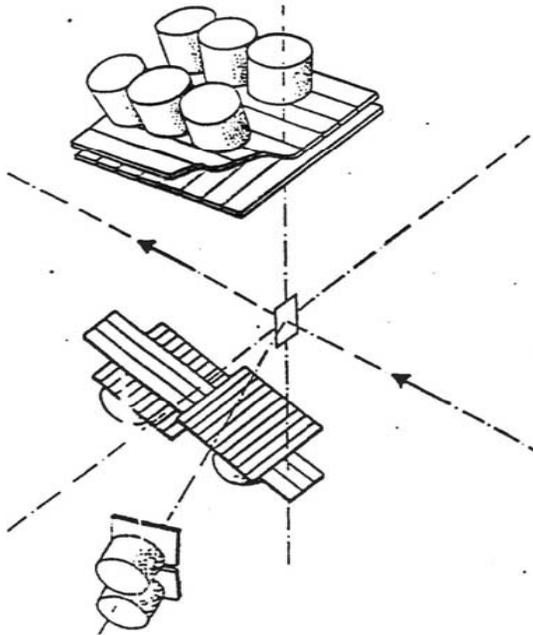


Fig. 4. Dependence of on the average momentum. The represent the reaction for 72° and 101° (open) es angles and the tri the  $^4\text{He}+\text{C}$  reaction the  $^0$  emission angle.

the p-p correlations in internal target experiments, we decided to upgrade our experimental setup by placing the detectors closer to the target. The schematic layout of the new configuration is shown in Fig. 5. In the 2-nd half of 1989 a 5 weeks long run was carried out.

The goal was to measure the two-proton correlation functions in reactions of protons, and  $^6\text{Li}$  beams with carbon and gold targets. The statistics were large enough to study the dependence of the correlation function on the orientation of  $k^*$  at CMS velocity. One of the immediate effects of changing the detector configuration was the reduction of the luminosity by a factor of 20. This in turn reduced the number of accidental coincidences what can be seen in Fig. 6 showing the distribution of the difference of emission times  $\tau_2 - \tau_1$ .

Fig. 5. Schematic of the new experimental setup.



Время прихода частицы в детектор:

$$\tau_2 - \tau_1 = -\Delta\tau + \frac{2r_A}{c}$$

$$\tau_2 - \tau_1 = +\Delta\tau + \frac{2r_A}{c}$$

# Зависимость радиуса области взаимодействия от атомного номера ядра-мишени.

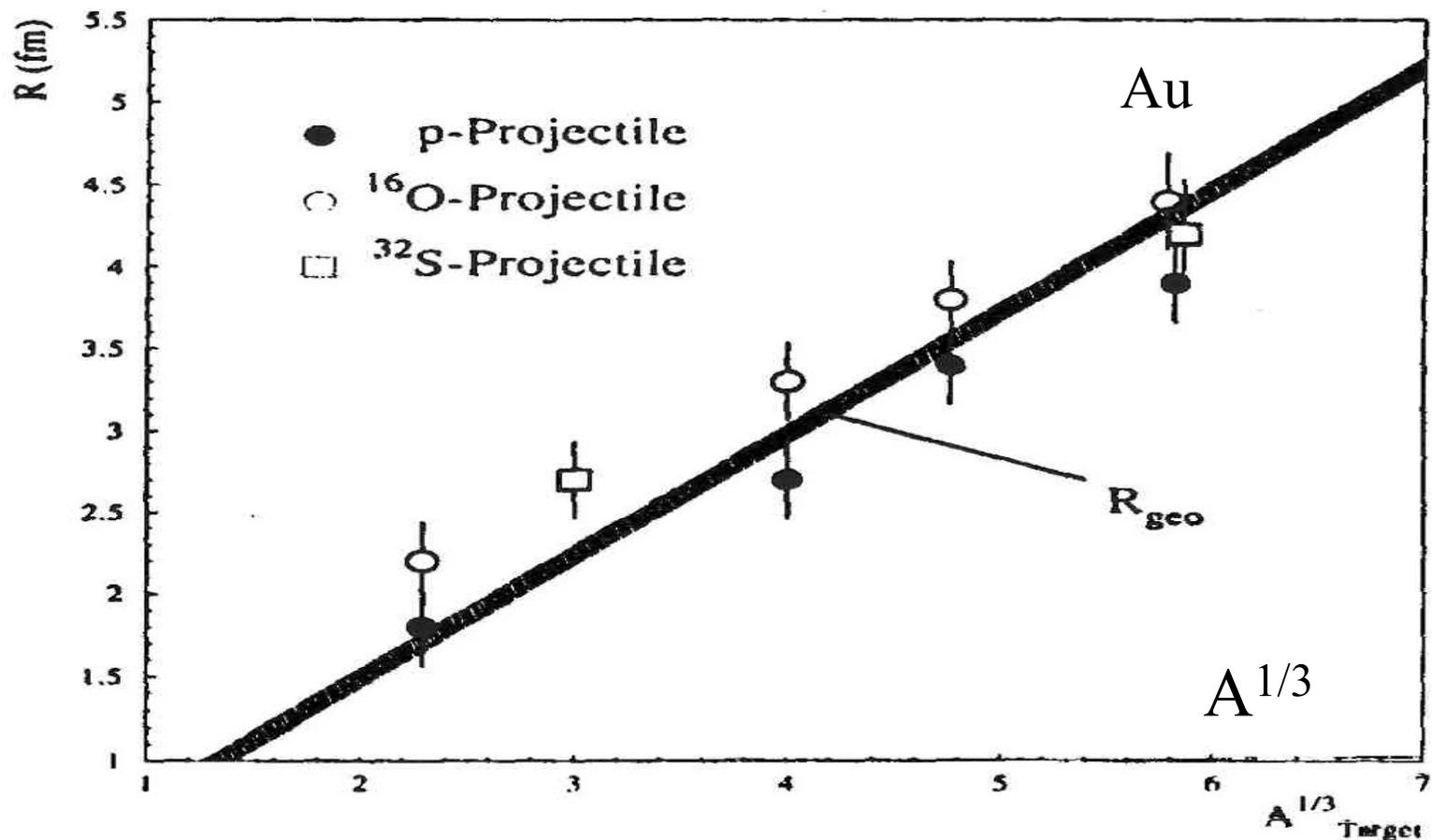
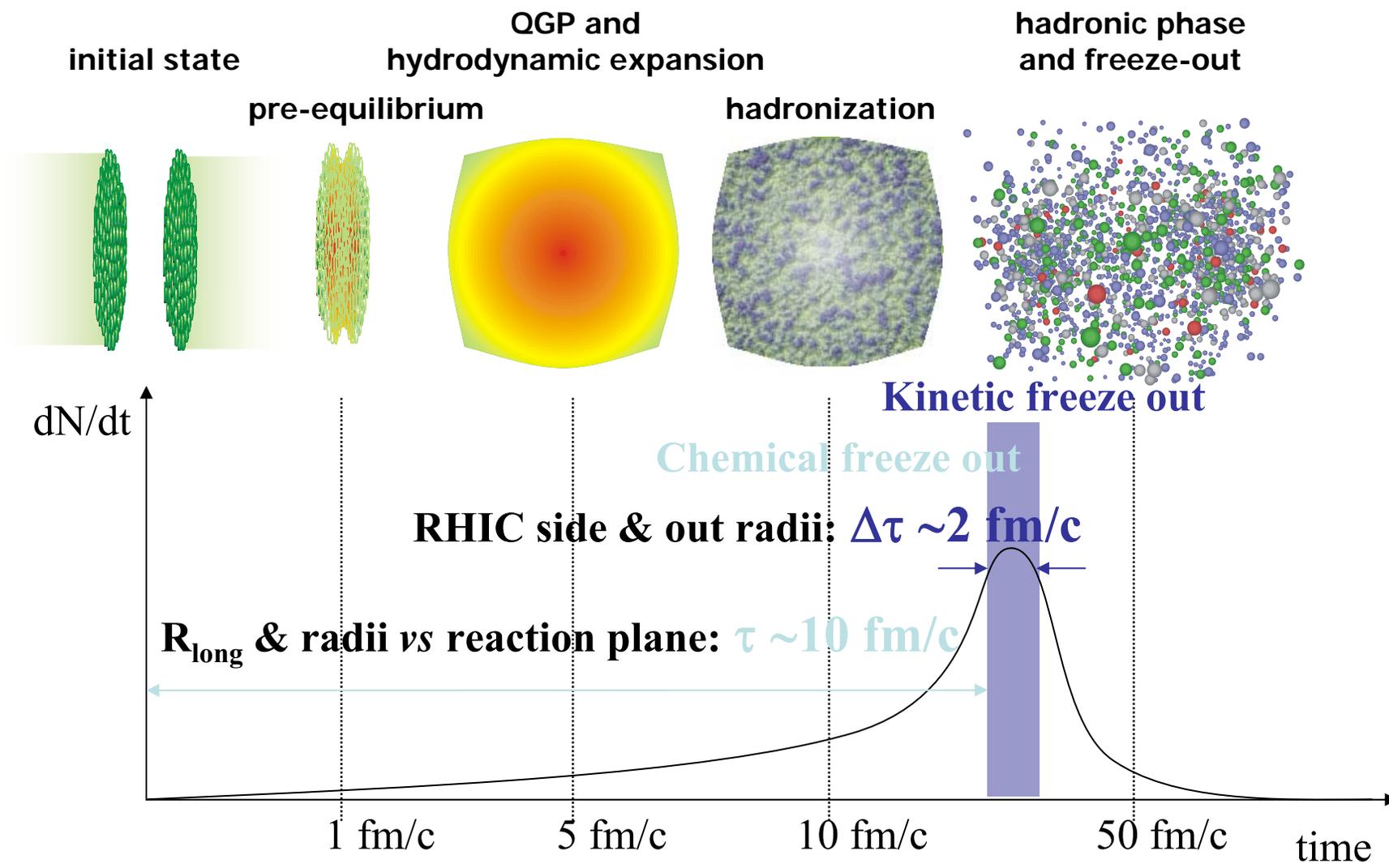


Fig. 4. Target dependence of the radius parameters  $R$  for all analyzed reactions with different projectiles.  $R_{geo}$  is the geometrical radius of the target nuclei, as explained in the text. The symbols are slightly displaced for the Au-target for clarity

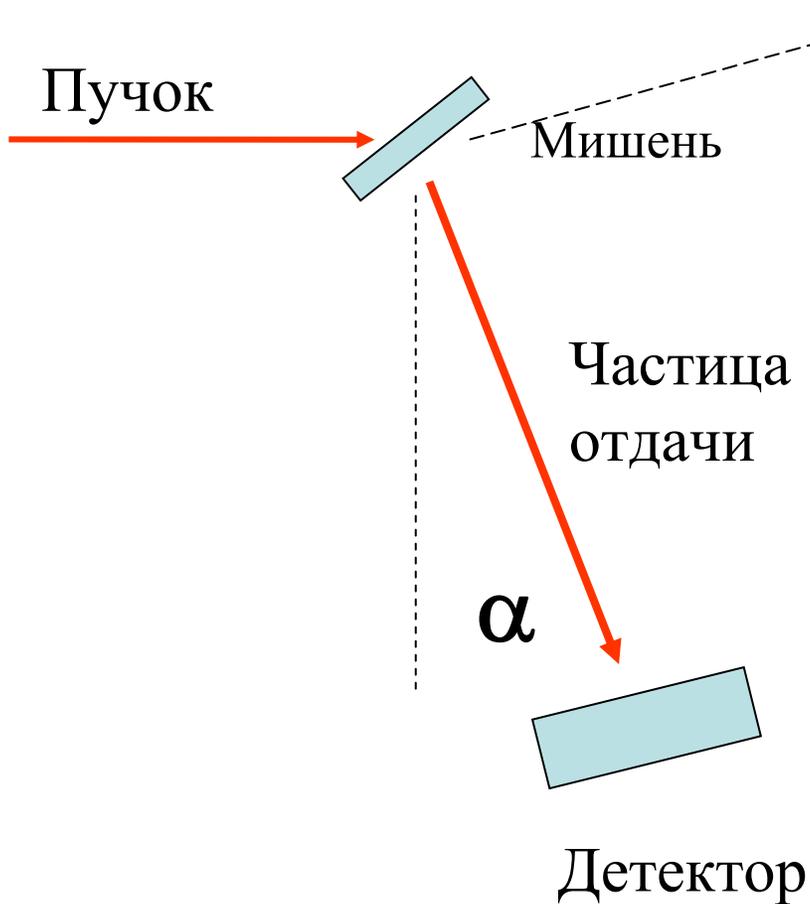
# Expected evolution of HI collision (RHIC data)





Исследование  
упругого рассеяния  
пионов и протонов.

