

Владимир Иосифович Векслер.

Сто пять лет со дня рождения, 4.03.1907 – 22.09.1966.

Леонид Петрович Зиновьев.

Сто лет со дня рождения, 28.04.1912 – 30.05.1998.

Синхрофазотрон.

Пятьдесят пять лет со дня запуска, 16.04.1957.

История физики высоких энергий в ОИЯИ.

Владимир Иосифович Векслер.

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.

Вехи биографии В.И.Векслера.

- 4 марта 1907 г. Родился в Житомире в семье инженера – электрика.
- 1925 г. Начало трудовой деятельности. Электрик на фабрике.
- 1931 г. Закончил Московский энергетический институт.
- 1930 г. Начало научной работы в электротехническом институте. Исследование рентгеновских лучей.
- 1936 г. Поступил в ФИАН. Исследование космических лучей.
- 1937 – 1940 гг. Экспедиции на Эльбрус. Открытие адронной компоненты в космических ливнях.
- 1941 – 1944 гг. Работа в Казани по оборонной тематике. Создание акустического локатора.
- 1944 г. Экспедиция на Памир.
- 1944 г. Изобретение ускорителя электронов – микротрона. Открытие принципа автофазировки пучка – теоретической основы всех циклических ускорителей.
- 1947 – 1949 гг. Сооружение синхротрона и проверка принципа автофаз.
- 1949 г. Начало проектирования СФ на энергию протонов 10 ГэВ.

Вехи биографии В.И.Векслера.

- 1953 г. Создание модели СФ на энергию 180 МэВ.
- 1956 – 1962 гг. Предложение когерентного (коллективного) принципа ускорения.
- Март 1957 г. Запуск СФ в Дубне. Есть 10 ГэВ !
- 1958 г. Избран действительным членом АН.
- 1964 г. Основал журнал «Ядерная физика».
- 22 сентября 1966 г. Скончался в Москве.

- Отец В.И.Векслера известный художник – модернист Давид Петрович Штеренберг (1981 – 1948 гг).

В начале 20-х гг. работал в наркомпросе зав. отделом. Воспитал плеяду известных советских художников.





Володя Векслер с матерью Регинной Владиславовной. 1917 г.



В.И. с женой

Ниной Александровной
Сидоровой

на Памире, 1947 г.

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

Сессия Учёного совета ОИЯИ, 1958 г.



5-я сессия Ученого совета ОИЯИ. В первом ряду (слева направо): И. М. Франк, М. Даныш, В. П. Джелепов, Д. И. Блохинцев, В. И. Векслер, Н. Н. Боголюбов, Г. Н. Флеров; во втором ряду: В. Вотруба, В. Н. Сергиенко, А. М. Рыжов. 1958 г.

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



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

В.И.Векслер и А.М.Петросьянц, 1963 г.



Председатель Госкомитета по атомной энергии СССР А. М. Петросьянц и В. И. Векслер во время Международной конференции по ускорителям. Дубна, 1963 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.



Американская делегация во главе с Р. Маршаком.
Слева направо: Р. Вильсон, Р. Маршак, ..., В. И. Векслер. 1960 г.



Премьер-министр Великобритании Г. Макмиллан в ОИЯИ.
В первом ряду (слева направо): Э. Иден, Г. Макмиллан, Ф. Ф. Козлов,
А. А. Громыко, В. И. Векслер. 1959 г.

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



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

Леонид Петрович Зиновьев.

Руководитель отдела Синхрофазотрона.

Лауреат Ленинской премии, доктор тех. н., проф.

Участник Великой Отечественной Войны

Кавалер ордена ВОВ и ряда медалей.

Почётный гражданин г. Дубны.



Вехи биографии Л.П.Зиновьева.

- 28 апреля 1912 г. Родился в г. Волоколамск в семье служащего.
- 1931 г. Работа на строительстве Дворца Советов в Москве электромонтером по электрооборудованию автомобилей. .
- 1940 г. Закончил Московский энергетический институт и начал работать во Всесоюзном энергетическом институте.
- 1941 – 1945 гг. Участник ВОВ. Прошёл от Ленинграда до Берлина в составе авиационной части в должности командира электротехнического взвода.
- 1947 г. Создание в Обнинске синхротрона на энергию 1,5 ГэВ.
- 1949 г. Работа в ФИАНе по созданию модели СФ на энергию 180 МэВ.
- 1957 г. Руководитель работ по наладке и запуску СФ.
«Успех запуска синхрофазотрона и возможность начала проведения широкого фронта физических работ на нем в значительной степени связаны с участием в этих работах Л. П. Зиновьева». *В.И.Векслер.*

Вехи биографии Л.П.Зиновьева.

- 1957 -1988 гг. Руководитель отдела СФ.
- 1971 г. Получение пучка дейтронов с импульсом 10 ГэВ. Начало релятивистской ядерной физики.
- 30 мая 1998 г. Скончался в Дубне.



Леонид Петрович с супругой Серафимой Филипповной. Слева – Берлин 1945 г.
Справа – Дубна спустя 50 лет.



Леонид Петрович с дочерьми Ларисой (слева) и Машей (справа).



За пультом СФ.



Леонид Петрович среди коллег. Слева на право: Карпов И.И., Донец Е.Д., Смирнов В., Манчинский В.А., Блдаковский В.Н., Пикин А.



Леонид Петрович среди коллег. Собрание на инжекторе СФ. Слева на право: Мызников К.П., Рашевский, Есин С.К.



Леонид Петрович и директор Лаборатории (1967 г) Чувило Иван Васильевич.

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

Нильс Бор.

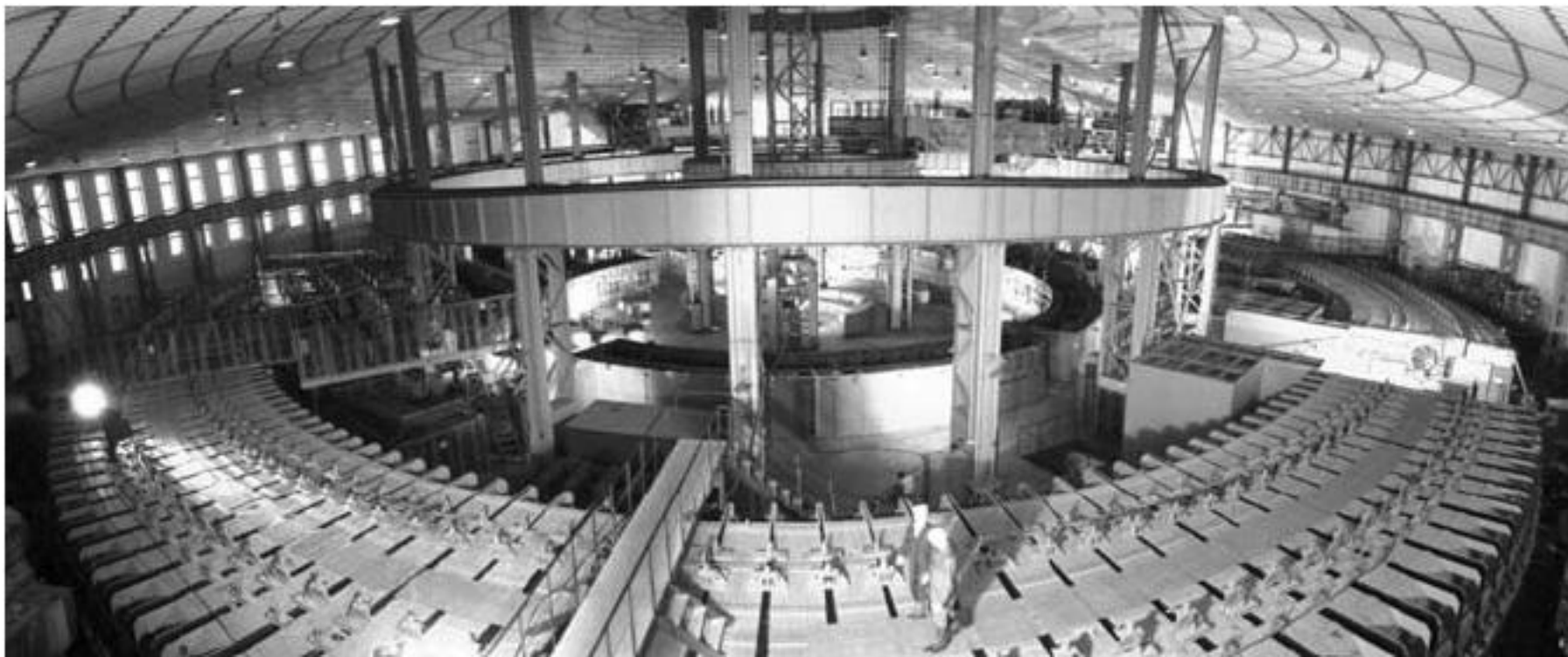
Этапы пути:

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



Пульт управления СФ.

На переднем плане
дистилляторы воды для
охлаждения магнита.

Ускорители: электростатический, линейный, циклический

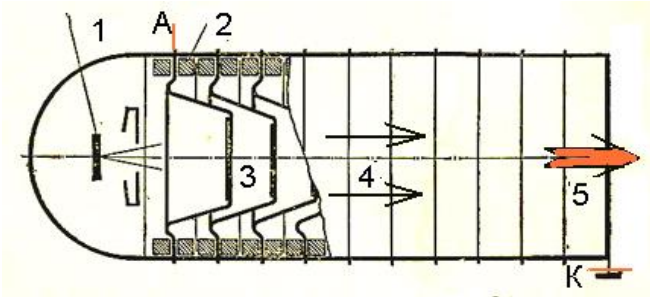


Схема электростатического ускорителя. A, K – анод и катод. 1 – ионный источник. 2 – делитель напряжения. 3 – ускоряющие электроды. 4 – электрическое поле. 5 – ускоренный пучок ионов

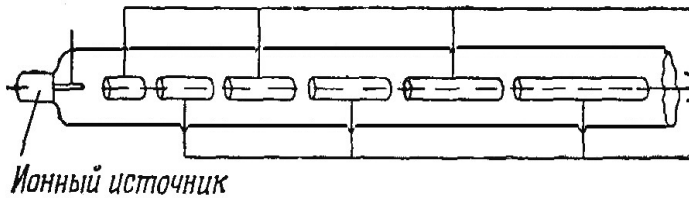


Схема линейного ускорителя.

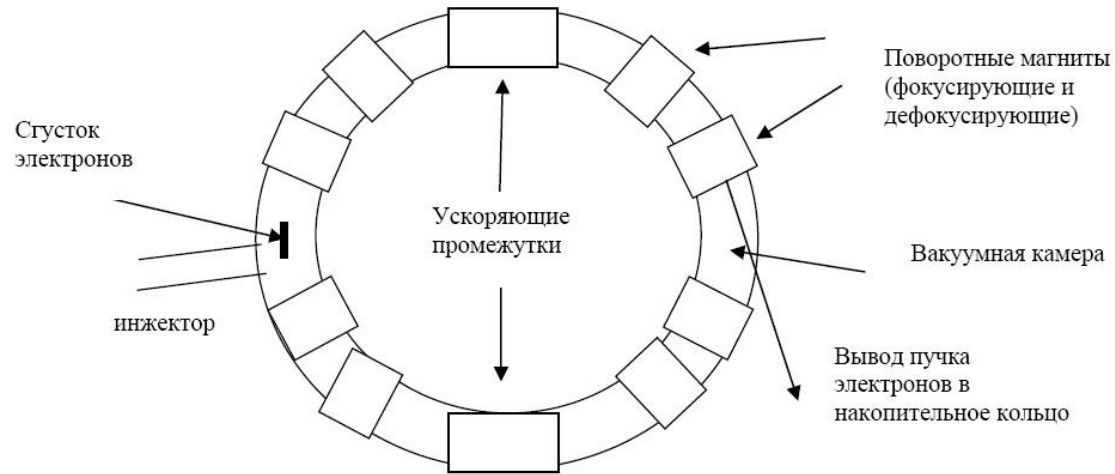
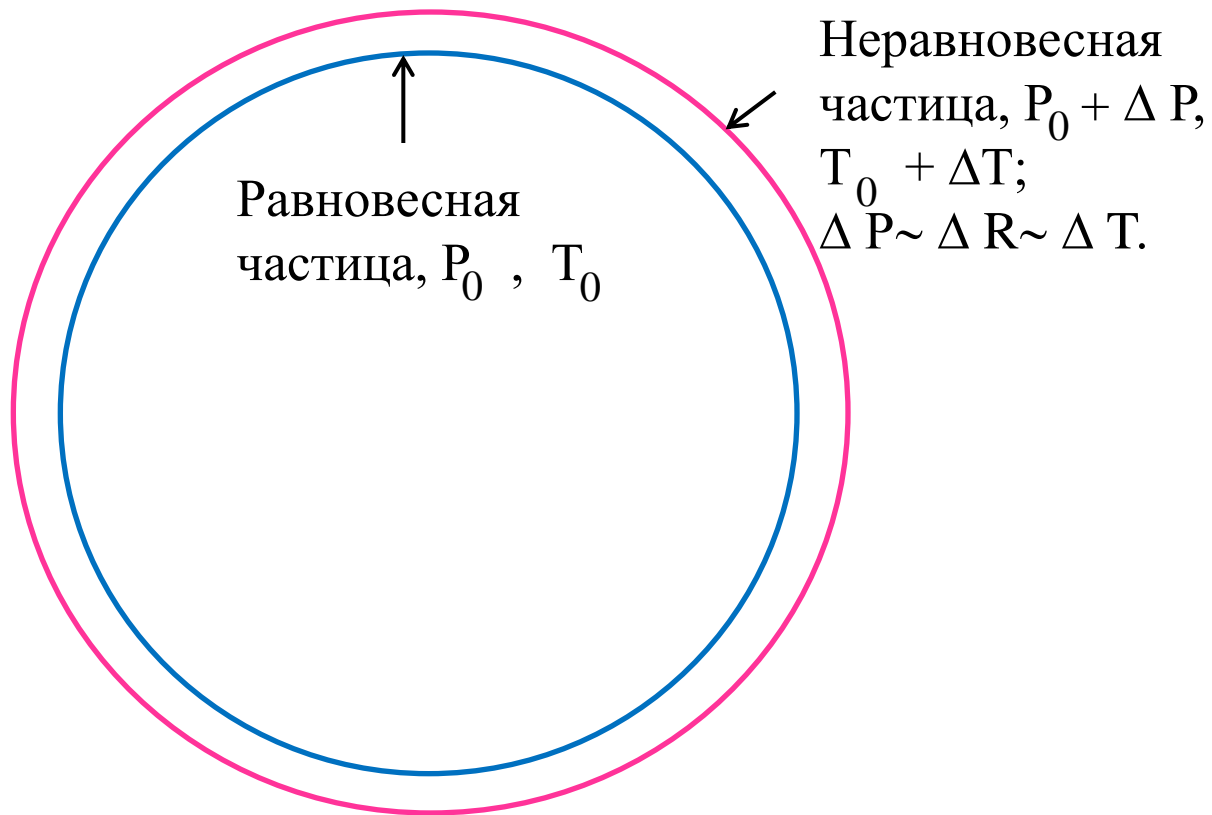