# Метод тонкой внутренней мишени



$$\Delta E_- < \Delta E_+; \quad \theta_{MS} < \theta_{ACC}$$

$$h_{TG} \approx 1 \text{ мсм } CH_2.$$

$$I_{EFF} = I_{ACC} \times N_{MULTITRAV};$$

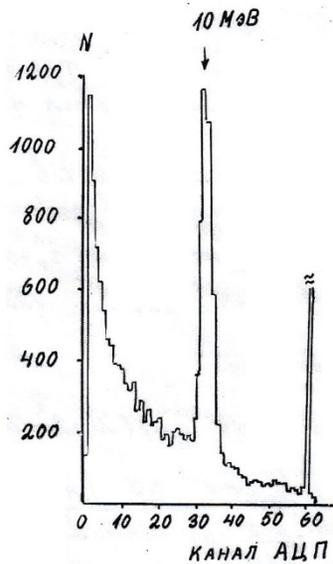
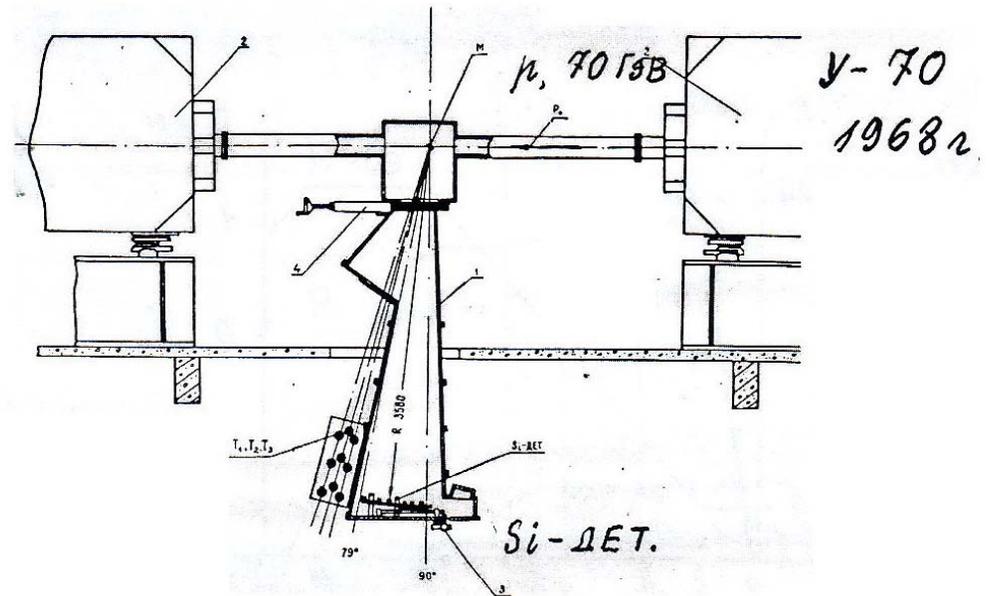
$$N_{MULTITRAV} \approx 10^5.$$

$$\Delta\theta_{RES} = \theta_{EL} - \theta_{INEL} \approx 5 \times 50 \text{ мr},$$

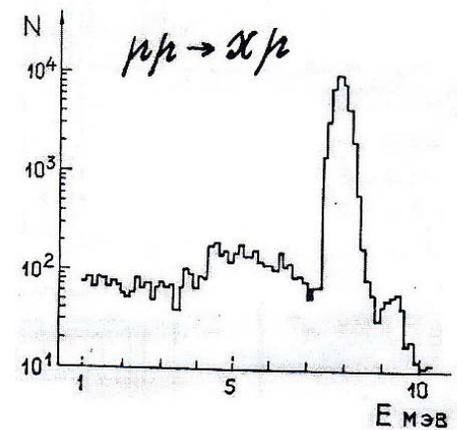
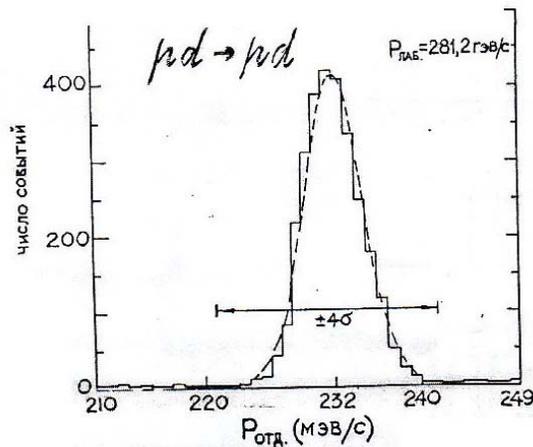
$$P_{RECOIL} \approx 2m_{TAR} \cdot \alpha.$$

—*indep* of energy

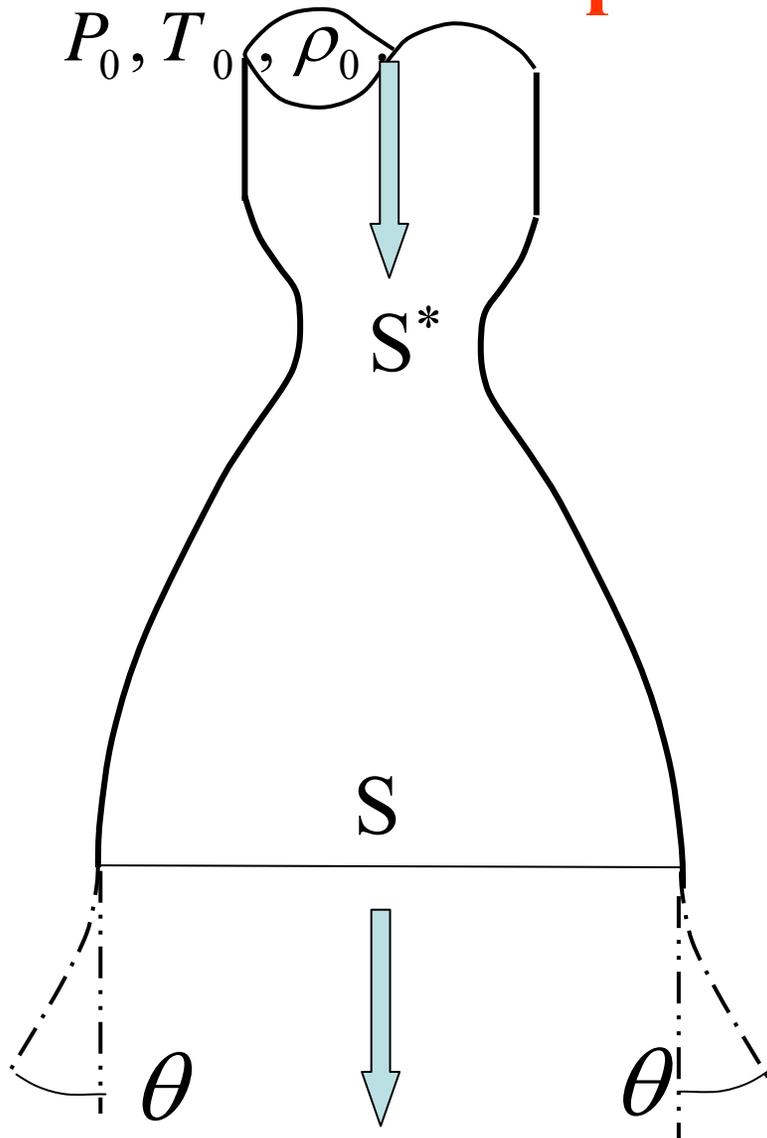
# Плёночная и струйная мишени во внутреннем пучке



Энергетический спектр частиц,  
зарегистрированный ППД с мишени  $\text{CH}_2$ ,  
облучаемой пучком протонов 17 ГэВ.



# Принцип работы сопла Лавалья.



If  $\frac{S}{S^*} \rightarrow \infty$ , then  $M = V / a \rightarrow 0$

$P, T, \rho \rightarrow 0$ .  $a$  – velocity of sound.

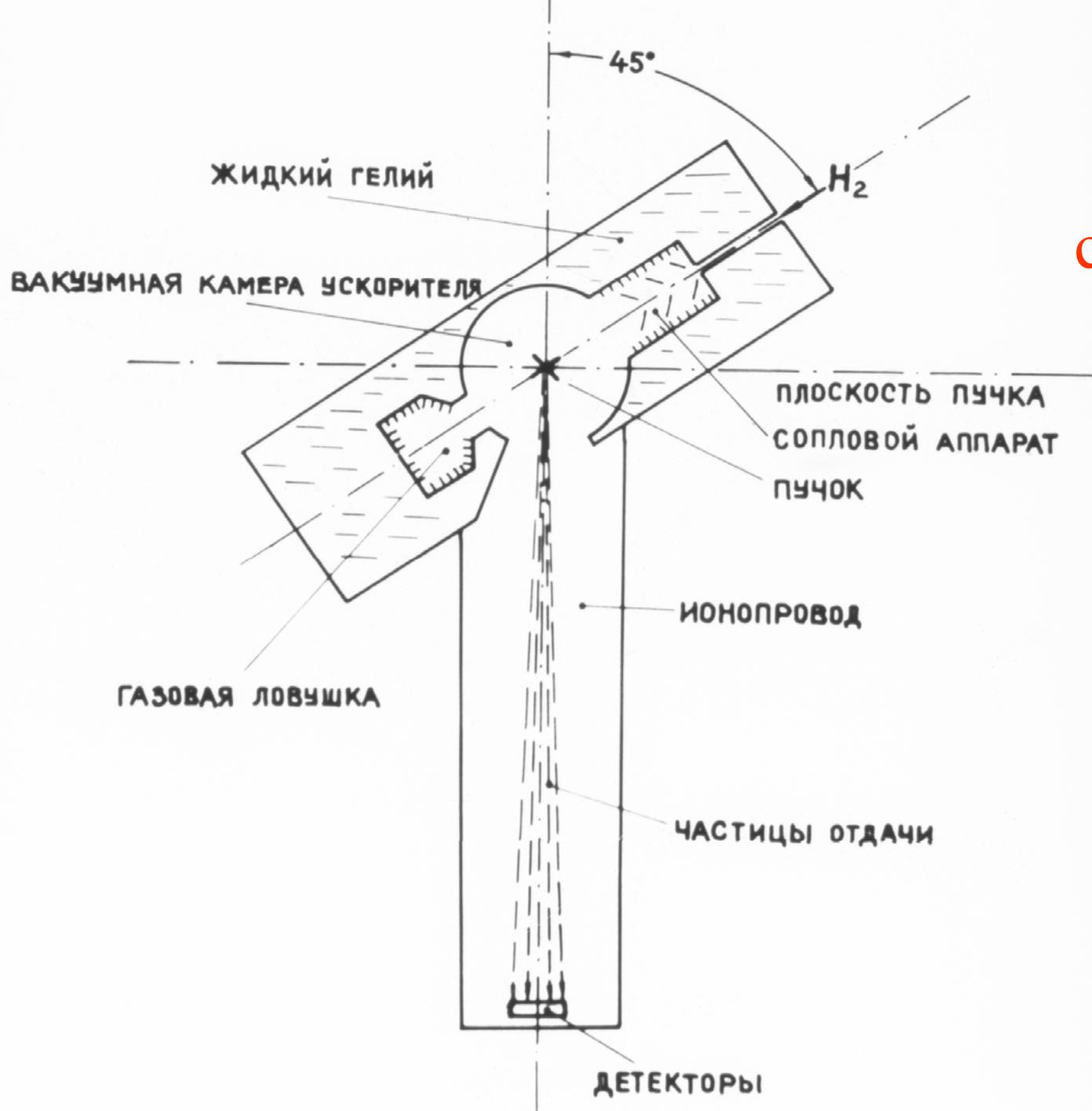
$$a = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\gamma R T}.$$

$$V \rightarrow V_{\text{lim}}; \theta \rightarrow 0;$$

$$V_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma - 1} R T_0}$$

M	$\rho / \rho_0$	T/T <sub>0</sub>	P/P <sub>0</sub>	S*/S	Theta
1	0,63	0,83	0,52	1	130°
3	0,08	0,35	0,03	0,2	80°
4	0,027	0,23	0,006	0,1	64°

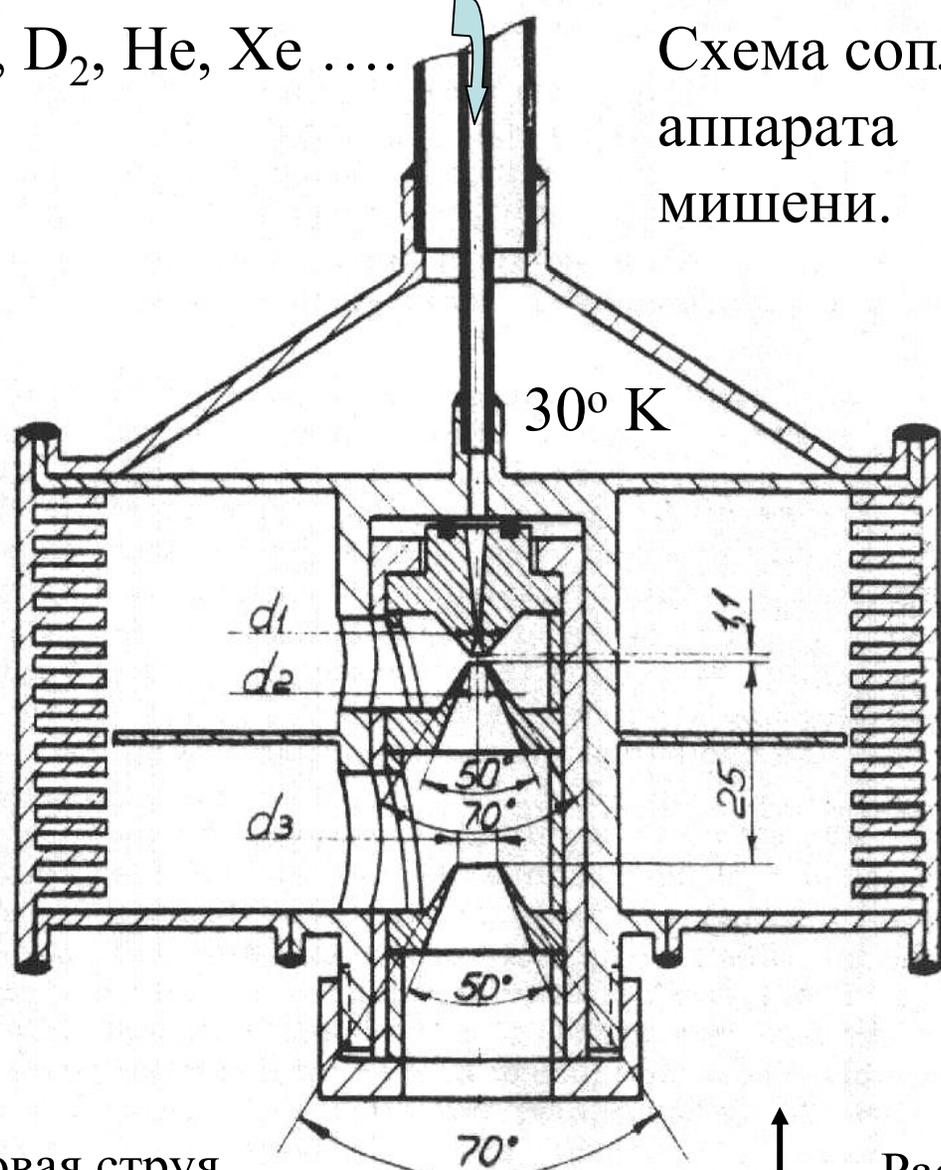
Схема  
установки  
со струйной  
мишенью.



H<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>, He, Xe ....

Схема соплового аппарата мишени.

Струйная газовая сверхзвуковая мишень в вакуумной камере циклического ускорителя.



$$L = I \cdot \rho; \quad I = I_{acc} \cdot N_{mult, trav}$$

$$I_{acc} = 10^{12}; \quad N_{mult, trav} = 10^5 \text{ s}^{-1}$$

$$L = 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$N_{pp, scatt} = 4 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$$

Газовая струя,  
диам. 10 мм.  
 $\rho = 10^{16}$  атом/см<sup>2</sup>

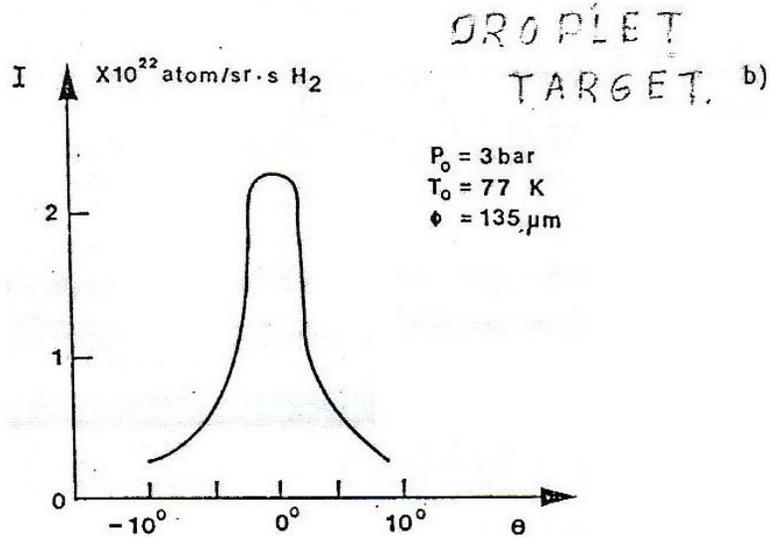
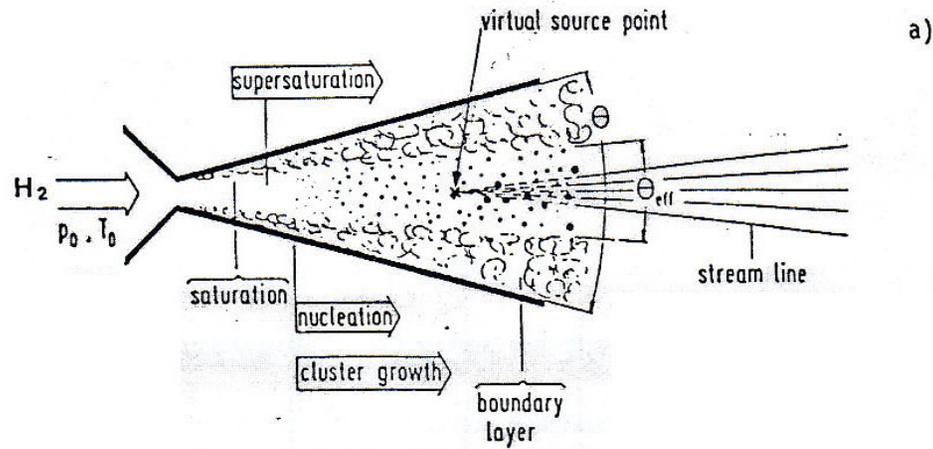
Расстояние от сопла до  
пучка 50 мм

Пучок ускорителя

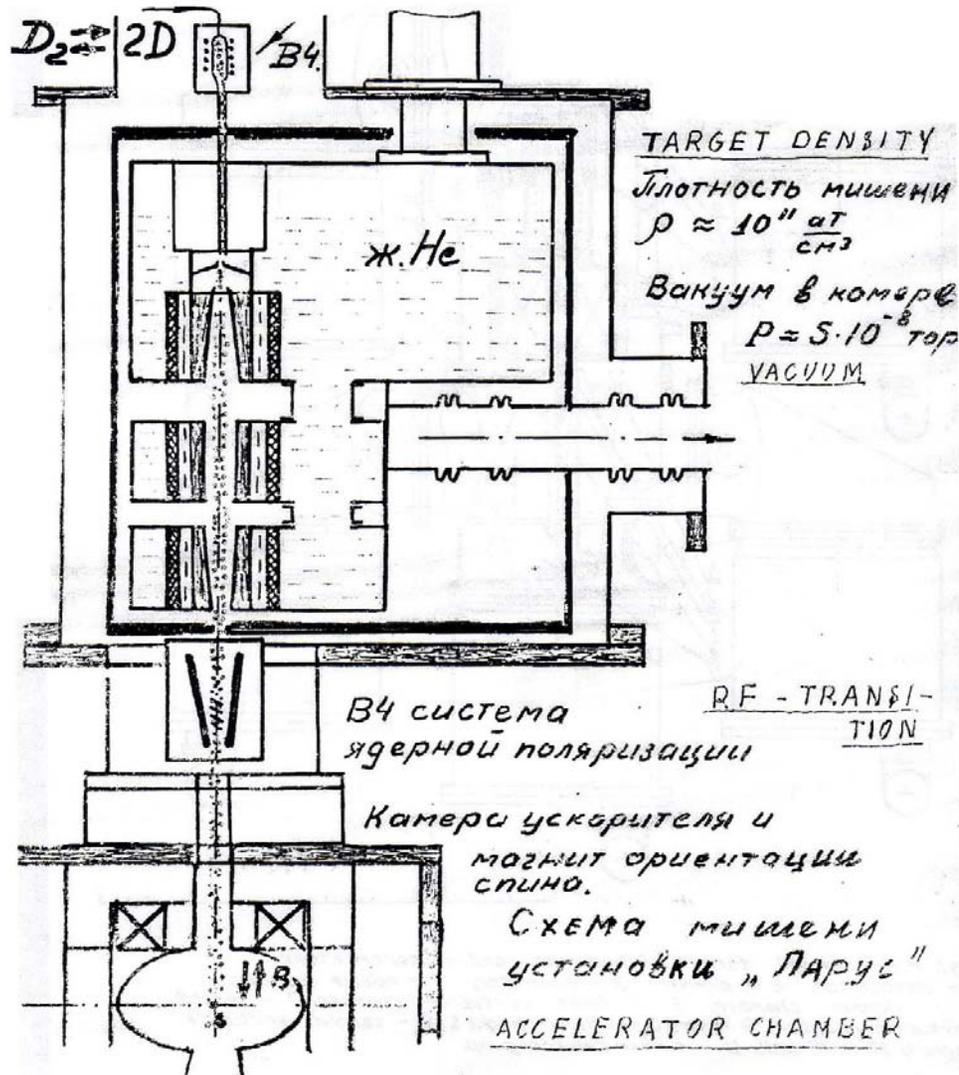
CERN ISR, SPS.