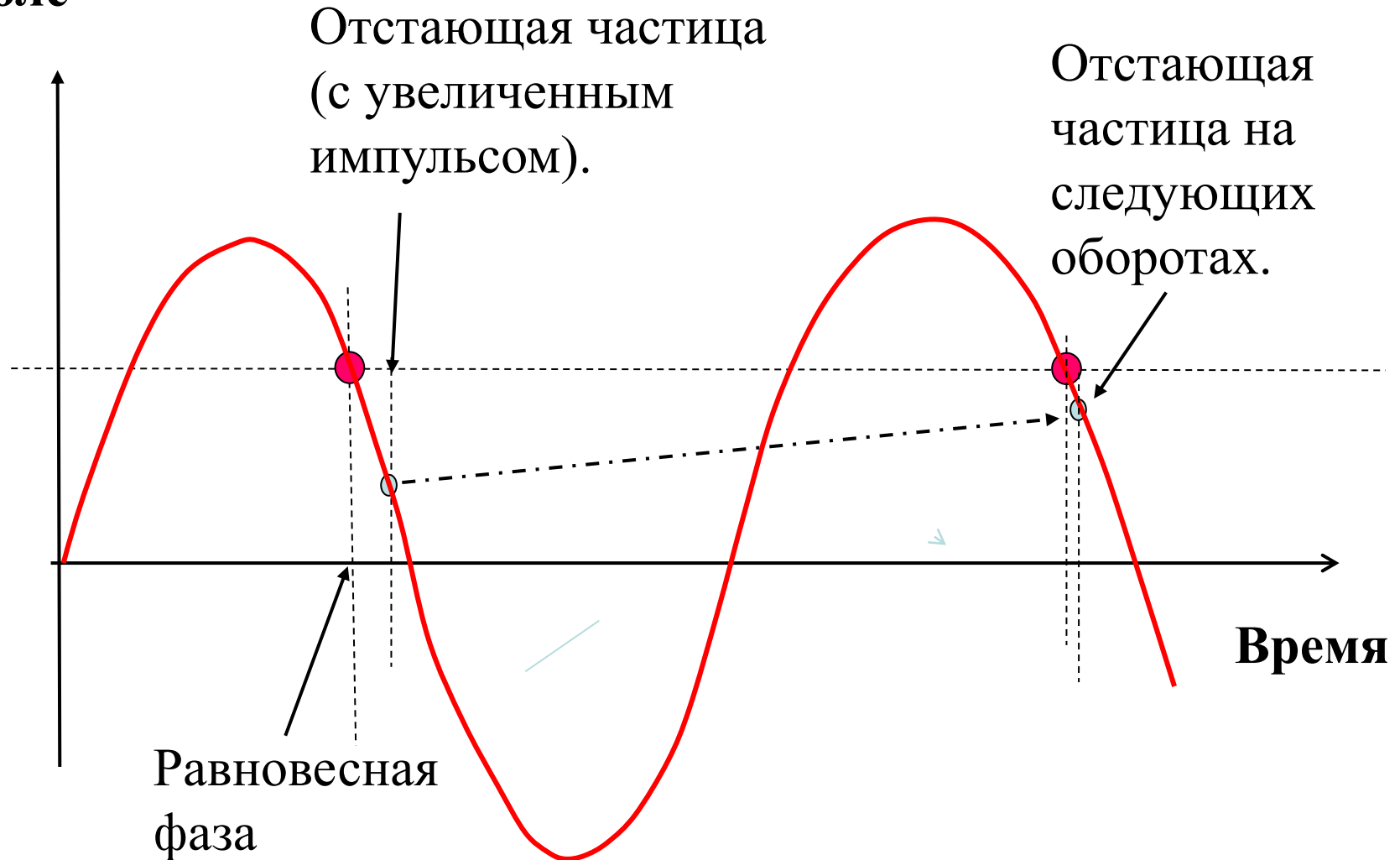
Рис. 1.3. Принципиальная схема синхротрона.


Принцип автофазировки



Принцип автофазировки

Ускоряющее поле





Методические
и физические
исследования на
Синхротроне.

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 πp взаимодействия и дифференциального сечения πp 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.

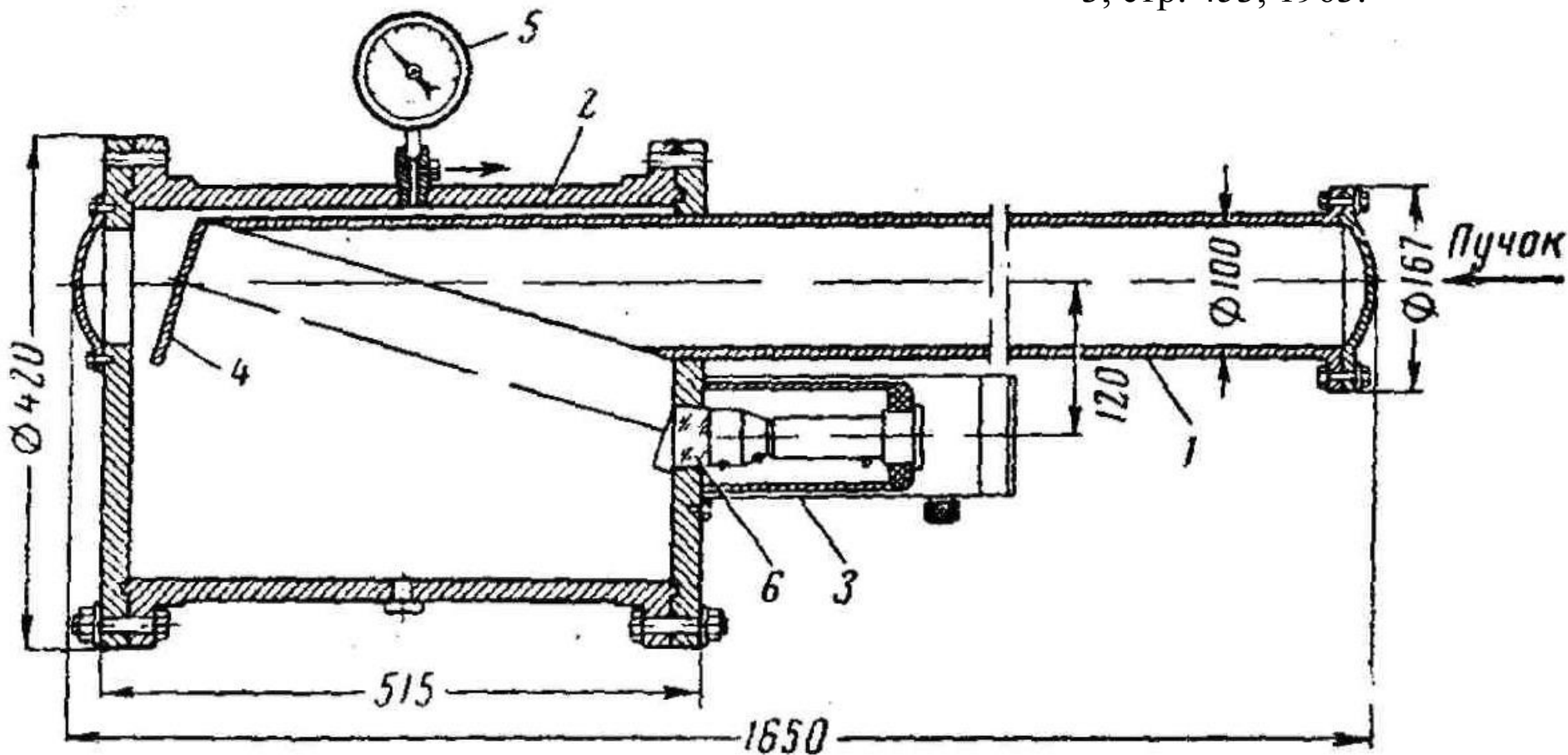
Струнов Л.Н. Упругое π p рассеяние на малые углы.

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

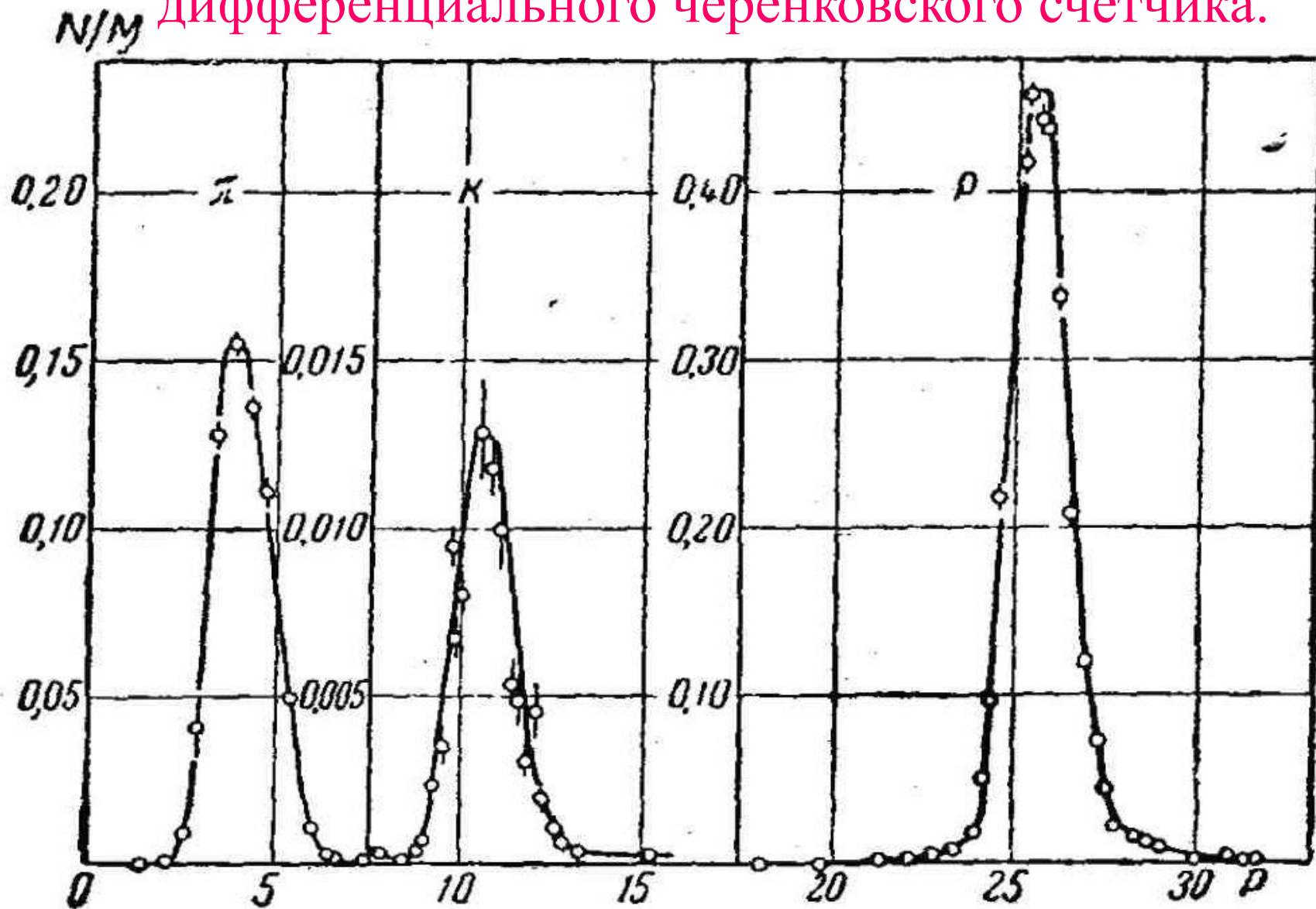
Толстов К.Д., Никитин В.А., Золин Л.С., Пилипенко Ю.К. Создание сверхзвуковой струйной газовой мишени.

Газовый дифференциальный черенковский счётчик.

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

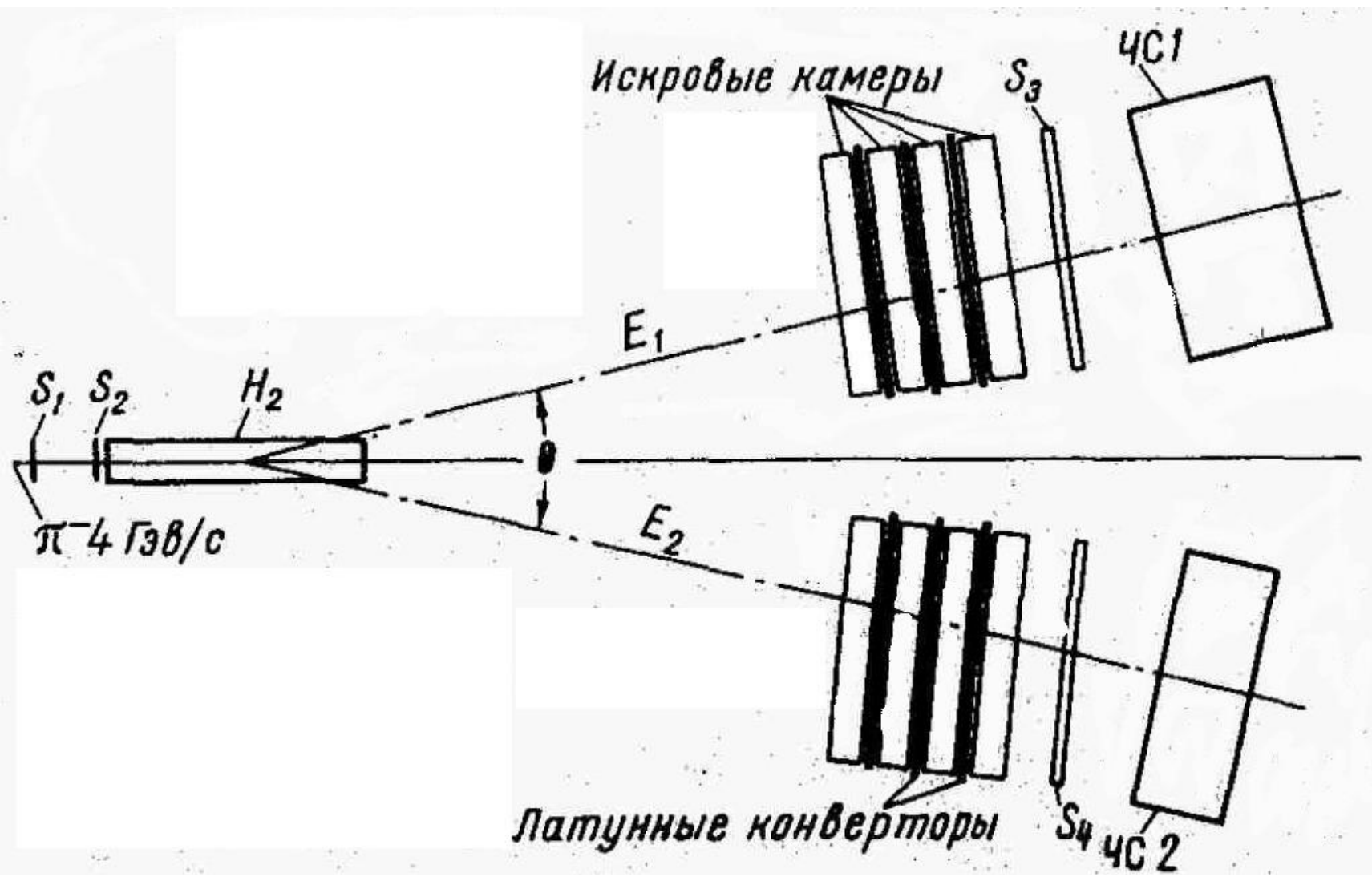


Идентификация π , K и ρ с помощью
дифференциального черенковского счётчика.