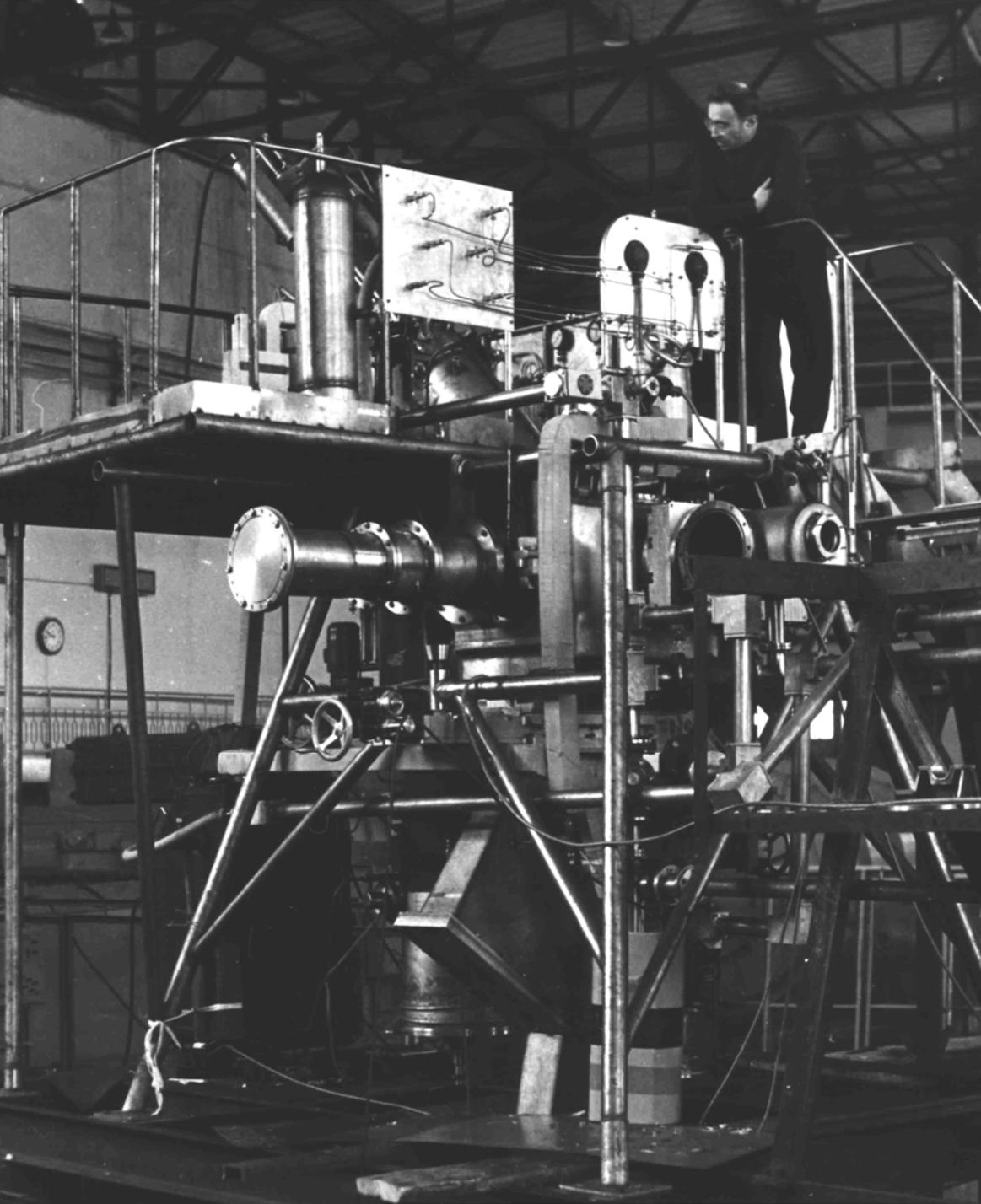
84

Сопловой аппарат  
на SPS  
в ЦЕРН



# Струя поляризованного водорода





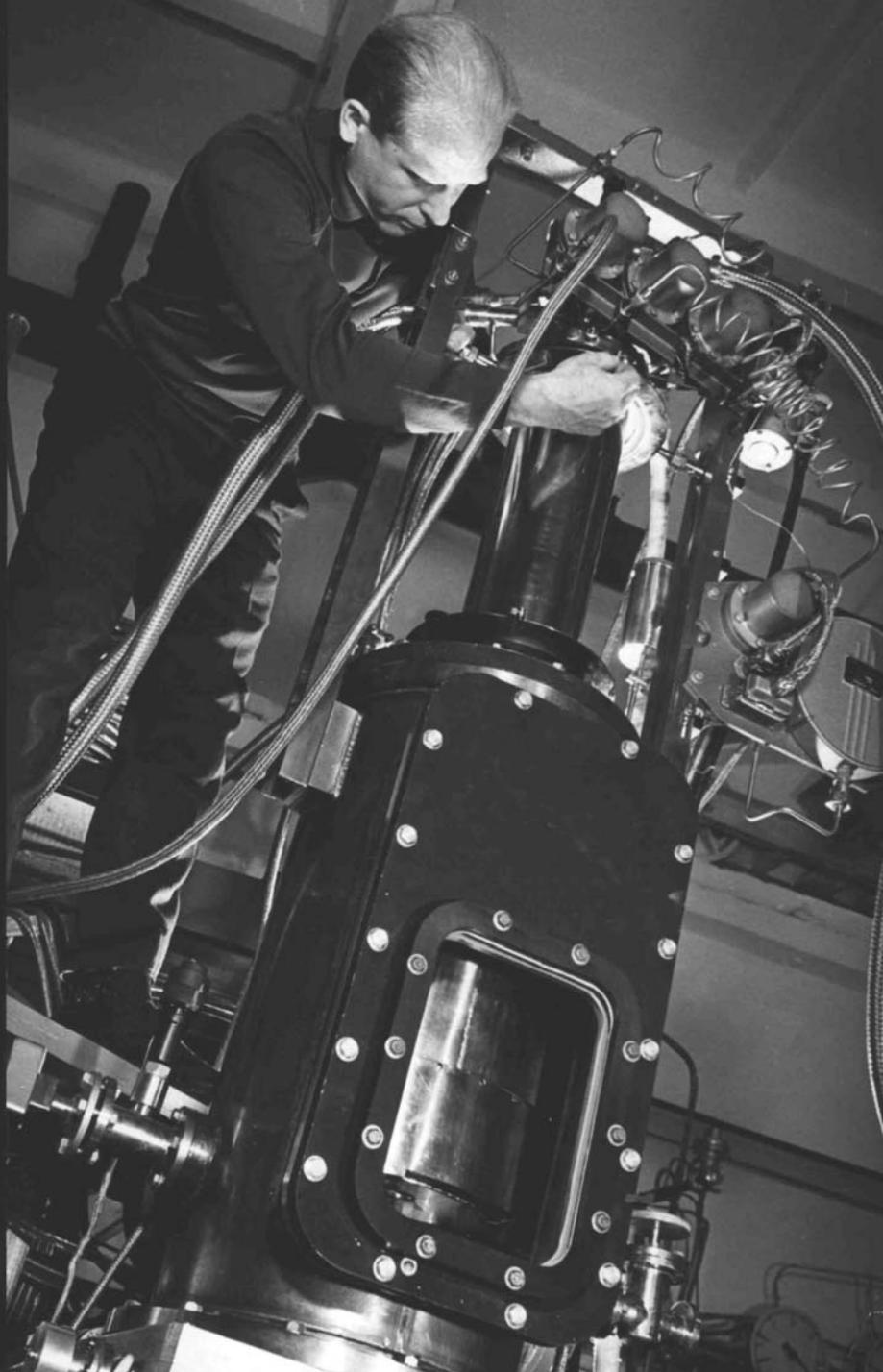
Установка со  
струйной мишенью  
на сборочном стенде  
в ЛВЭ (На капитанском  
мостике А.Г.Зельдович).



Ионопровод частиц  
отдачи в установке  
СЯО на ускорителе  
У-70 в ИФВЭ.

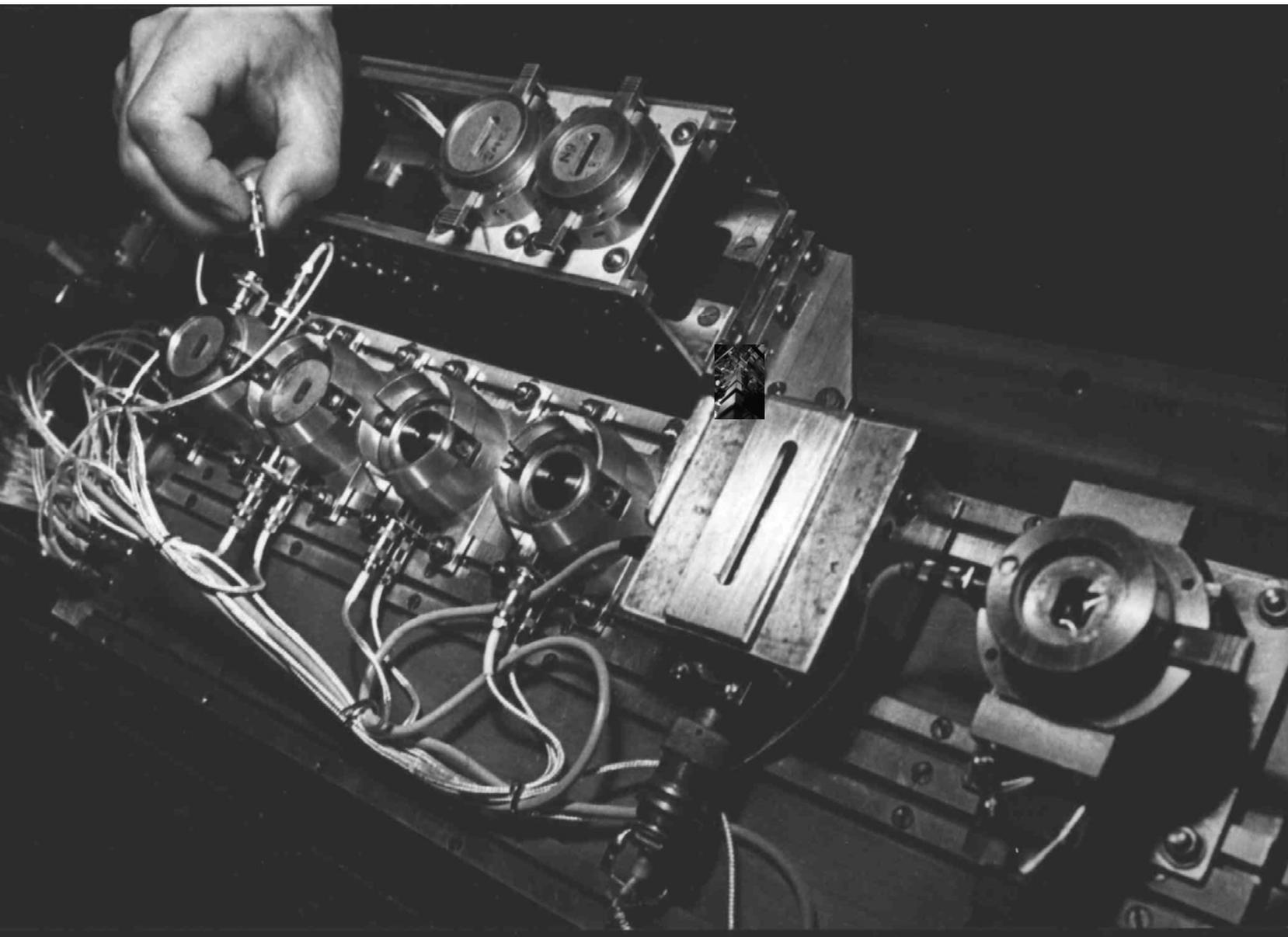


Разработка струйной мишени  
на стенде в НИКО ЛВЭ.  
(А.Перов, В.Смелянский).



Установка со  
струйной мишенью,  
предназначенная для  
Теватрона во ФНАЛ,  
на сборочном стенде в  
НИКО ЛВЭ  
(.В.Смелянский).

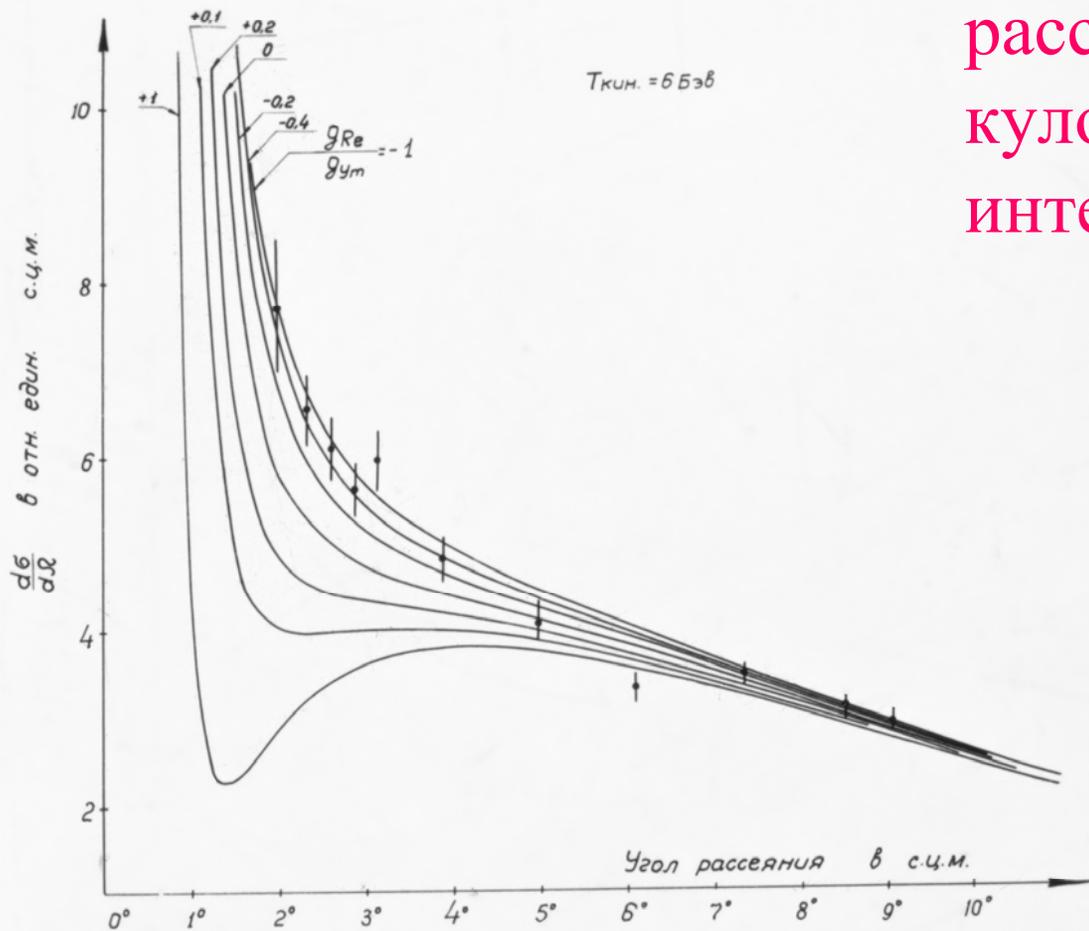
Полупроводниковые детекторы в установке  
«Спектрометр ядер отдачи» на ускорителях СФ и У-70.



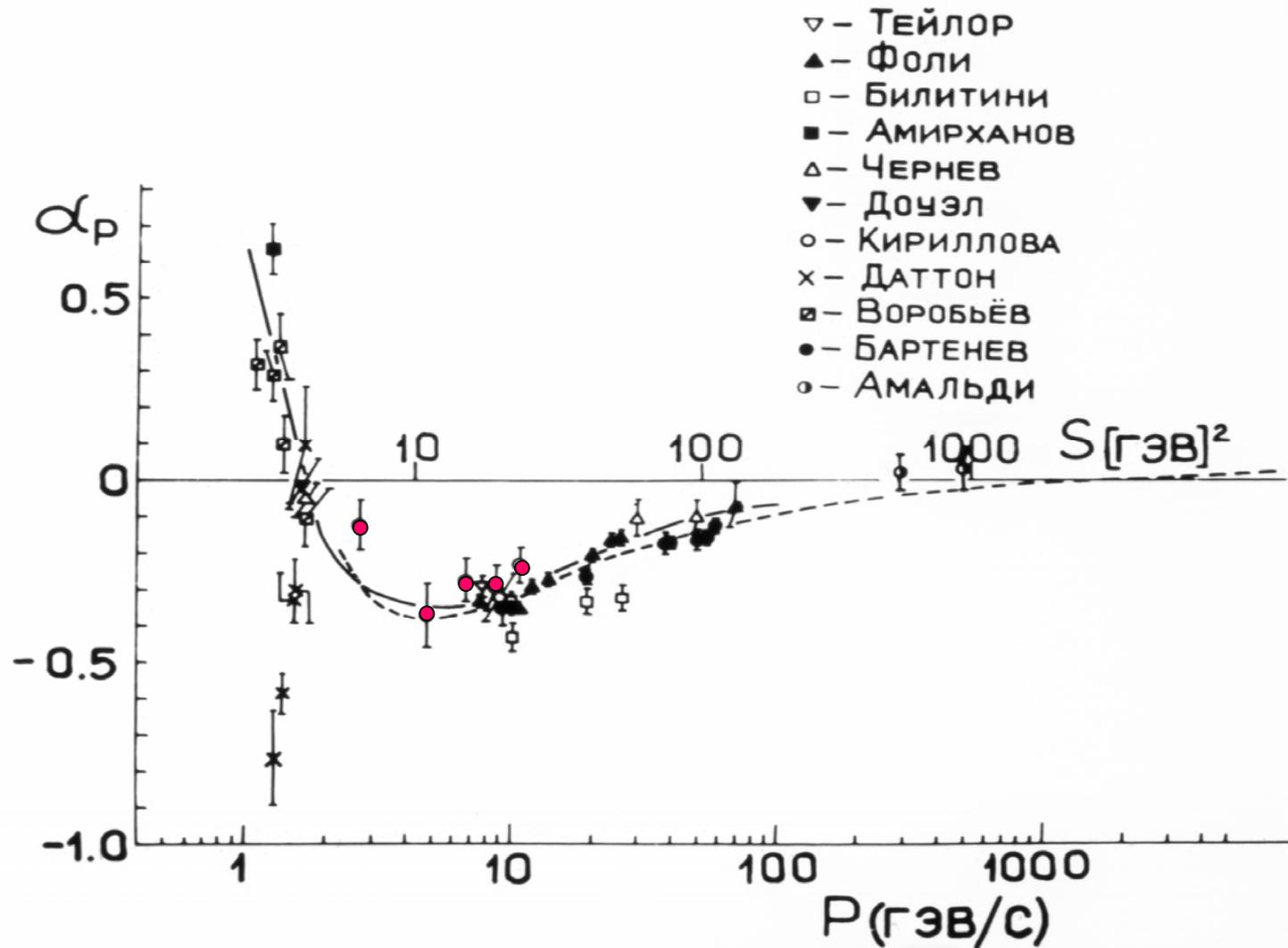


Директор  
ФНАЛ  
Роберт  
Вильсон  
в ЛВЭ на  
установке  
«Спектрометр  
ядер отдачи» .