Давление газа, атм.

Схема черенковского спектрометра электронов и фотонов «Фотон».



Черенковский спектрометр электронов и фотонов «Фотон».



Основной результат – открытие распада векторных мезонов ρ , ω , ϕ на (e^+, e^-) пару.

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

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

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

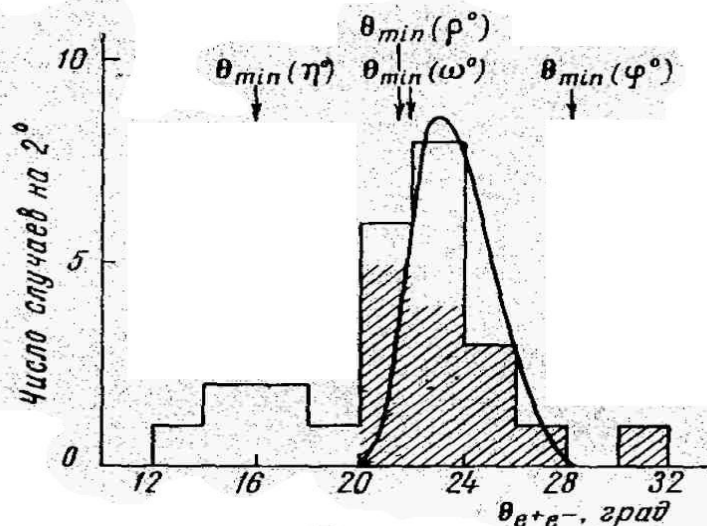


Рис. 3

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 ω^0 -мезонов. Заштрихованные части — случаи, удовлетворяющие кинематике распада ρ^0 , ω^0 и ϕ^0

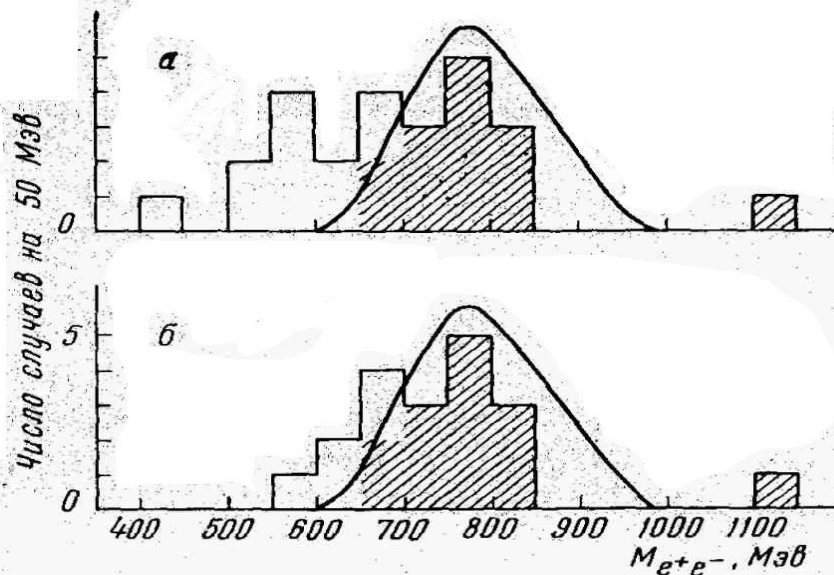


Рис. 4

Рис. 4. Распределения по эффективным массам: а — для 25 кандидатов в e^+e^- -пары, отобранных по фотографиям с искровых камер и энергии; б — 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 ω^0 -мезонов. Заштрихованные части — случаи, удовлетворяющие кинематике распада ρ^0 , ω^0 и ϕ^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.

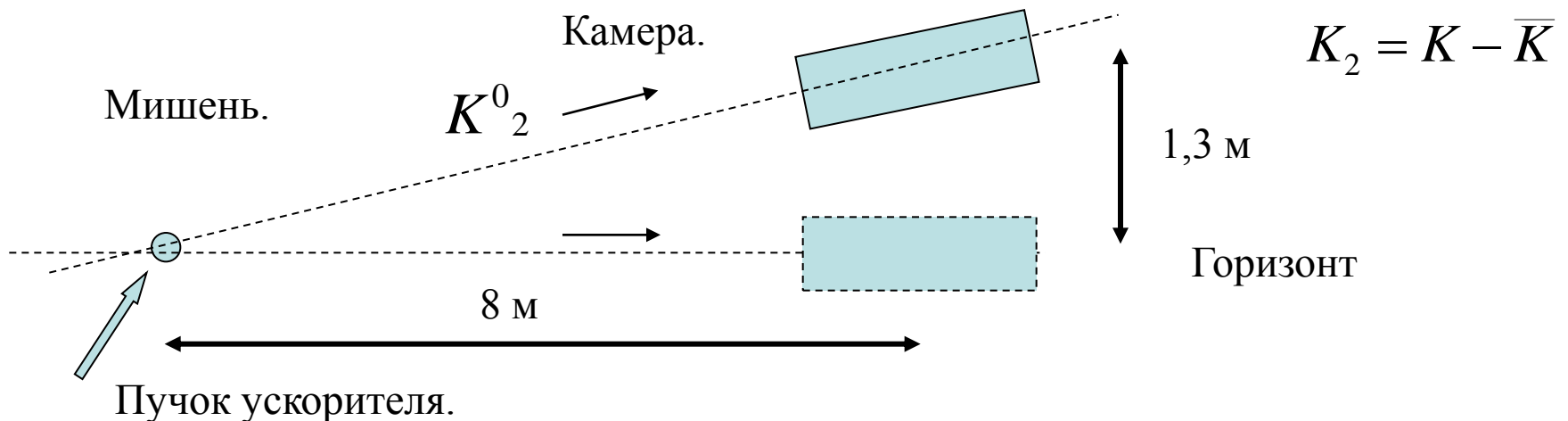
Исследования распадов K^0 – мезонов на камерах Вильсона.

- 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.

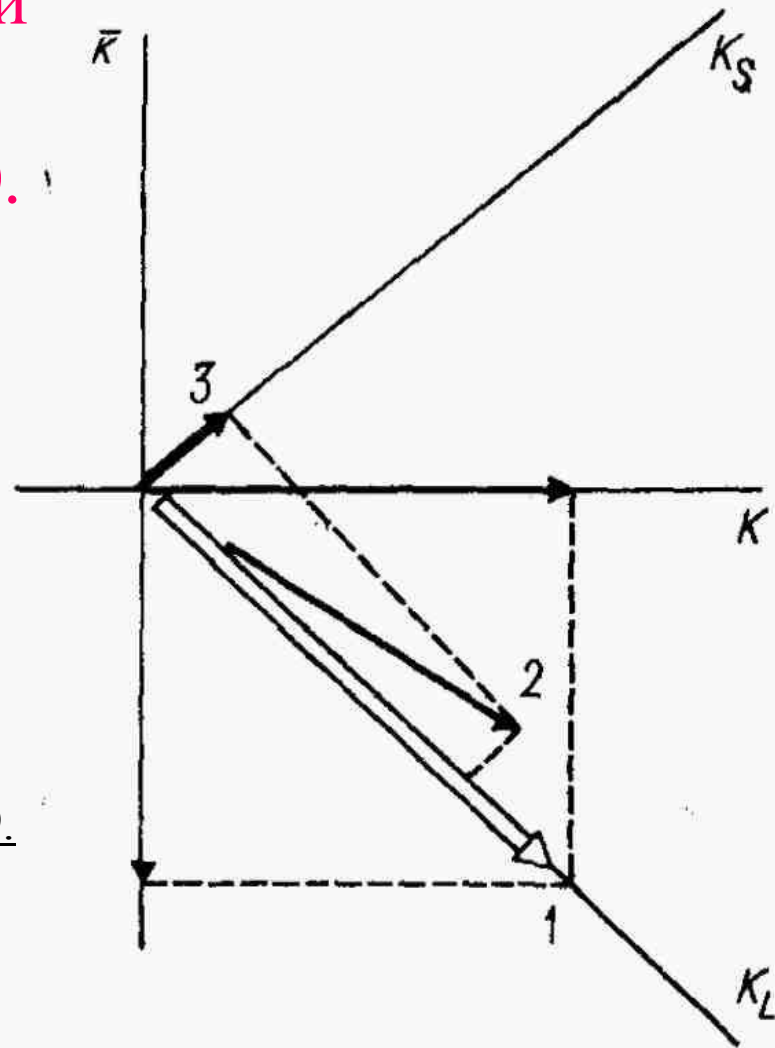
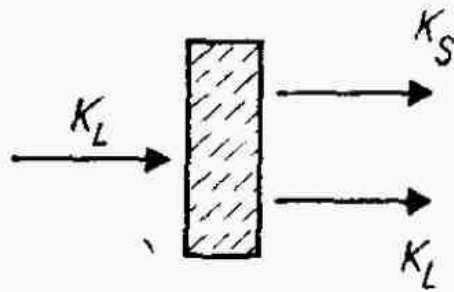
Э.Оконов, М.Подгорецкий,
О.Хрусталёв. Препринт ОИЯИ
Д-647, 1961 г.

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.»



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.

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

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

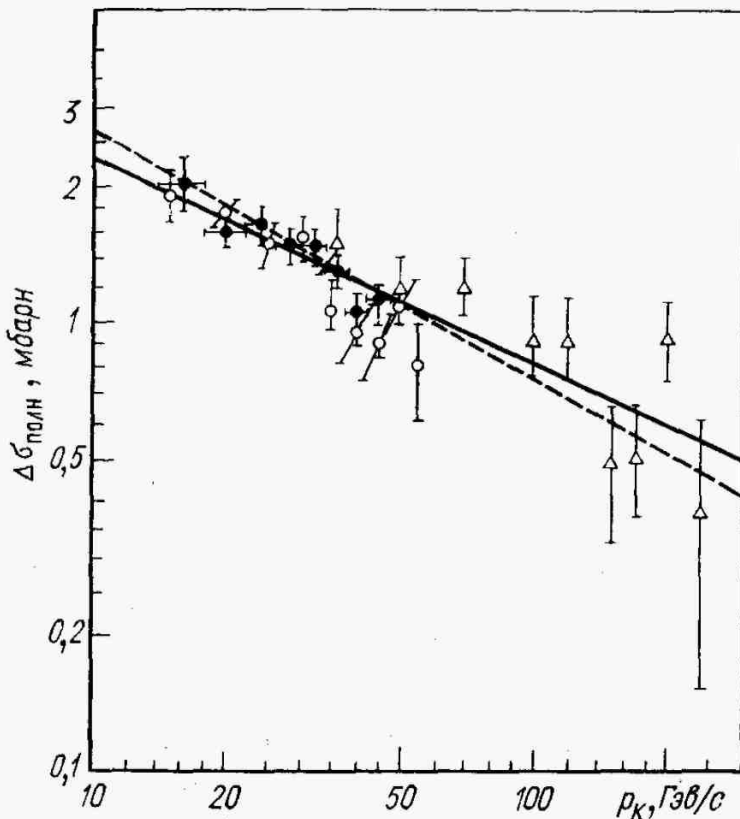


Рис. 14. Разность полных сечений взаимодействия каонов и антикаонов с нуклонами:

○ — 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:

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

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

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.



Ксеноновая пузырьковая камера.

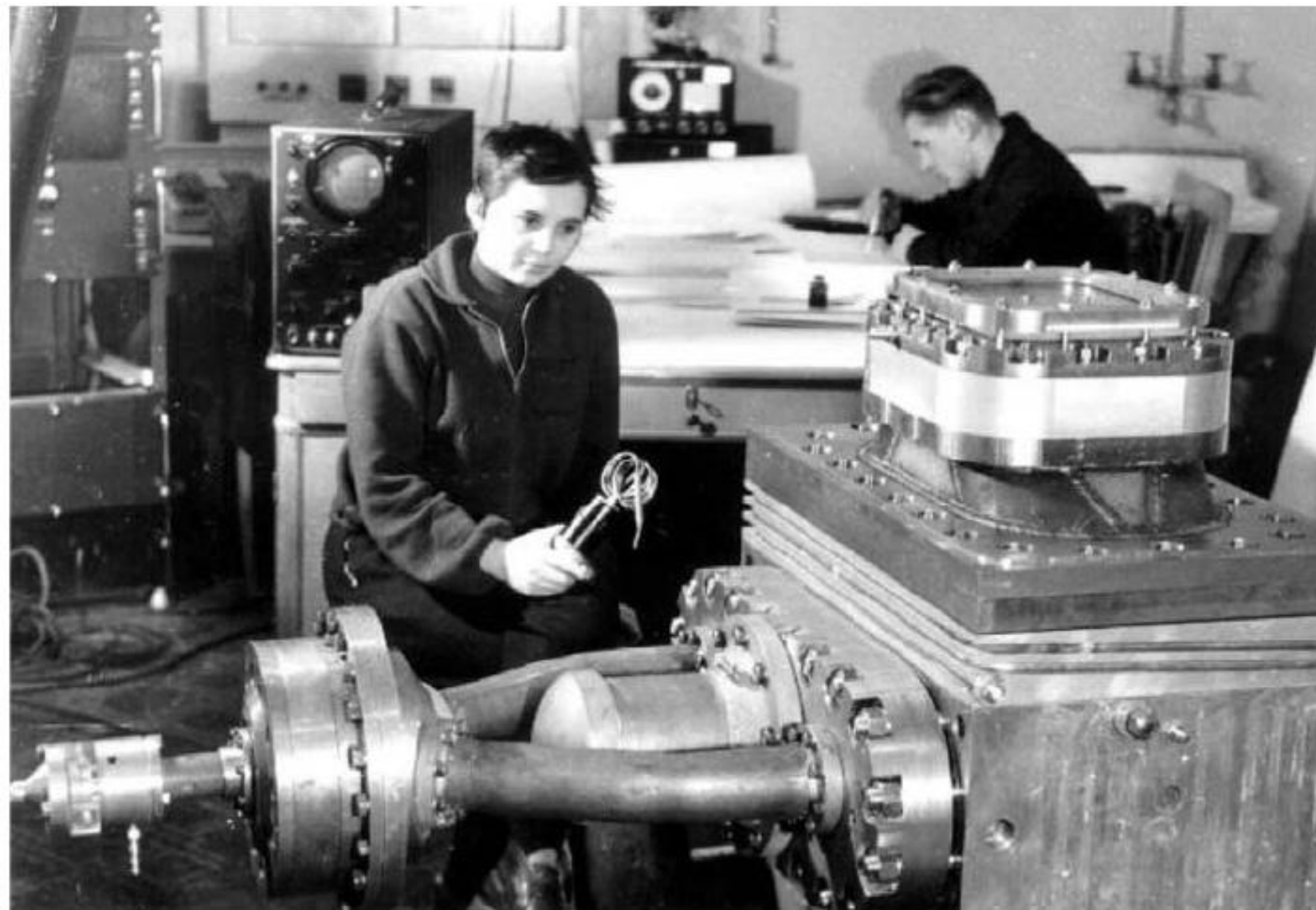
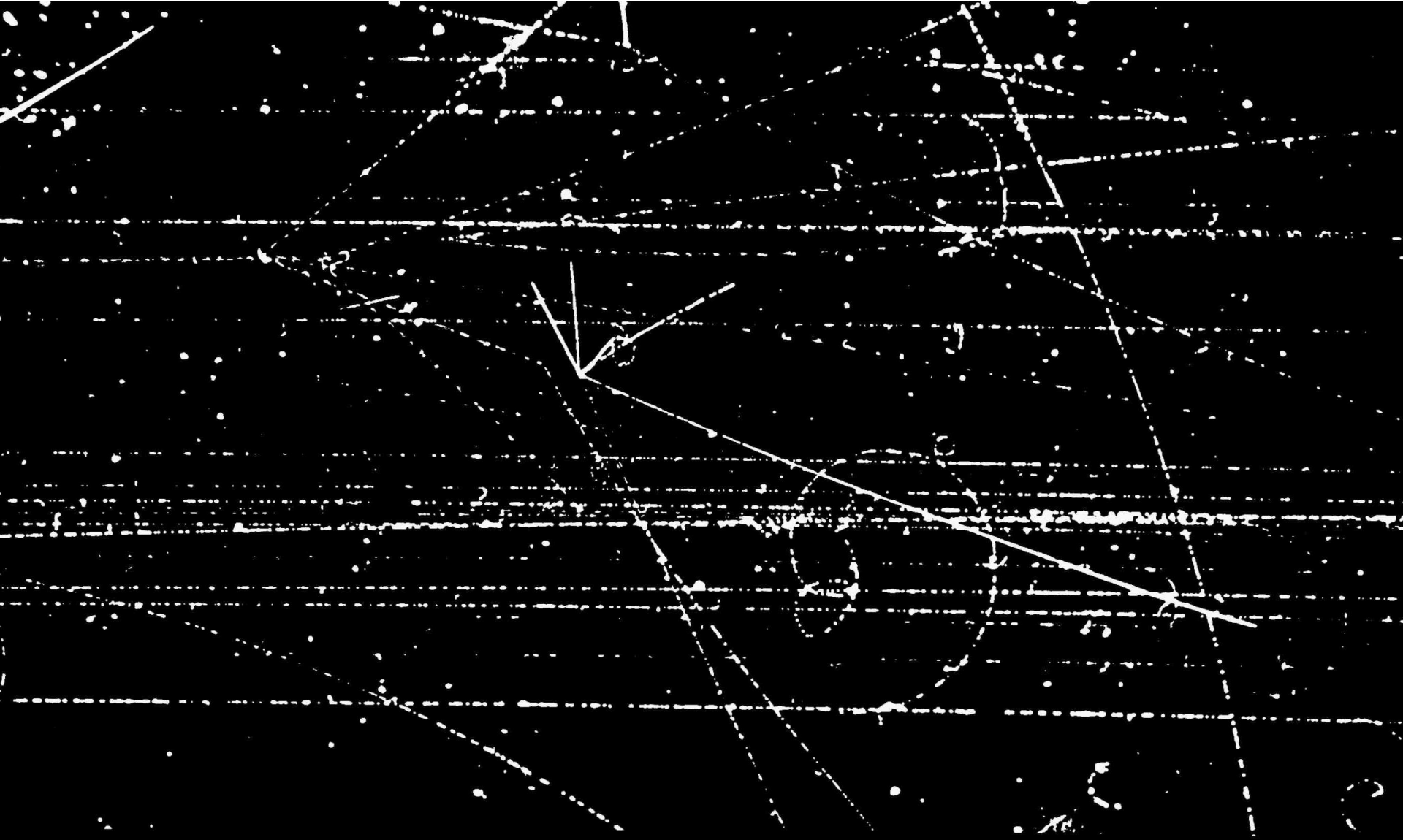