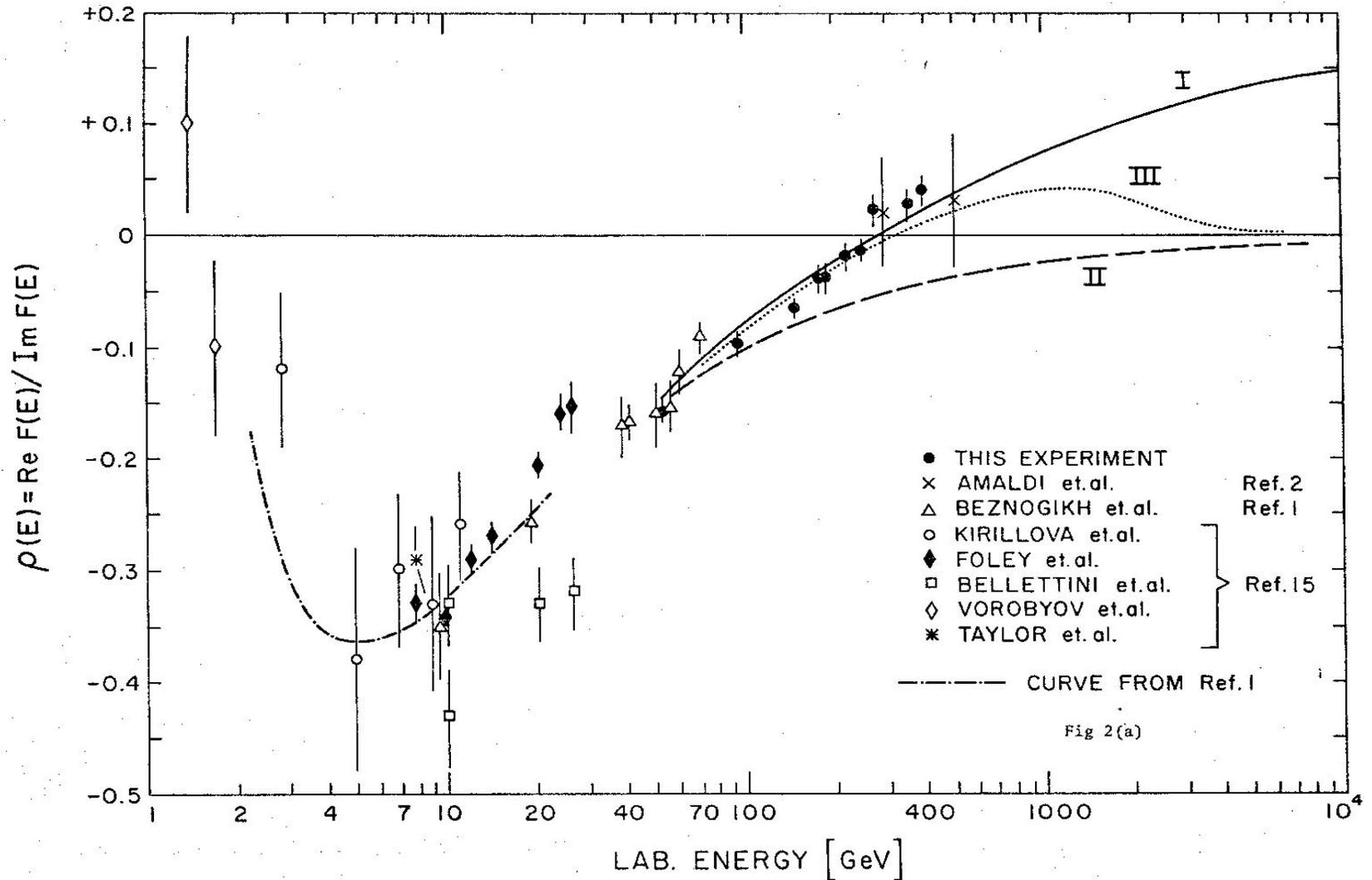
Дифференциальное сечение упругого рр рассеяния в области кулон-ядерной интерференции.



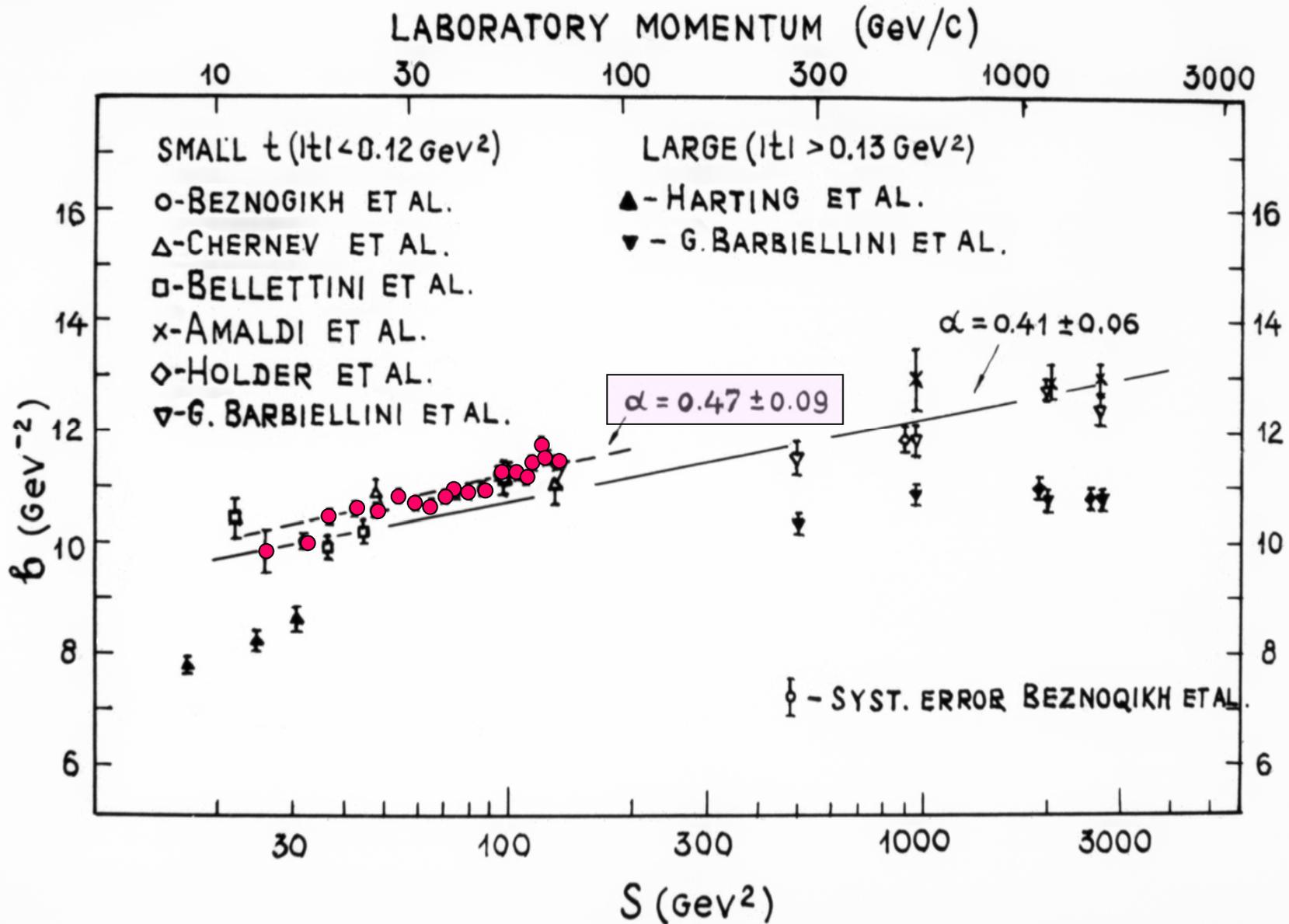
# Действительная часть амплитуды pp рассеяния.



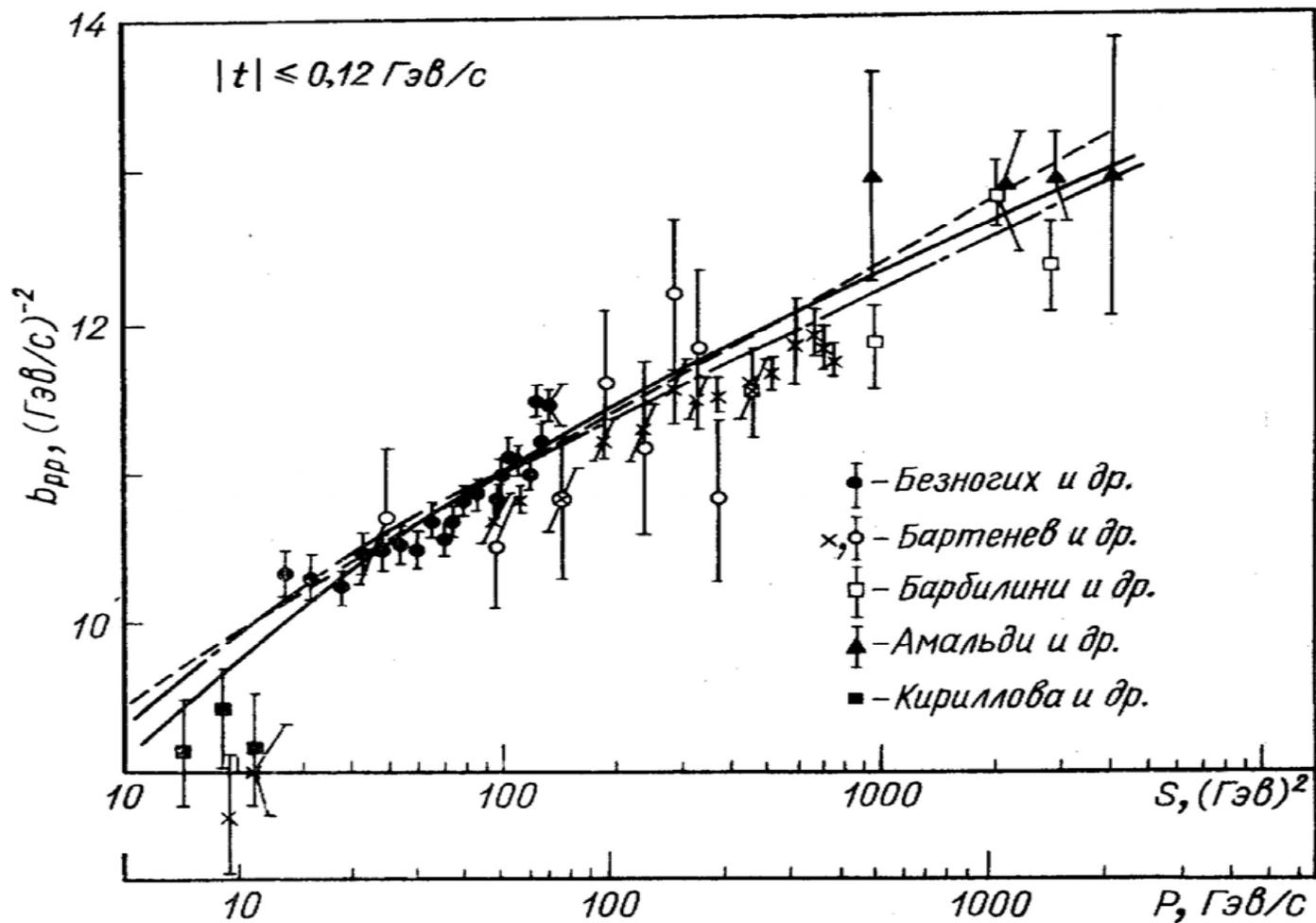
# Compilation of the rho-parameter data



# История измерения $b$ -параметра упругого $pp$ рассеяния.



# Compilation of the b-parameter data.

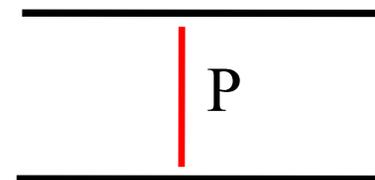
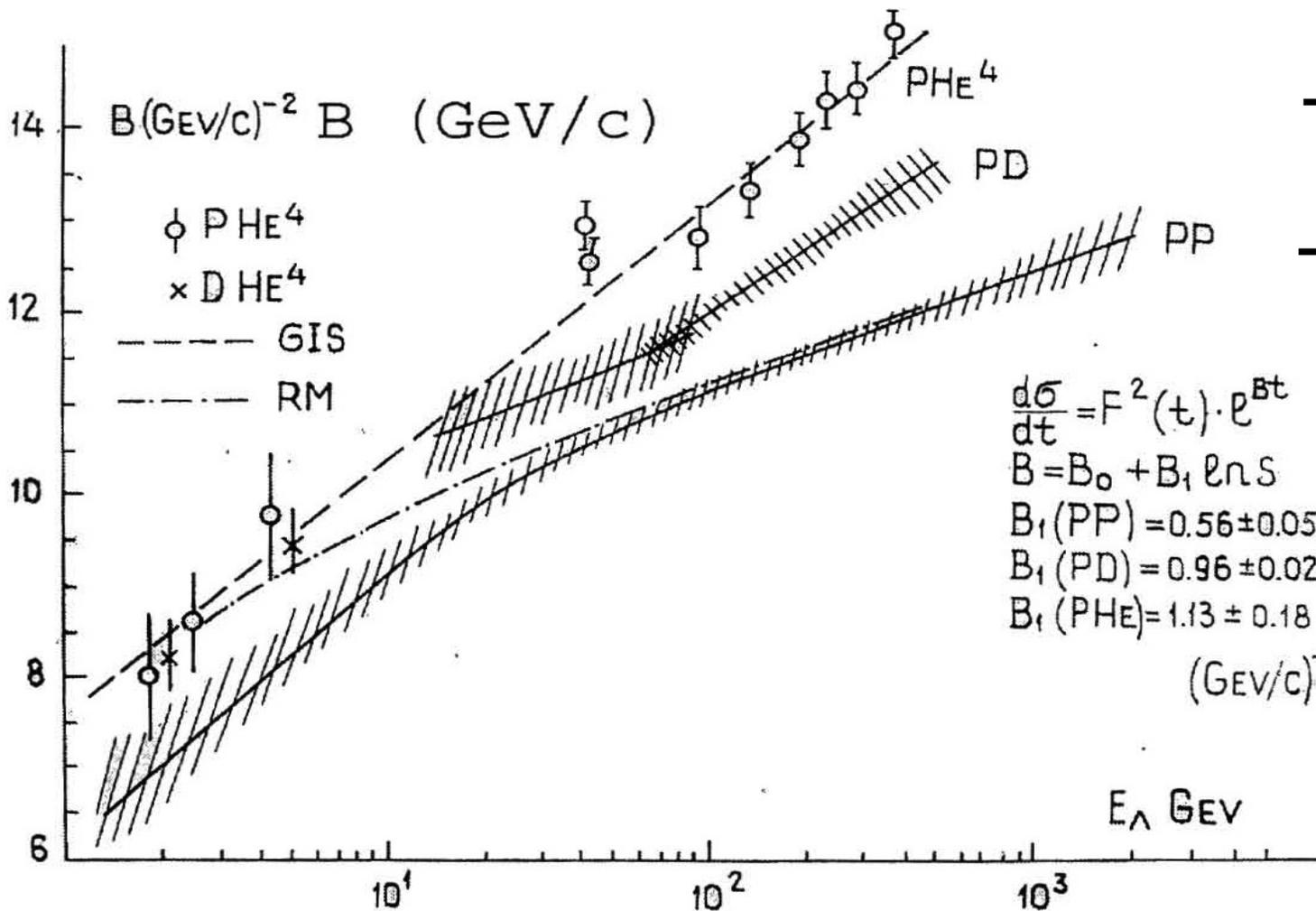


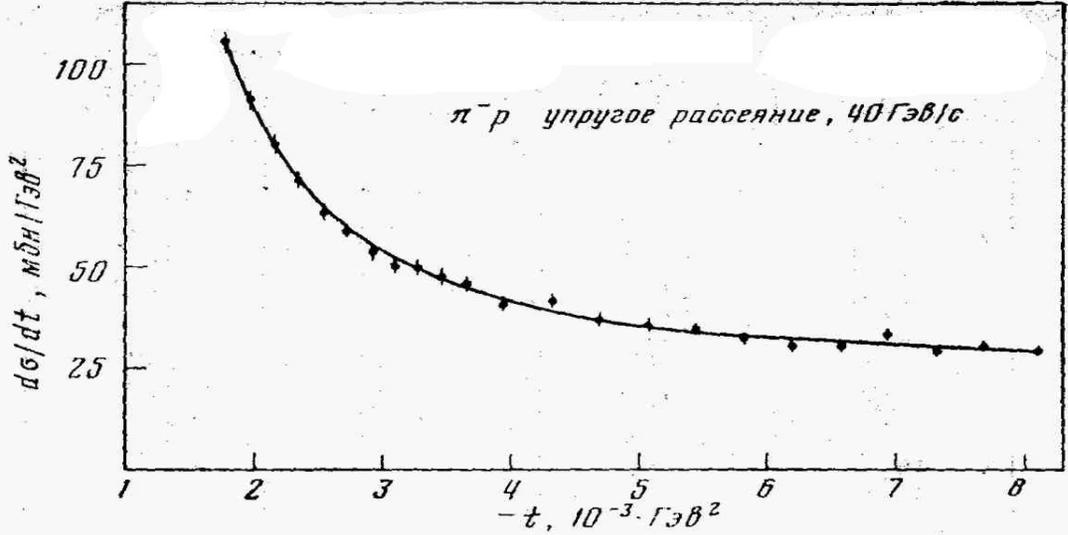
# Compilation of b-parameter data on pA elastic scattering

$$\frac{d\sigma(s, t)}{dt} = f(t) \left(\frac{s}{s_0}\right)^{2\alpha(t)-2}$$

$$\alpha(t) = \alpha(0) + \alpha' \cdot t.$$

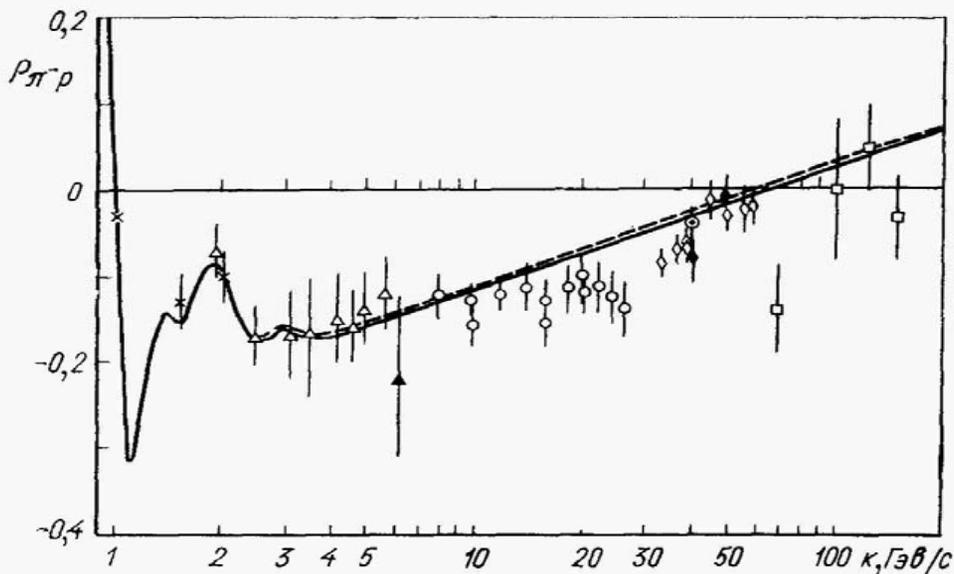
$$b(s) = b_0 + 2\alpha' \cdot \ln\left(\frac{s}{s_0}\right).$$





Действительная часть  
 амплитуды упругого  
 $\pi p$  – рассеяния.  
 Метод:  
 камера Вильсона и  
 искровой спектрометр.

Рис. 2. Измеренное дифференциальное сечение. Кривая – результат фитирования с параметрами:  $\rho = -0,037$ ,  $b = 12 \text{ Гэв}^{-2}$ ,  $N = 0,997$



Н.Н.Говорун, Л.Н.Струнов и др.,  
 препринт ОИЯИ Е1-7552, 1973.

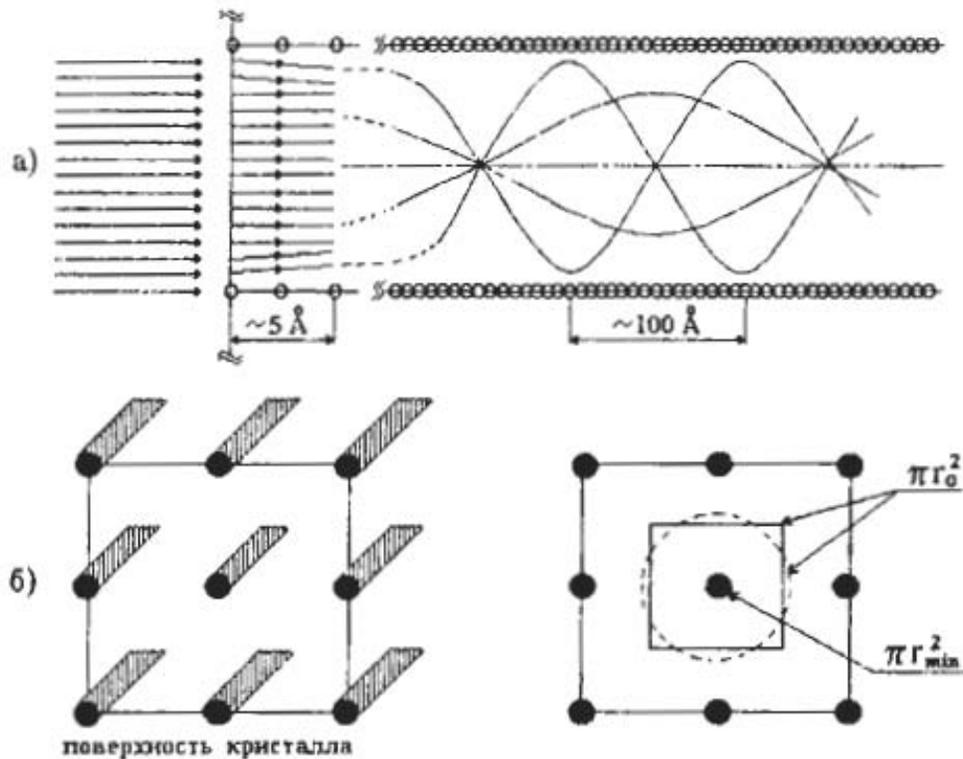
Рис. 12. Функция  $\rho(E) = \text{Re } A / \text{Im } A$  для  $\pi p$ -упругого рассеяния. Сплошная и пунктирная кривые вычислены по дисперсионным соотношениям

И.В.Чувило и Л.Н.Струнов на установке с камерой Вильсона.



Фото 7. Слева направо: Ким Хи Ин (КНДР), Л. Н. Струнов, И. В. Чувило, Г. Г. Воробьев в ожидании импульса срабатывания камеры Вильсона

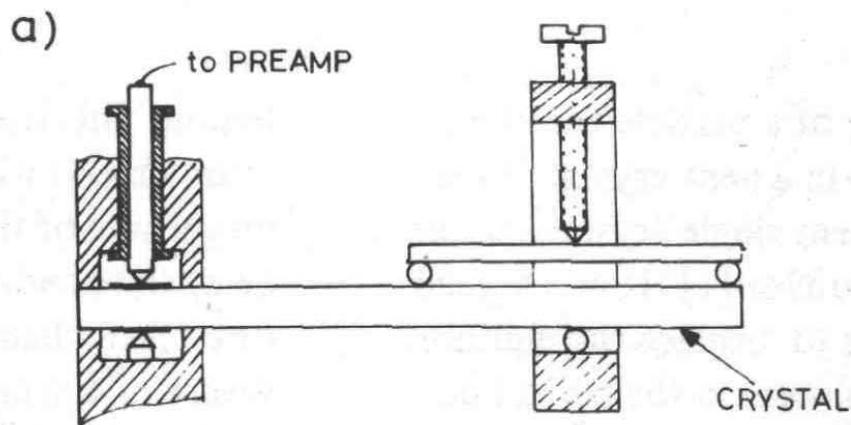
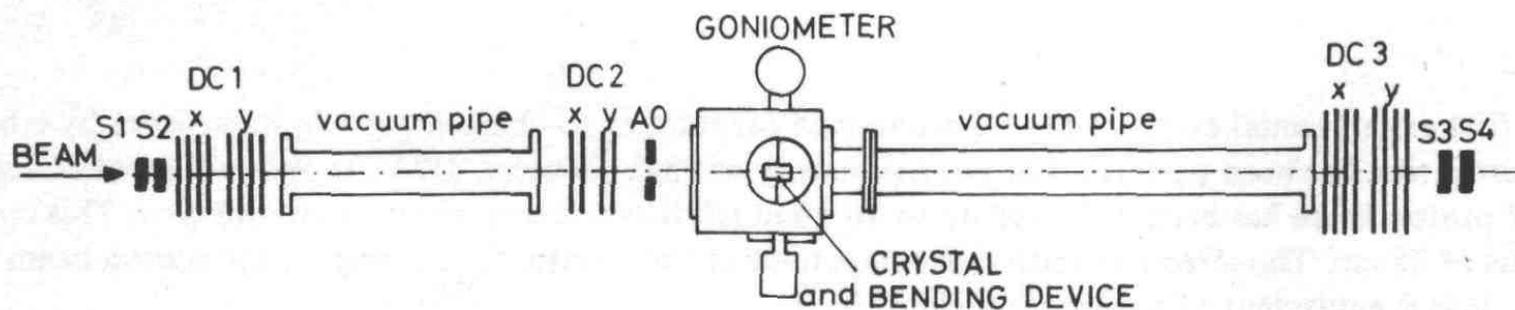
# Управление пучком заряженных частиц с помощью изогнутого кристалла.