Фото 16. 50-см ксеноновая пузырьковая камера
на испытательном стенде

Некоторые результаты исследований на пузырьковых камерах.

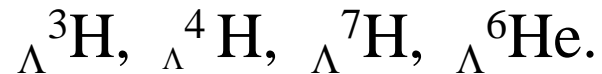
- Обнаружена инерция барионного заряда: в событиях pp и $p\bar{p}$ взаимодействия с множественностью пионов < 4 угловое распределение барионов в с.ц.м. резко анизотропно. В событиях с $n_\pi > 8$ наблюдается изотропия. Введено понятие области пионизации и фрагментации.
- Получены характеристики рождения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

Фото с 2 м пропановой камеры, ЛВЭ 1960 г.
Рождение анти - Σ^- .



Исследование гиперядер.

- Пучки релятивистских ядер ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$, ${}^{6,7}\text{Li}$.
- Измерены времена жизни и распадные характеристики гиперядер

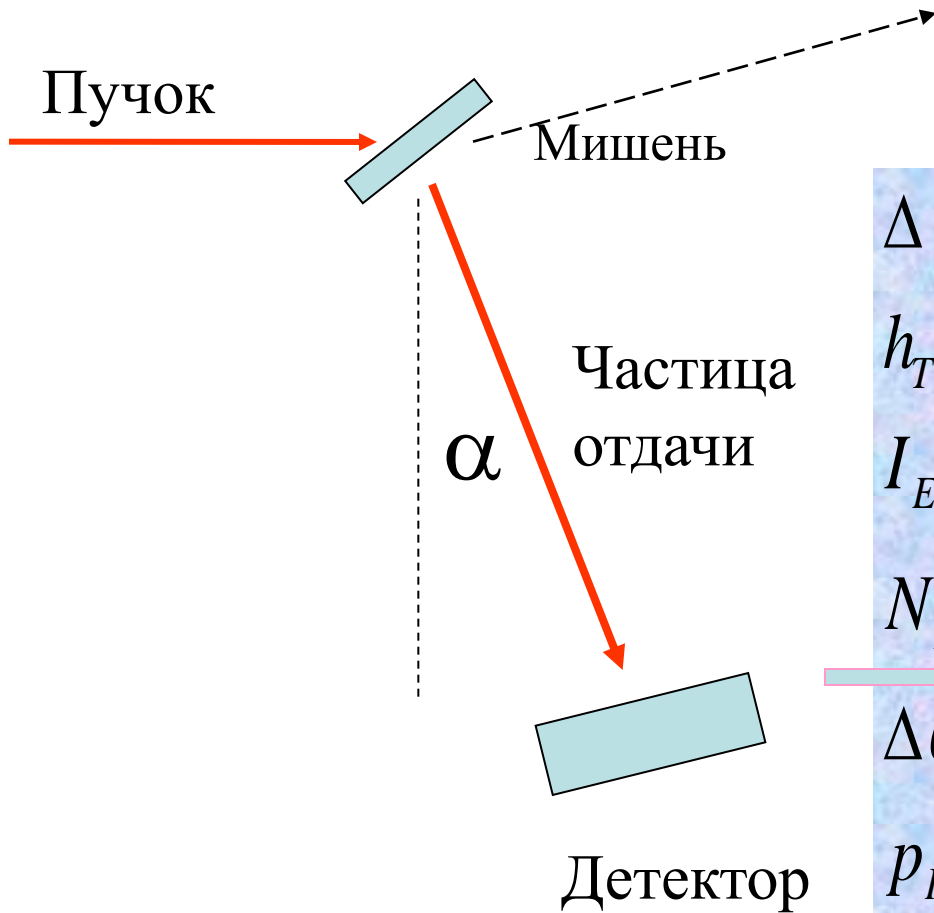


Типичная реакция: $\text{Li} + \text{C} = {}_{\Lambda}^4\text{H} + \text{X}.$



Исследование
упругого рассеяния
пионов и протонов.

Метод тонкой внутренней мишени



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

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

$$I_{EFF} = I_{ACC} \times N_{MULT TRAV};$$

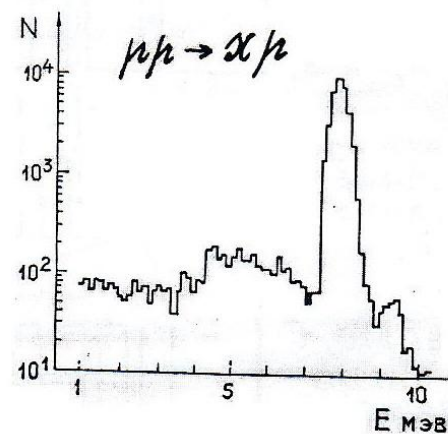
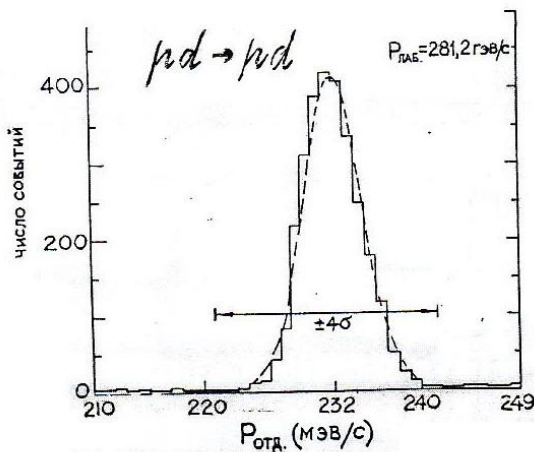
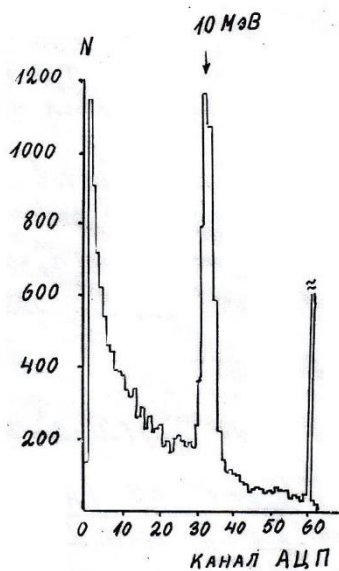
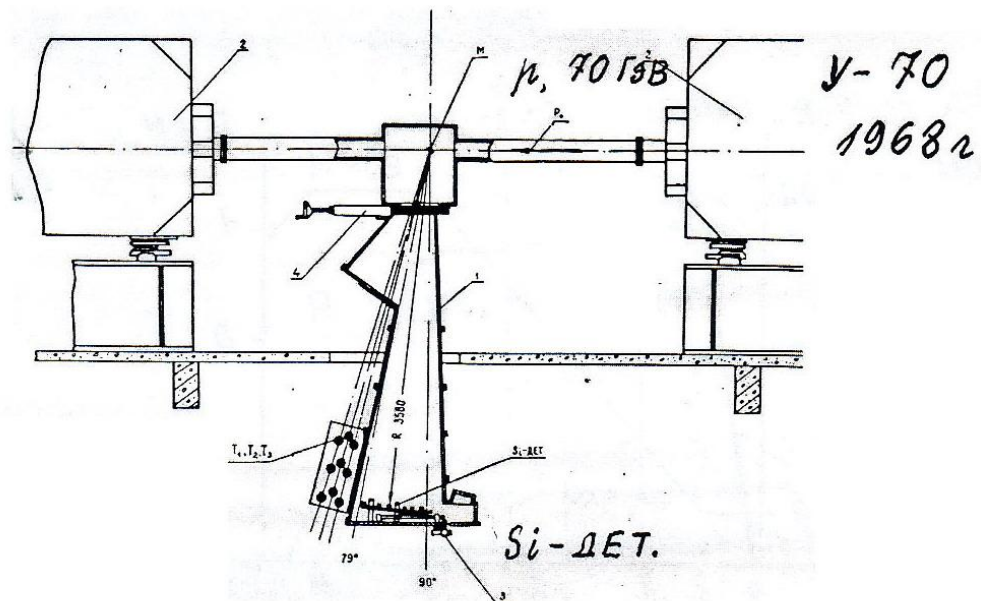
$$N_{MULT TRAV} \approx 10^5.$$

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

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

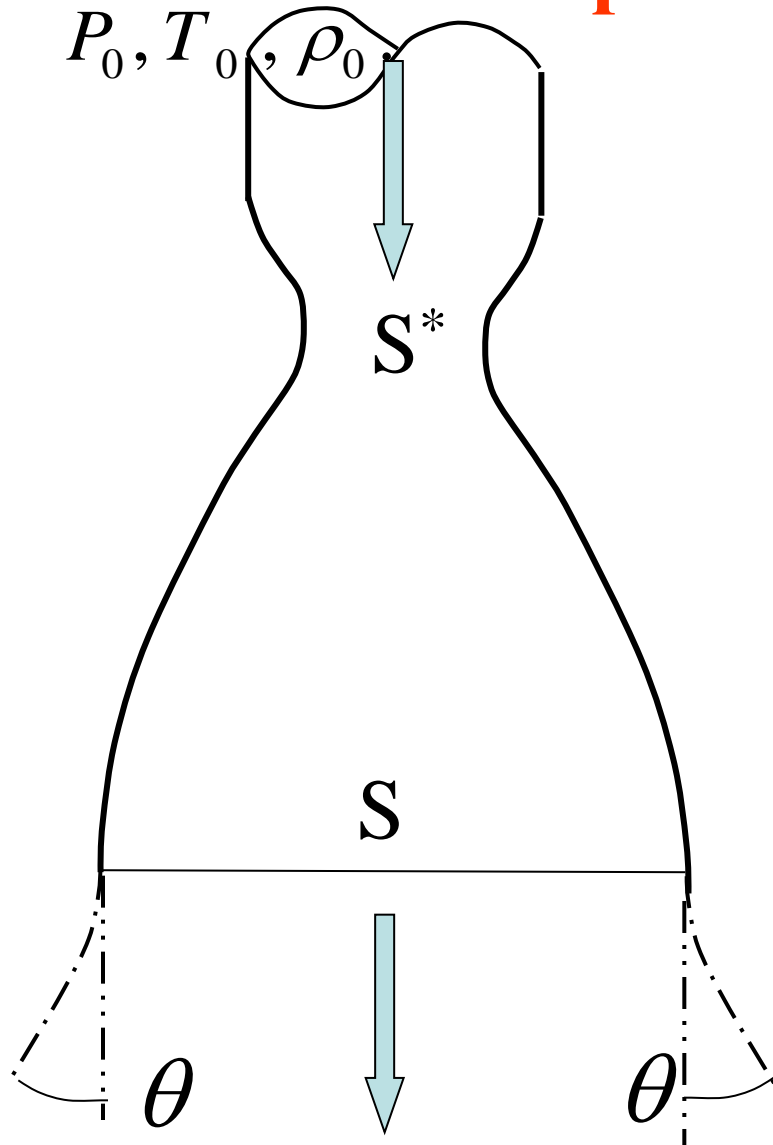
– *indep.* of energy.

Плёночная и струйная мишени во внутреннем пучке



Энергетический спектр частиц, зарегистрированный ППД с мишени CH_2 , облучаемой пучком протонов 17 ГэВ.

Принцип работы сопла Лаваля.