юстрация процесса каналирования (а) и вид спереди  
л (б).

длюстрирует процесс каналирования в котором час

# Установка на пучке протонов 8 ГэВ в ЛВЭ для наблюдения отклонения пучка в изогнутом кристалле.



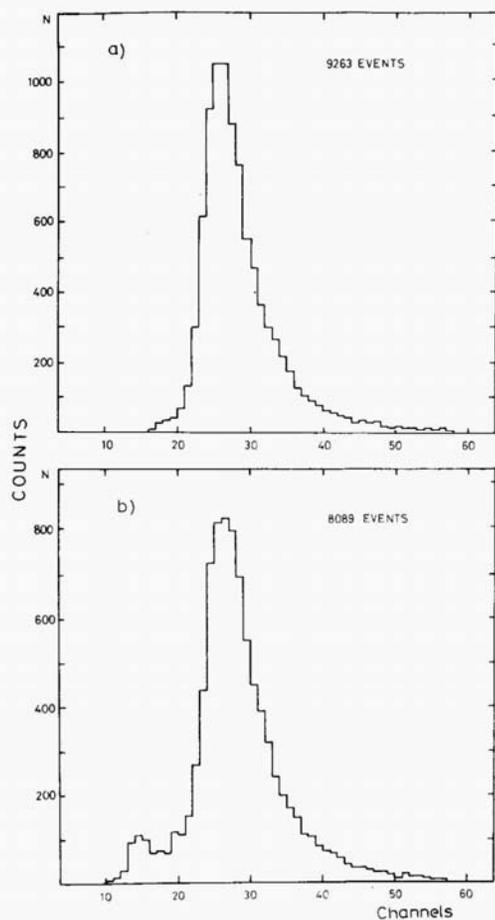


Fig. 2. Energy loss distribution as measured by the silicon semiconductor detector: (a) crystal oriented randomly with respect to the primary beam direction; (b) crystallographic plane (111) oriented along the beam direction (planar channeling).

ture makes it possible to orient the crystal and select particles that have been involved in the channeling processes.

With the crystal aligned along the beam direction

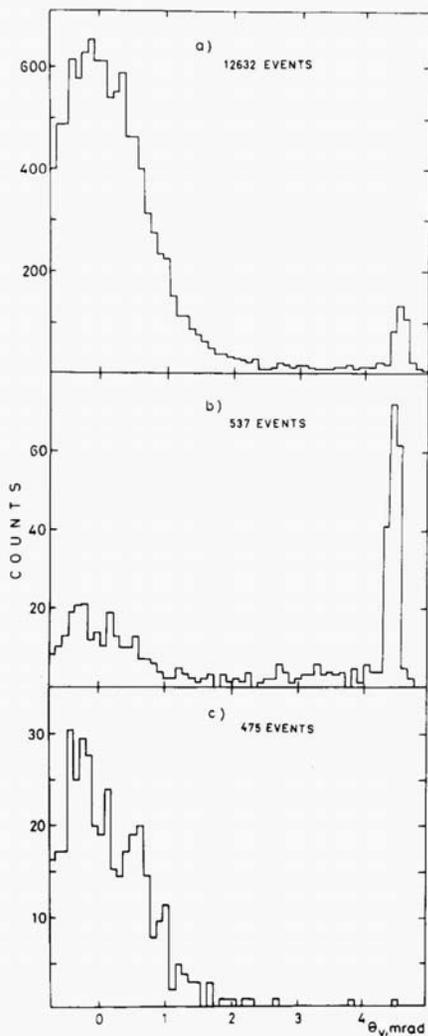
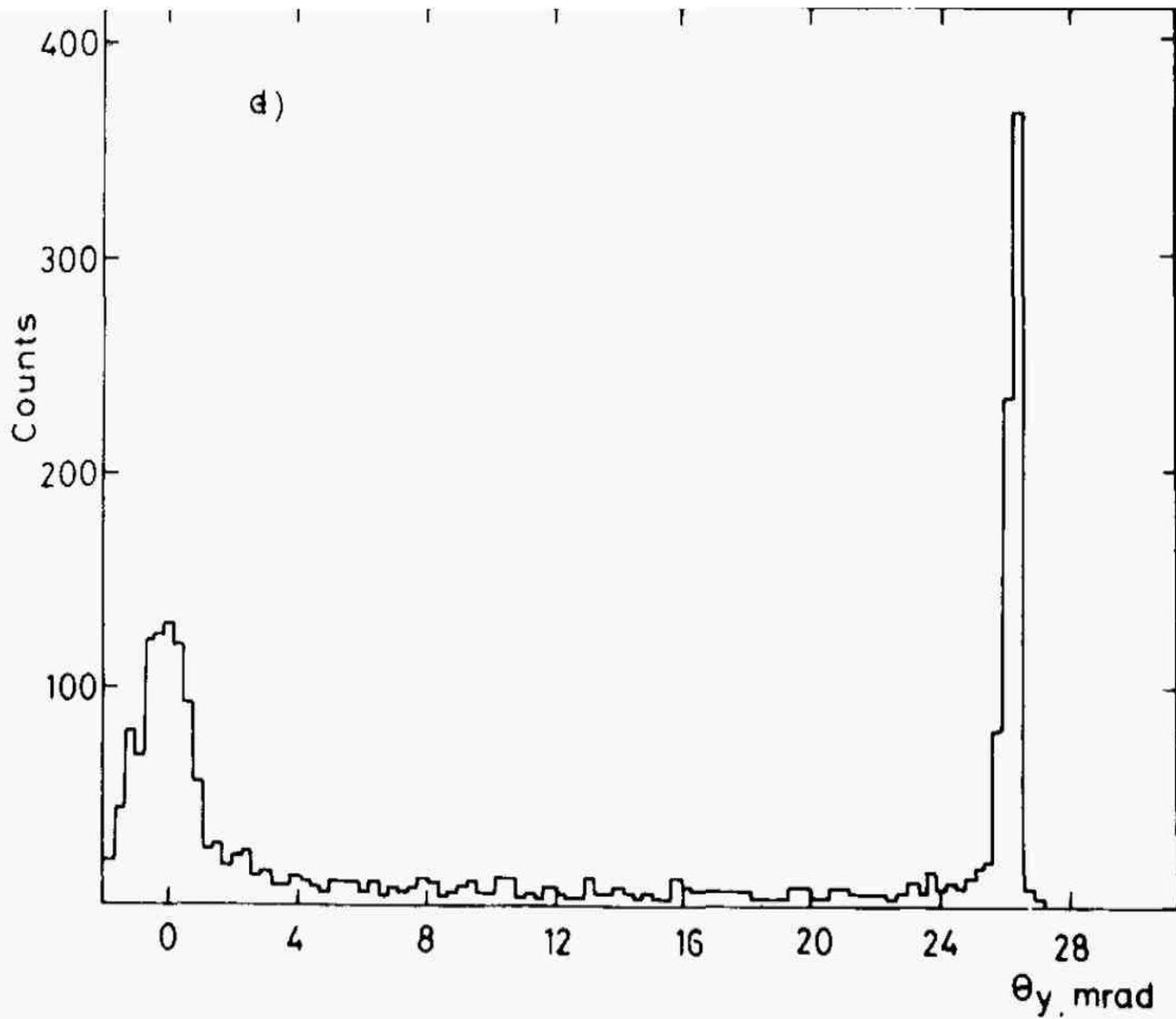


Fig. 3. (a) Angular distribution in the vertical plane for outgoing protons from a crystal bent at 4.5 mrad. (b) The same as in (a) except that only channeled particles were selected. (c) The same as in (a) except that only nonchanneled particles were selected.



... distributions in the vertical plane for protons using various crystal bending angles and  
(b) 1.0 mrad, (c) 3.0 mrad, (d) 26.0 mrad.

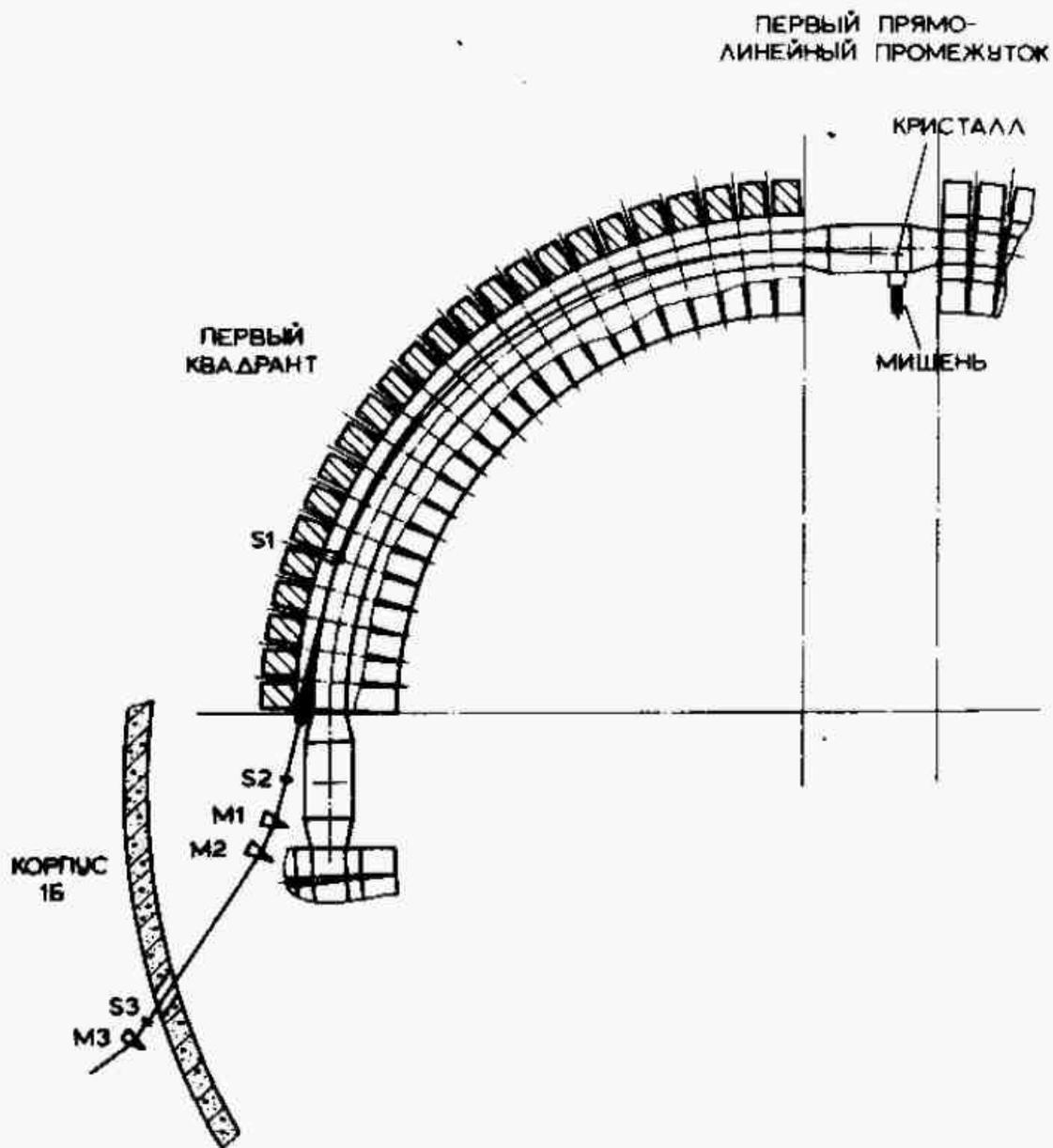
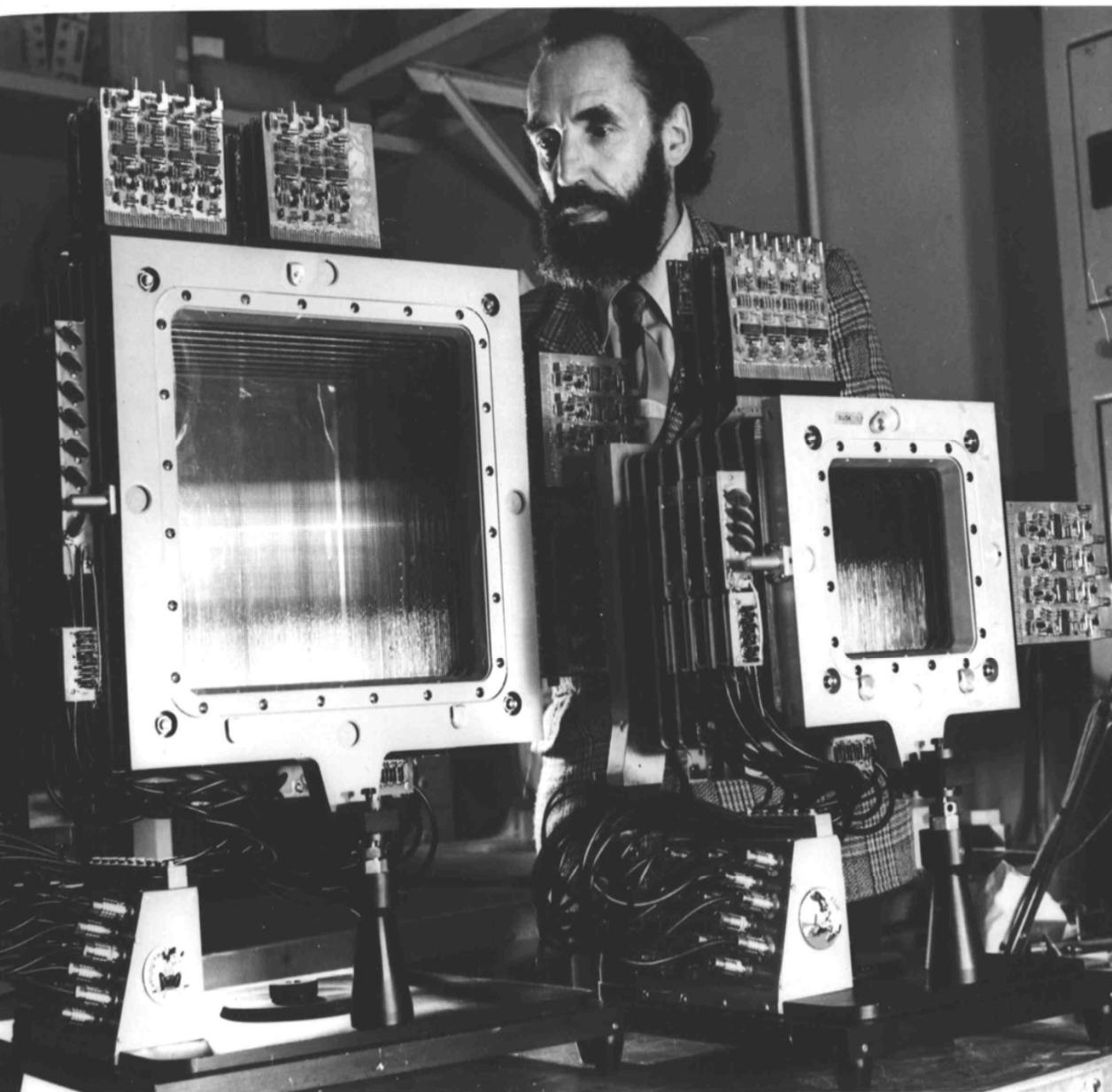