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

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

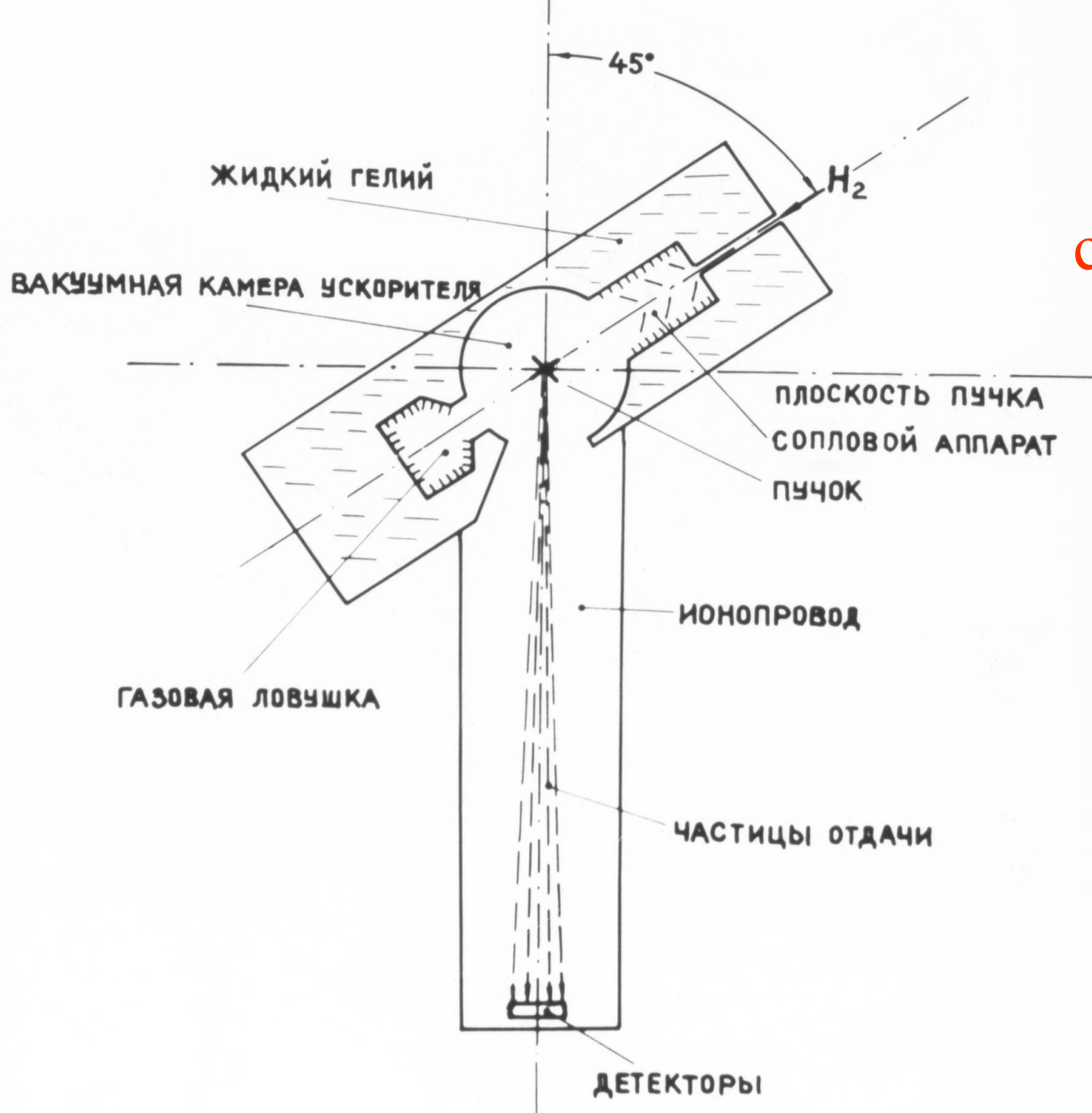
$$a = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\gamma RT}$$

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

$$V_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma - 1} RT_0}$$

M	ρ / ρ_0	T/T ₀	P/P ₀	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.

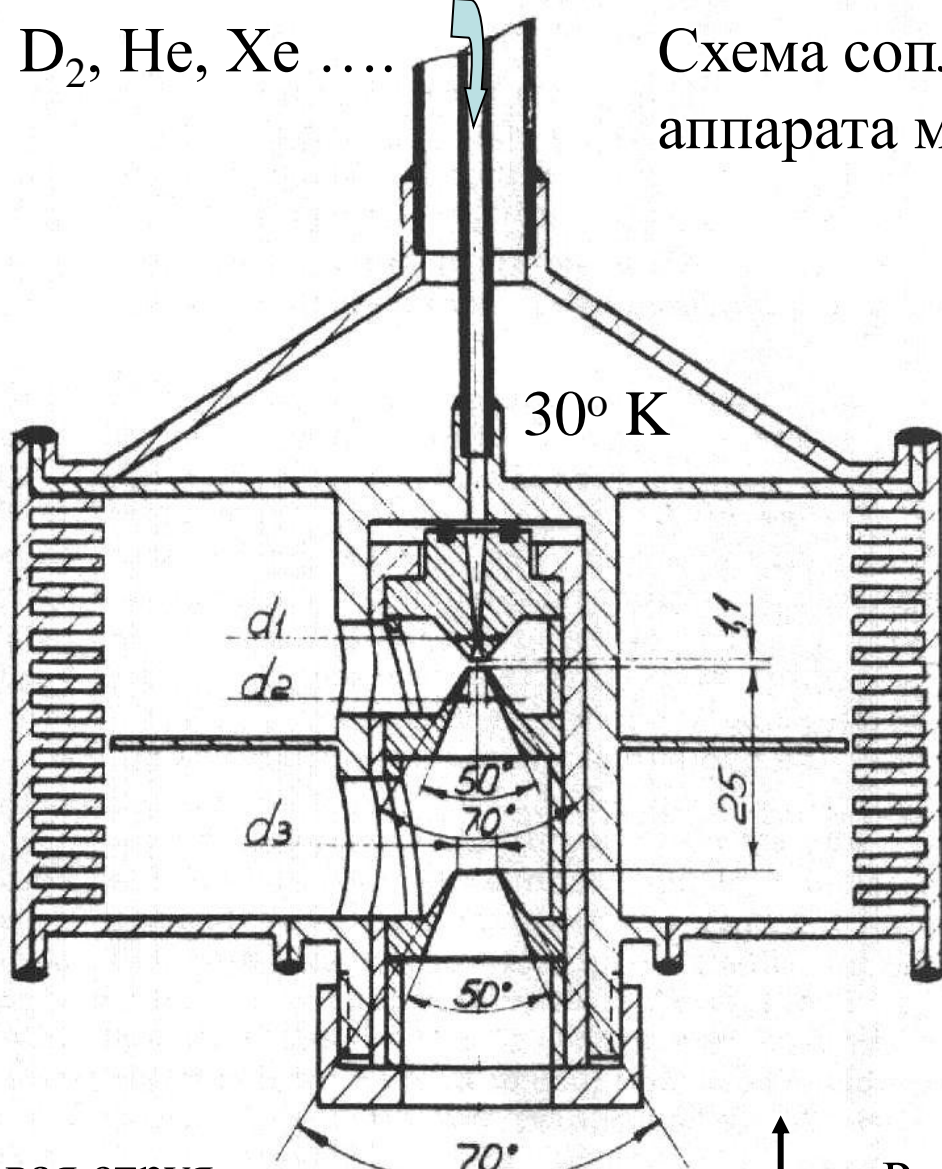


$H_2, D_2, He, Xe \dots$

Схема соплового аппарата мишени.

Струйная газовая
сверхзвуковая
мишень
в вакуумной камере
циклического
ускорителя.

4° К



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

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

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

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

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

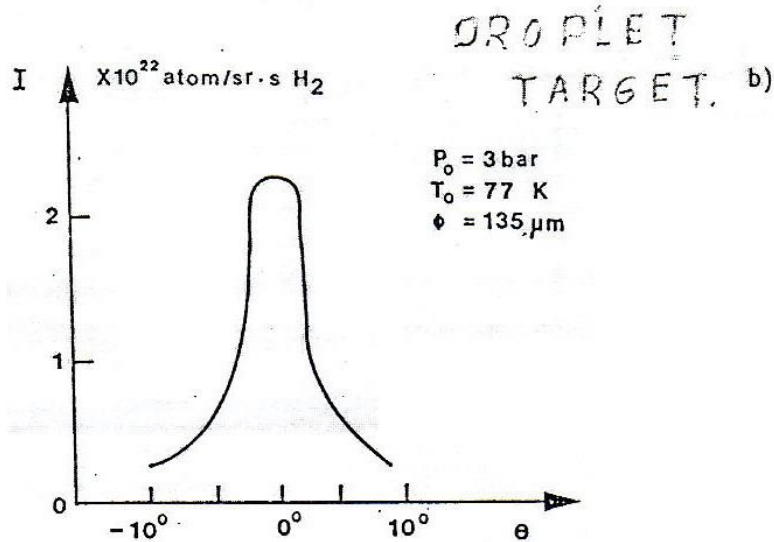
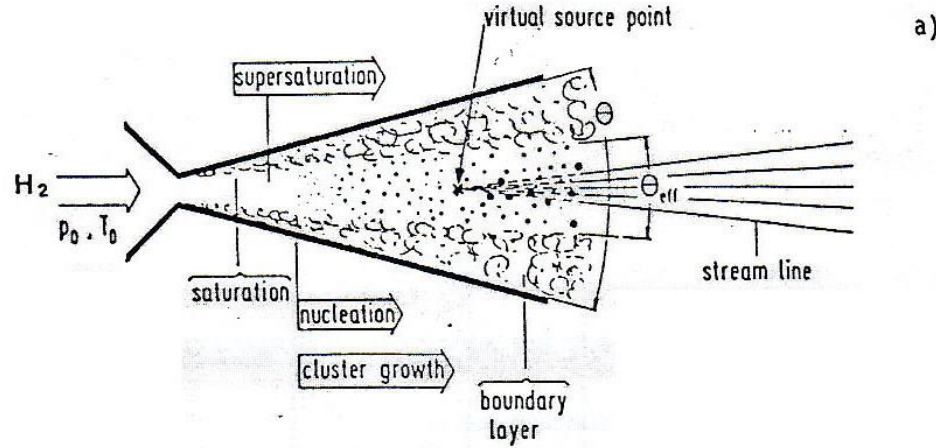
Расстояние от сопла до
пучка 50 мм

Пучок ускорителя

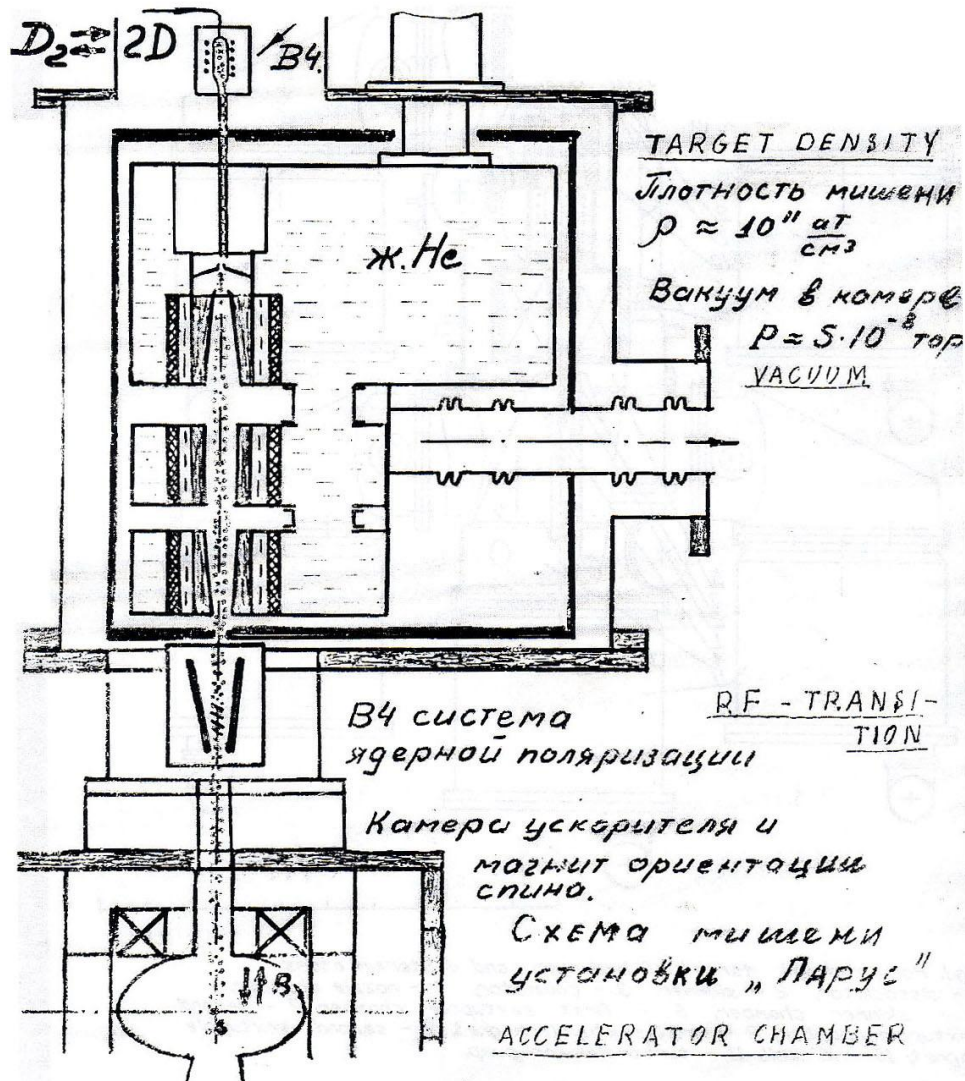
CERN ISR, SPS.

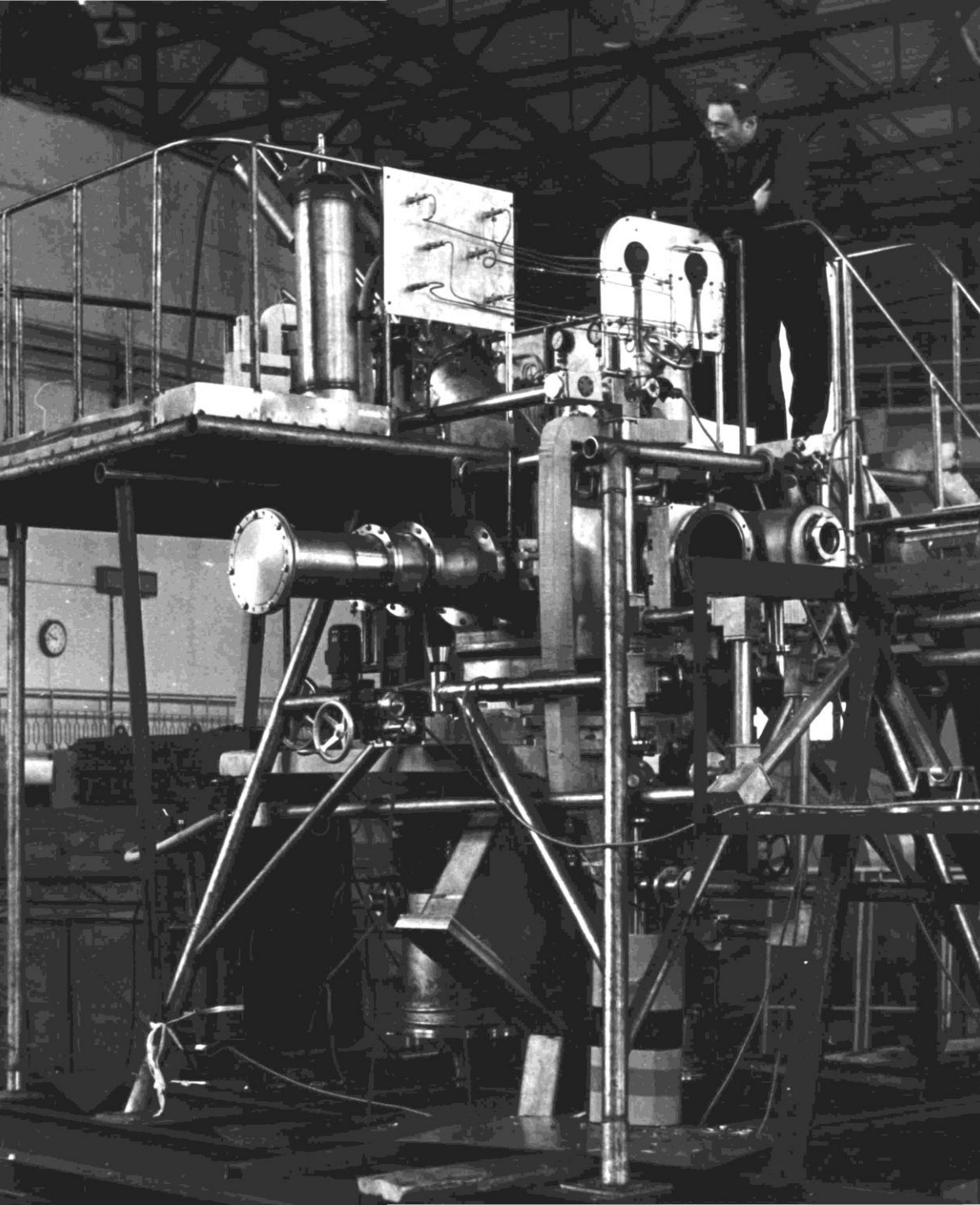
84

Сопловой аппарат
на SPS
в ЦЕРН



Струя поляризованного водорода

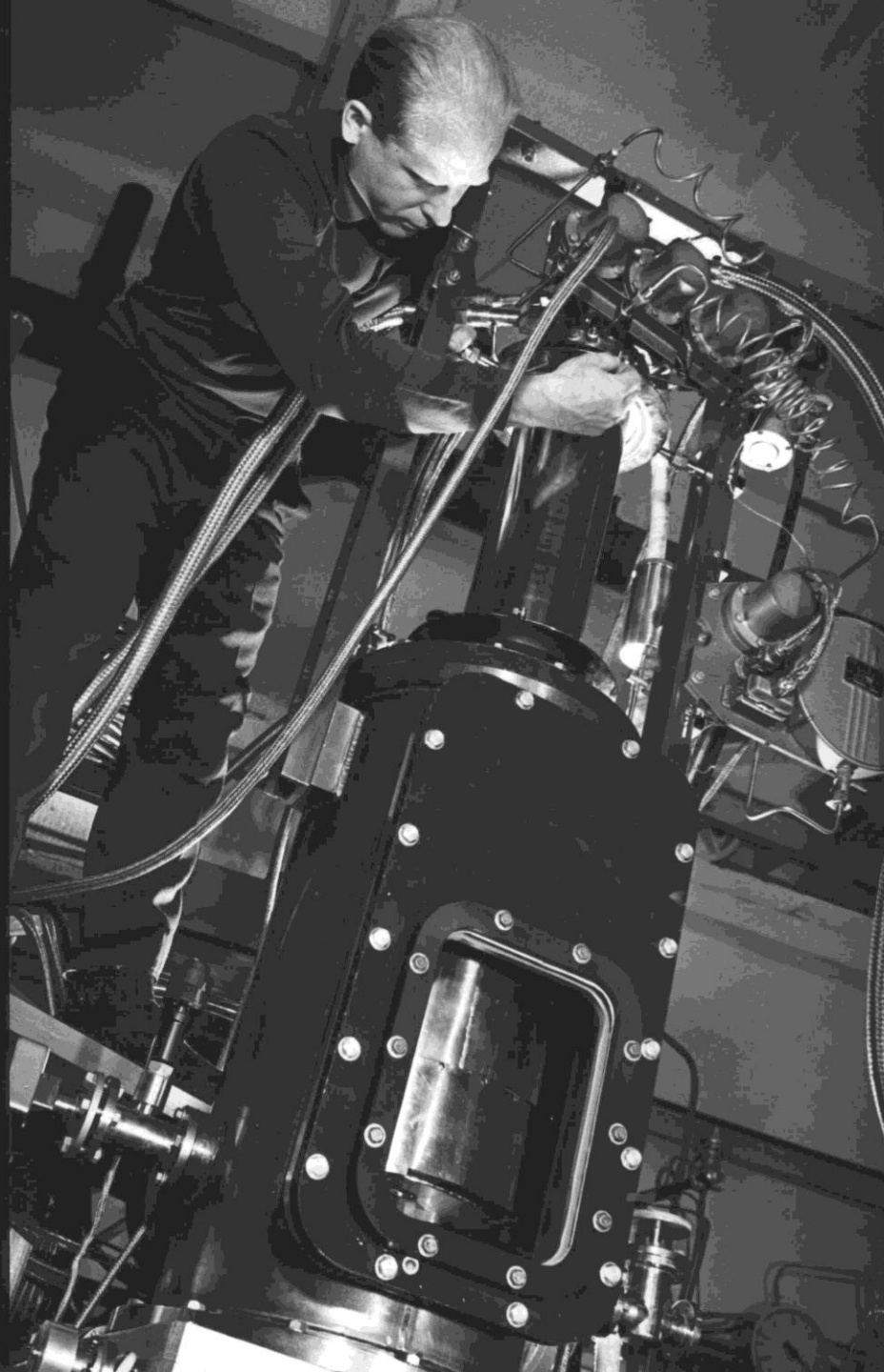




Установка со
струйной мишенью
на сборочном стенде
в ЛВЭ (На капитанском
мостике А.Г.Зельдович).



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



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

Формулировка задачи о рассеянии частиц

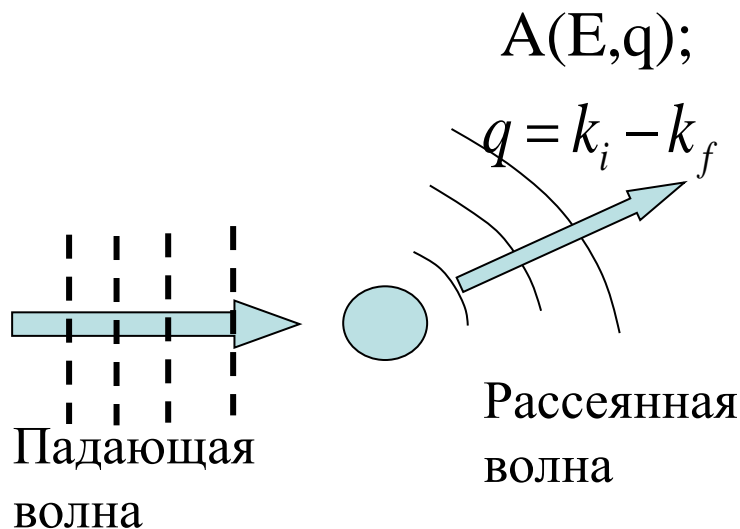
$$\psi = \exp(ik_i r) + A(k_f, k_i) \frac{1}{r} \exp(ik_f r).$$

Падающая волна

Рассеянная волна

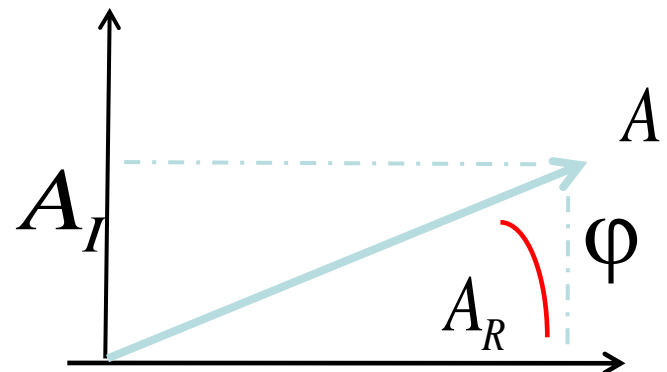
A – амплитуда рассеяния – комплексная величина.

В нерелятивистском случае она находится путём решения уравнения Шредингера для заданного потенциала взаимодействия.



$$A(q) = -\frac{1}{4\pi} \frac{2m}{\hbar^2} \int_V e^{iqr} U(r) dv$$

$$U = U_R + iU_I; \quad A = A_R + iA_I.$$

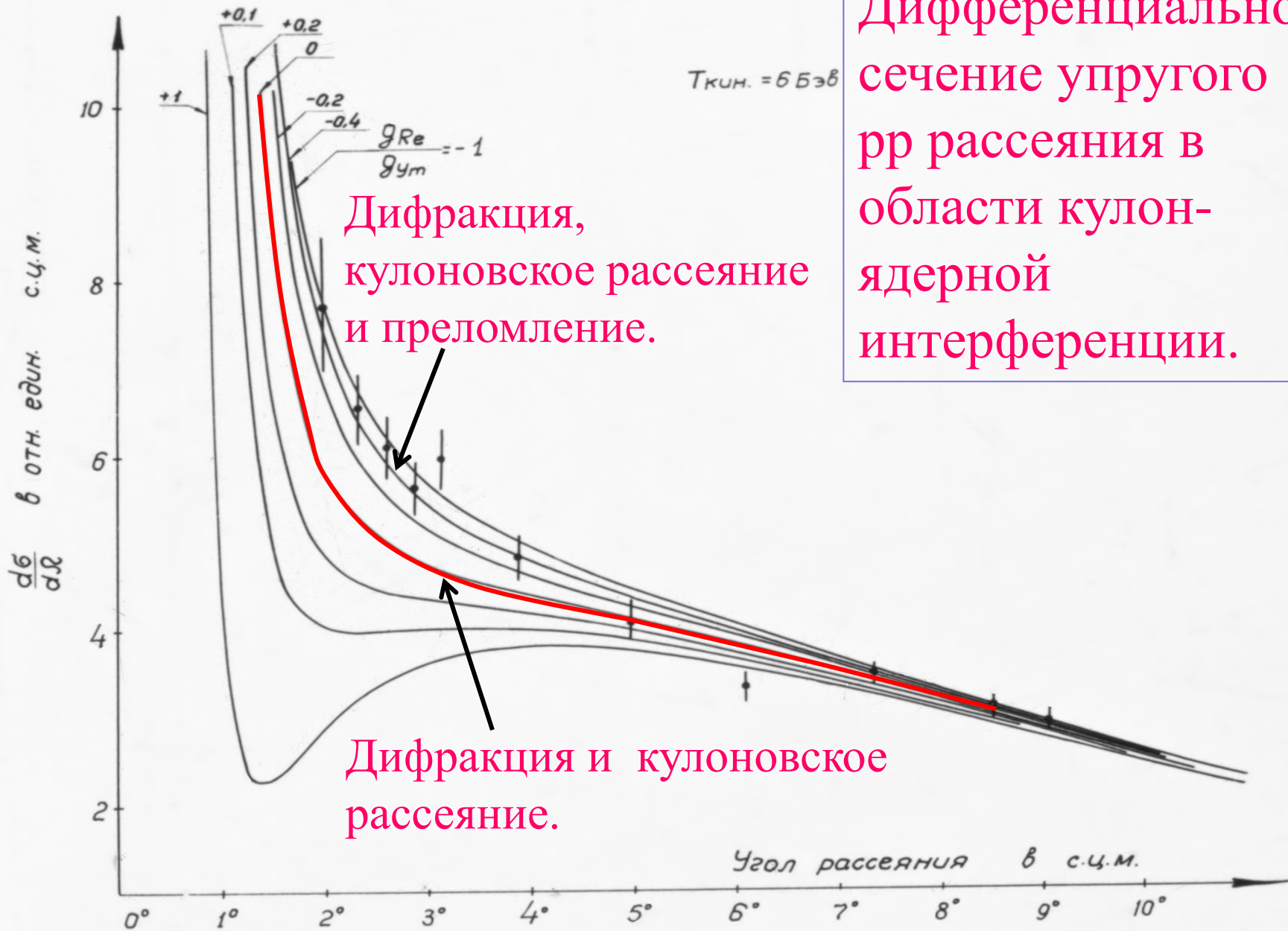


Интерференция волн от кулоновского и ядерного рассеяний.

$$\frac{d\sigma}{dt} = |iA_I + A_R + A_C|^2 = A_I \cdot (1 + \rho^2) + 2A_R A_C + A_C^2.$$

$$A_I = \sqrt{O} \cdot \exp(b \cdot t / 2); \quad A_R = \rho \cdot A_I.$$

$$A_C = \frac{2\alpha \sqrt{\pi h}}{t}, \quad \alpha = \frac{1}{137}.$$

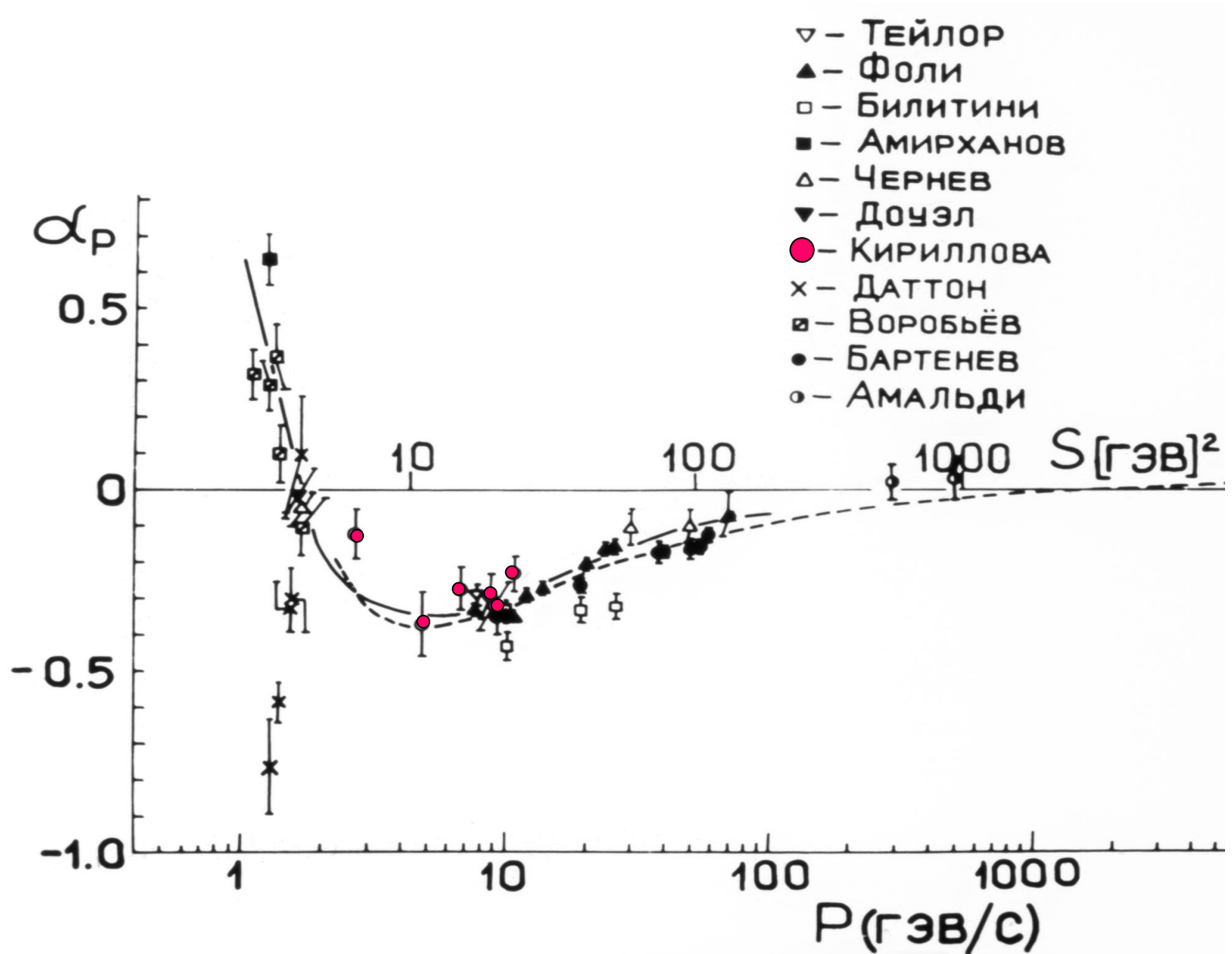


Дифференциальное сечение упругого pp рассеяния в области кулон-ядерной интерференции.