Схема вывода пучка из СФ с помощью изогнутого кристалла.



Дрейфовые  
камеры  
установки  
«Кристалл»



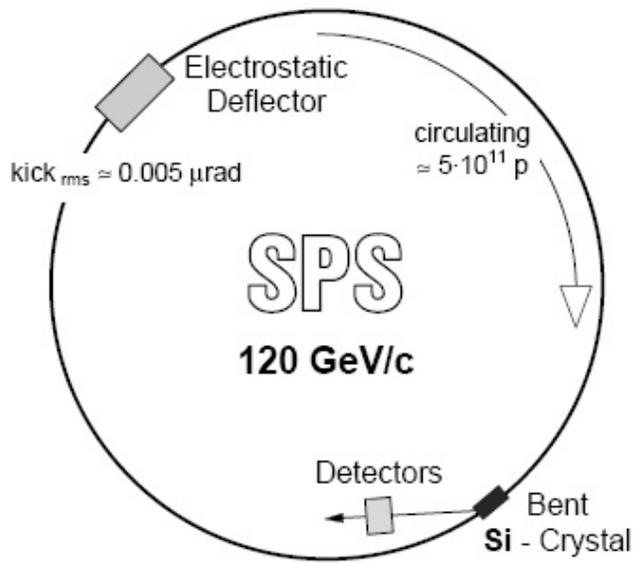


Fig. 5. The principle of the SPS extraction experiments with a bent crystal

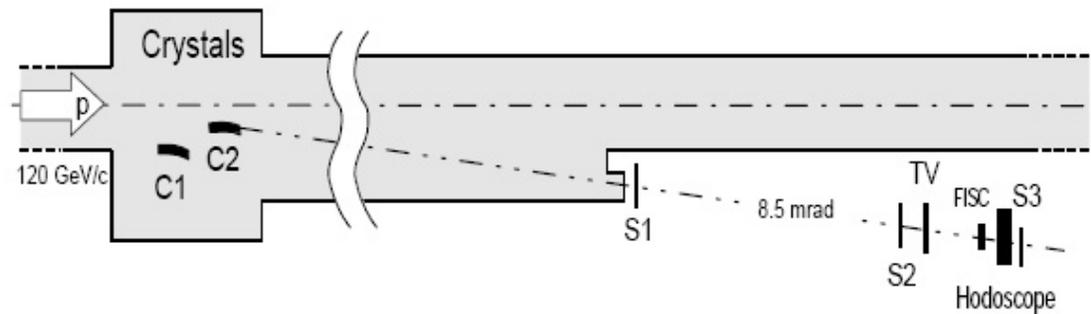


Fig. 6. Schematic view of the crystal and detector arrangement to measure the extracted proton beam at the SPS

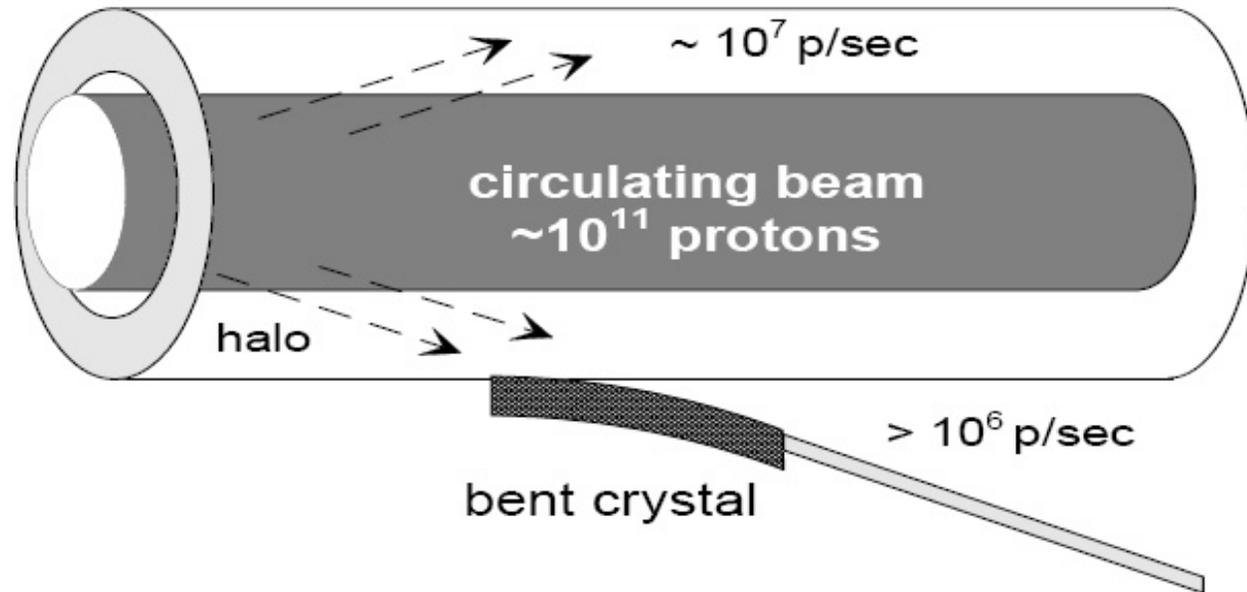


Fig. 1. Principle of proton extraction from the halo of a circulating proton beam by means of a bent crystal

# Изогнутый кристалл в установке NA48.

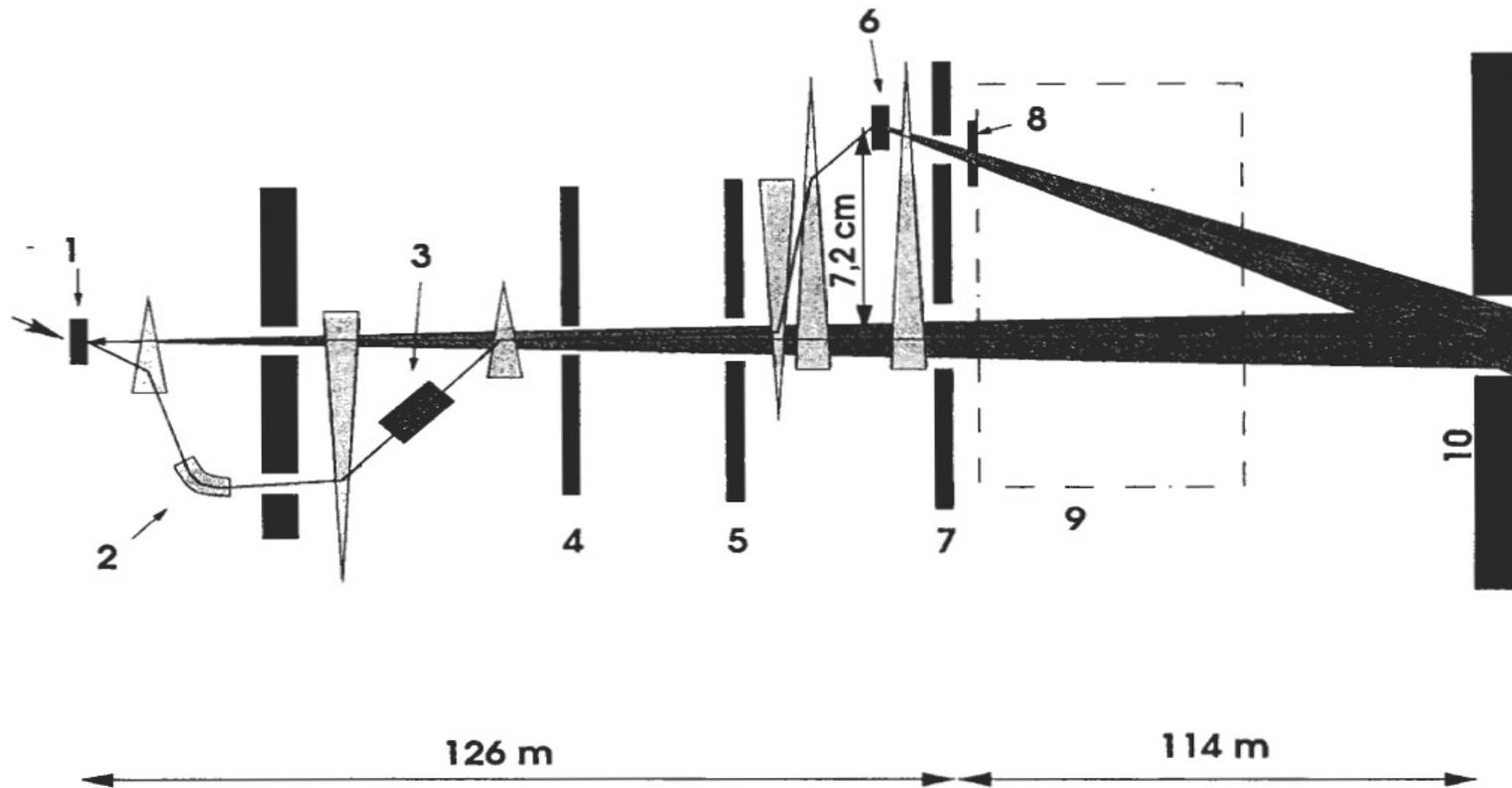


Рис. 4: Схема синхронных пучков  $K_L$  и  $K_S$  в эксперименте NA48 (масштаб не соблюдается). 1 - мишень  $K_L$ ; 2 - искривленный монокристалл; 3 - отметчик пучка  $K_S$ ; 4 - определяющий коллиматор; 5 - коллиматор очистки; 6 - мишень  $K_S$ ; 7 - последний коллиматор; 8 - veto ранних распадов в пучке  $K_S$  (AKS); 9 - распадный объем; 10 - детекторная установка NA48.

# Major breakthroughs.

## Physics.

- $K^0$  decay and  $K_s$  regeneration.
- Multiple strange particles production. Anti-sigma-minus hyperon.
- Study of elastic scattering.  $\rho = \text{Im}A/\text{Re}AK^0$ ;  $\alpha' \neq 0$
- Inertia of baryon charge. Discovery of fragmentation and pionization regions.
- $\rho$ ,  $\omega$   $Y e^+ e^-$ .
- Identical particles correlation – Podgoretsky, Kopylov (HBT).
- Acceleration of deuterons and pioneering of relativistic nuclear physics.
- Discovery of cumulative particles. Notion of nuclei structure function.

## Experimental technique.

- **Technique of thin internal target.** Supersonic gas jet target.
- First implementation of semiconductor detectors in high energy physics.
- Implementation of computers on line with experimental apparatus.
- Development of big bubble chambers.
- **Bent crystals.**

# Major failures.

- CP violation
- Discovery of  $\rho$ ,  $\omega$  resonances.

# Благодарность за активное участие и поддержку.

Зиновьев Л.П –Нач. отдела СФ.

Группа диспетчеров СФ.

Федуков С.В., Перфеев В.Н., Руднев Е.В., Заболотин,  
Шерстянов Д.И., Яловой И.

Группа ВЧ.

Царенков А.П., Михайлов А.И.

Группа электропитания.

Смирнов А.А., Григорашенко В.С., Филиппов А.С.

Группа вакуумной системы.

Нагдасев С.С., Дудкин Ю.А., Ершов М., Миронов.

Конструкторское бюро.

Матюшевский Е.А.

ЦОЭП.

Курятников Б.К., Уральский Д.В., Тятюшкин Ю.И.,  
Кондратьев В.М., Кокшаров В.Ф.



Конечд.  
Спласибо.