Дифракция, кулоновское рассеяние и преломление.

Дифракция и кулоновское рассеяние.

Действительная часть амплитуды pp рассеяния.



Дифракция на диске

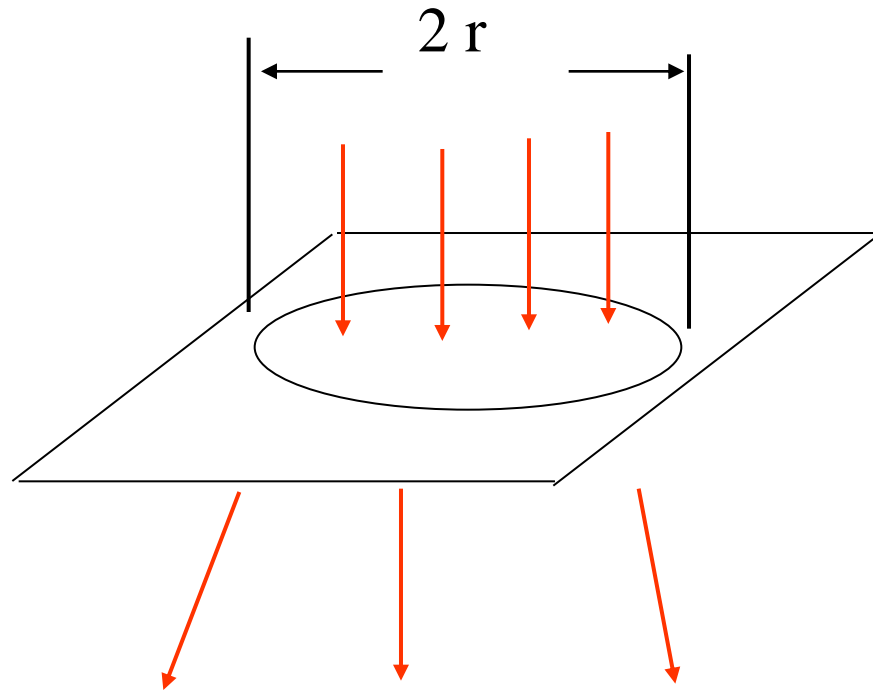
$$A = Cr \frac{J_1(rq)}{rq} \approx$$

$$\left[J_1(2x) \approx x \exp(-x^2) \right] =$$

$$r \exp\left(\frac{bt}{2}\right); \quad t = -q^2;$$

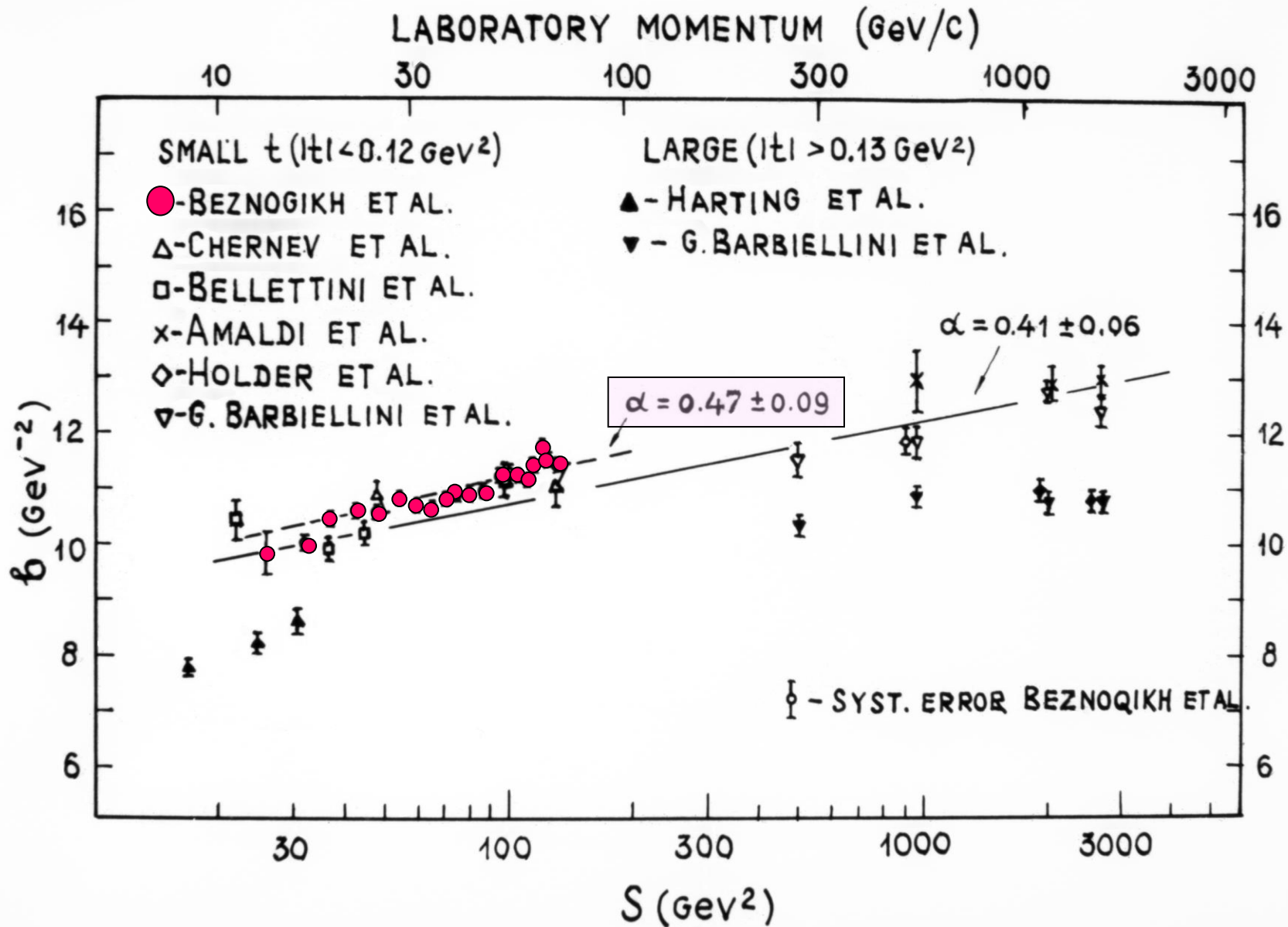
$$b = \frac{r^2 h^2}{2};$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = A^2 = Cr^2 \exp(bt).$$



b называется параметром наклона дифракционного конуса.

История измерения b -параметра упругого pp рассеяния.



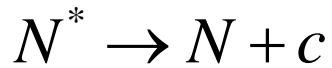
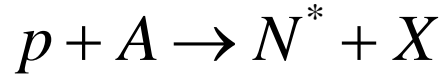
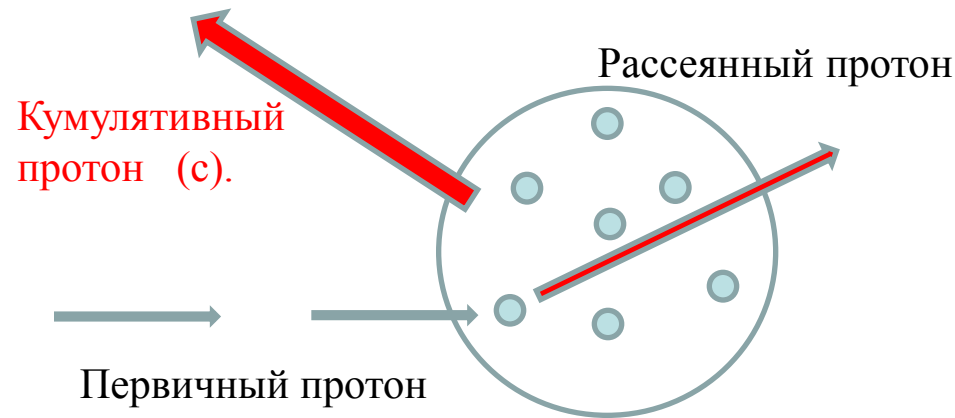
И.В.Чувило и Л.Н.Струнов на установке с камерой Вильсона.



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

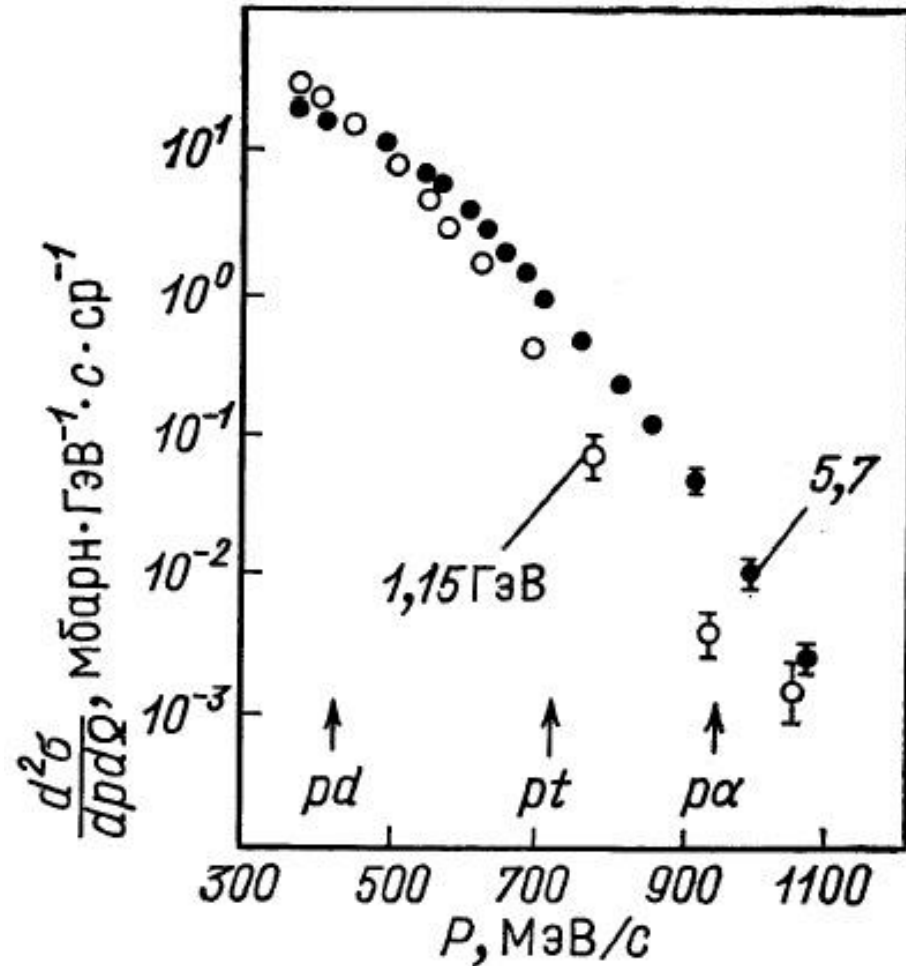
Кумулятивный эффект:

в pA или AA взаимодействиях образуются частицы в кинематической области, запрещённой для NN взаимодействия.



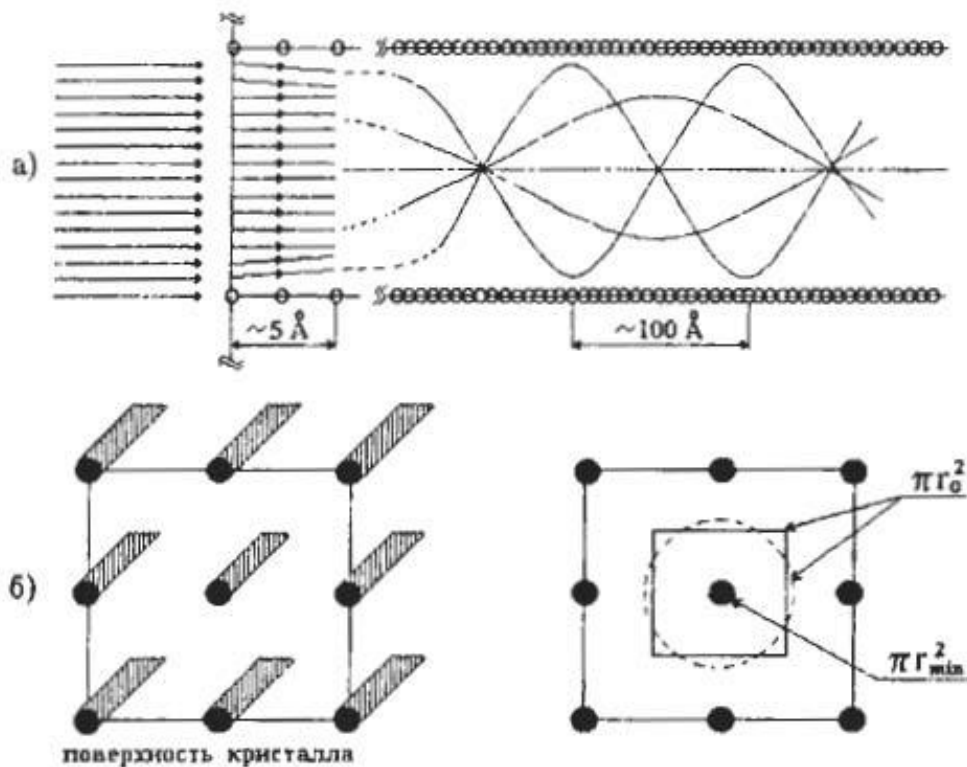
$$N_{\min} = Q = E_c - P_c \frac{\cos \theta_c}{m}$$

Q – кумулятивное число.



Спектр протонов в реакции p+C=p+X, наблюдаемый под углом 137 град.

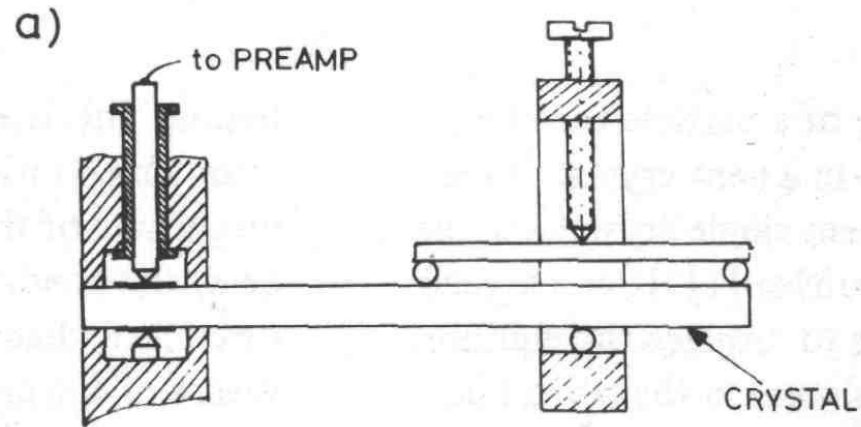
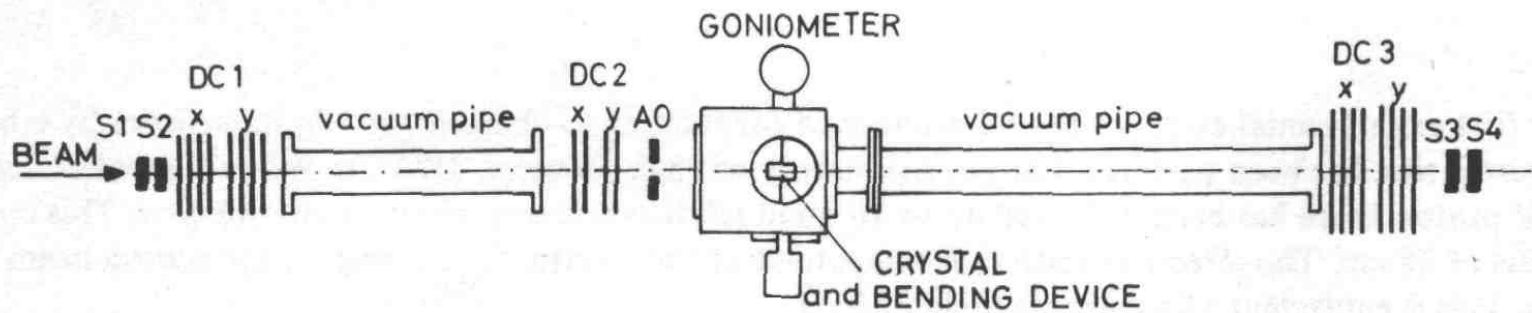
Управление пучком заряженных частиц с помощью изогнутого кристалла.

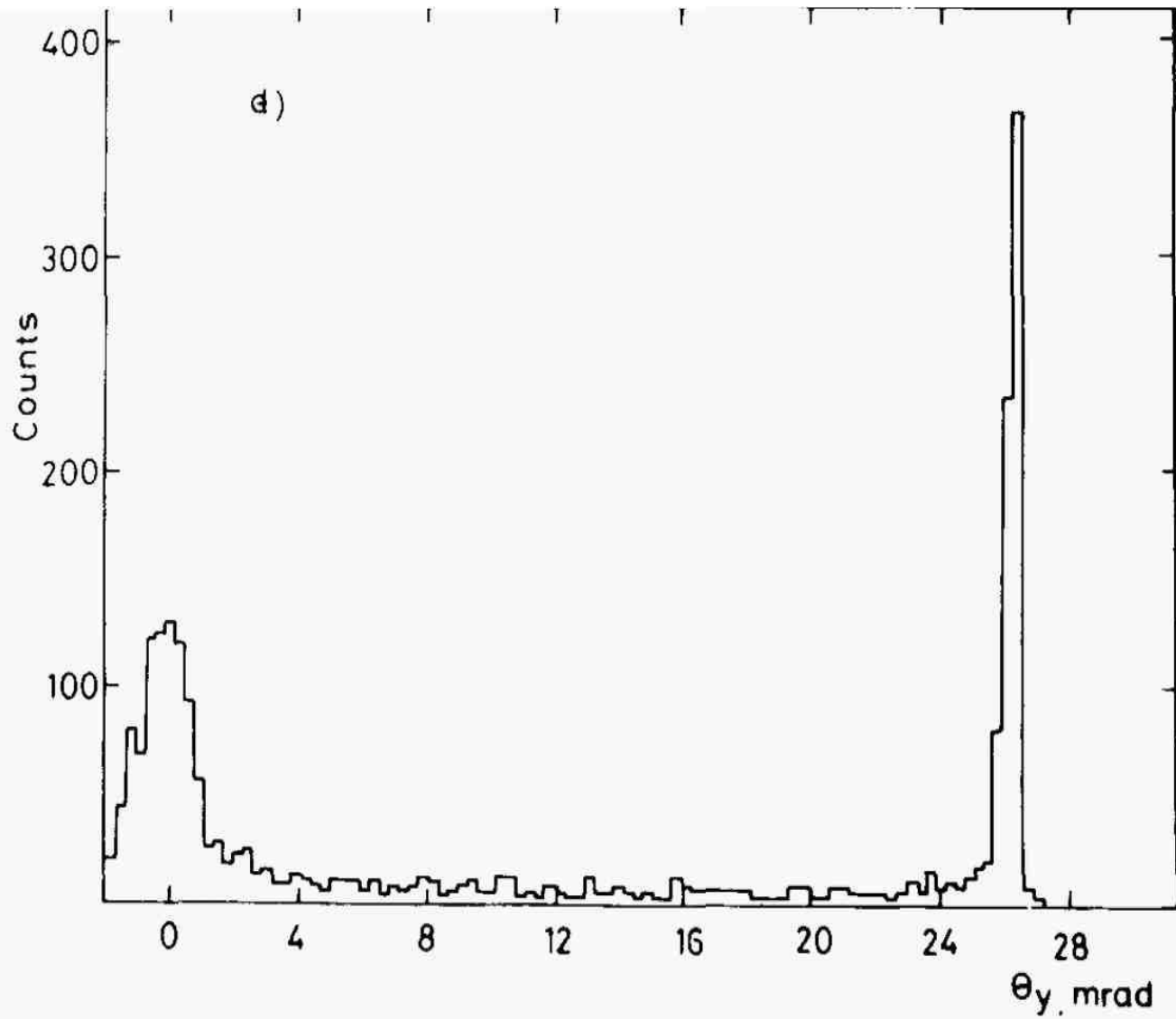


юстрация процесса каналирования (а) и вид спереди л (б).

длюстрирует процесс каналирования в котором час

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





... 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.

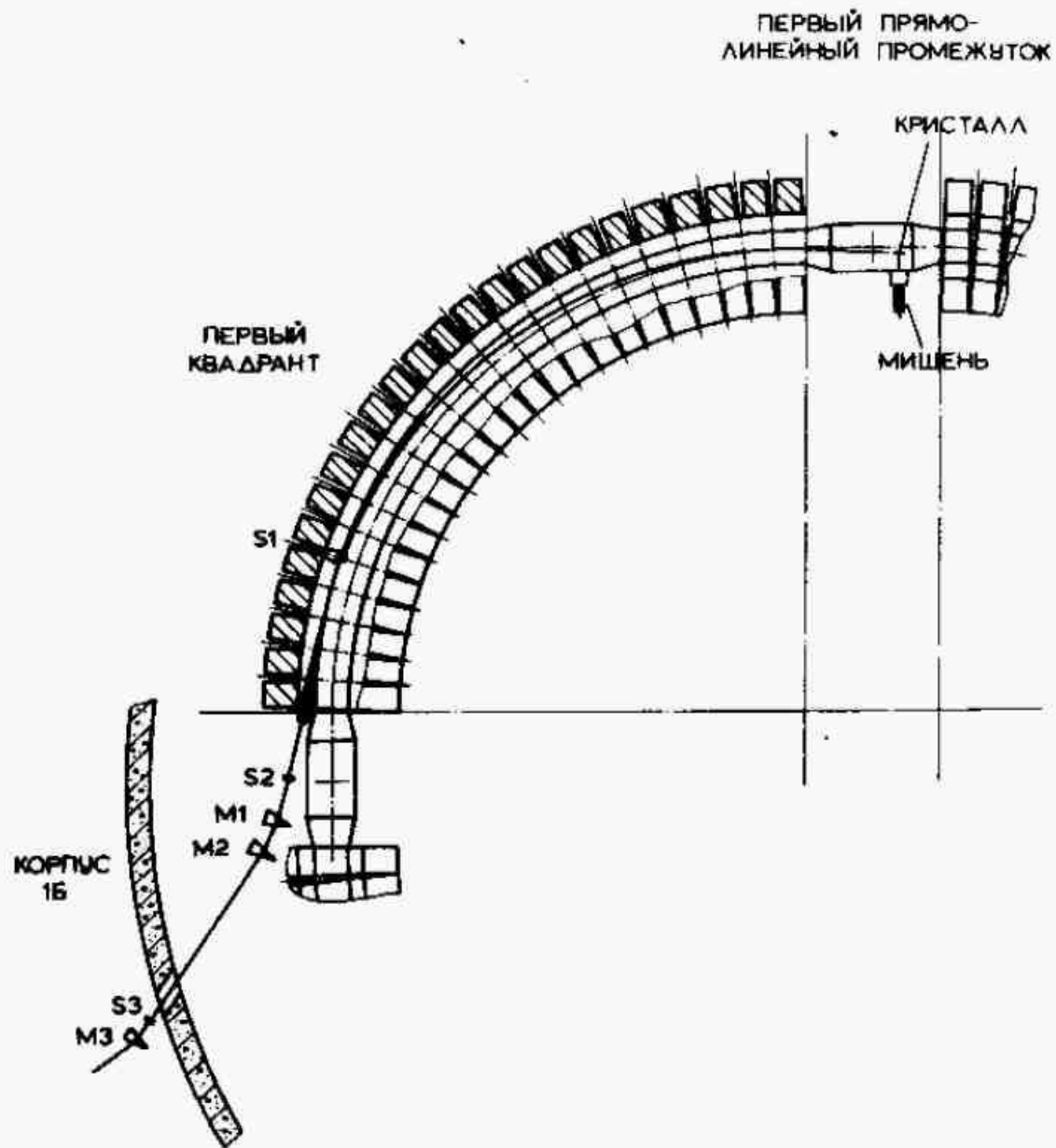
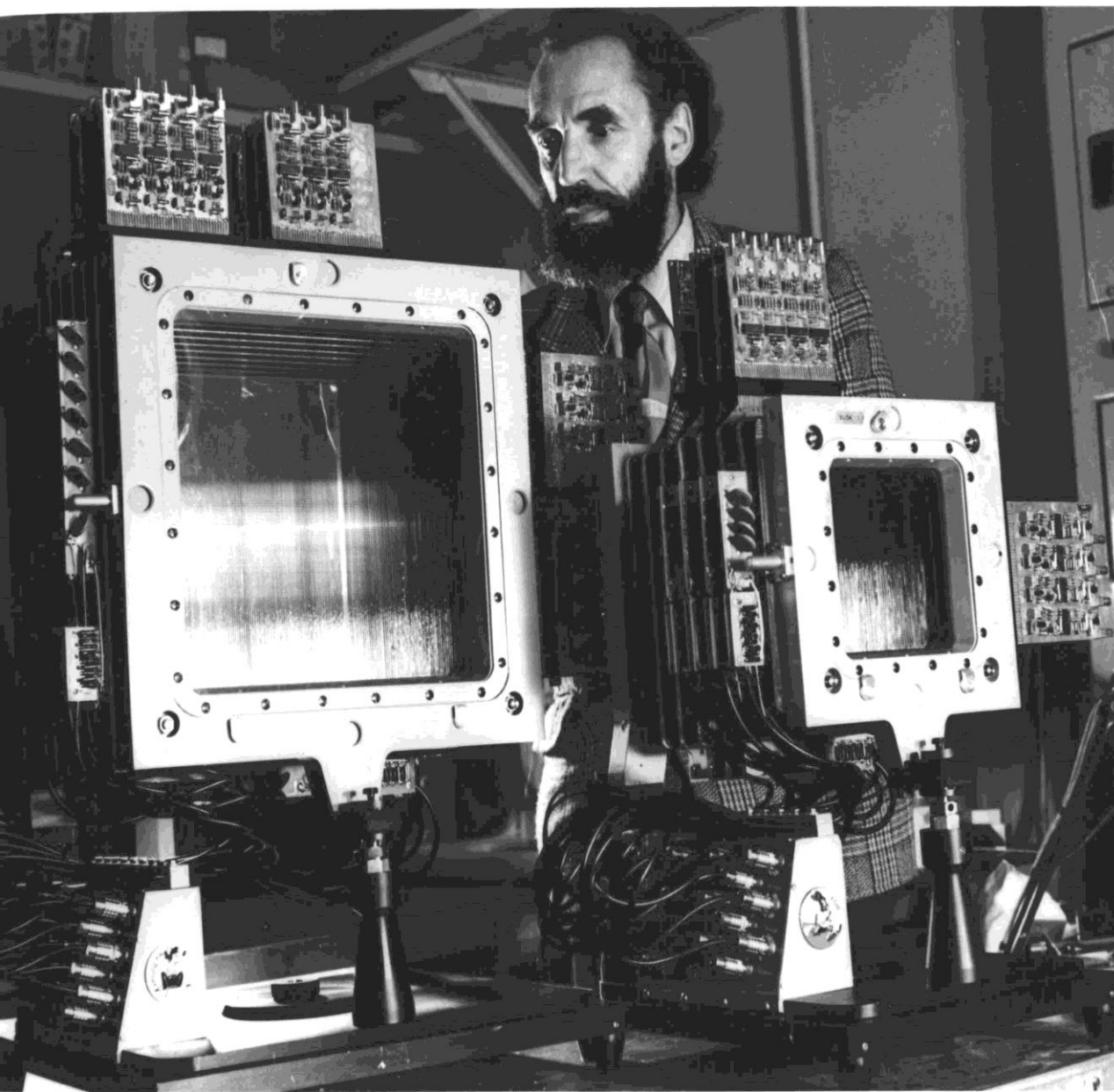


Схема вывода пучка из СФ с помощью изогнутого кристалла.



Дрейфовые
камеры
установки
«Кристалл»

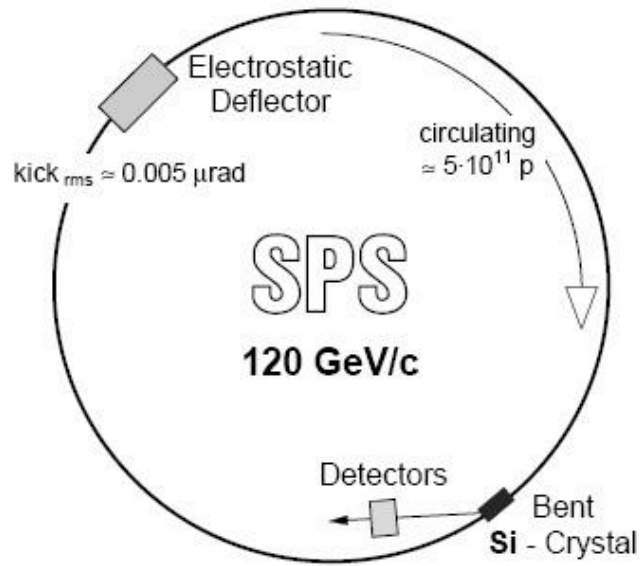


Fig. 5. The principle of the SPS extraction experiments with a bent crystal

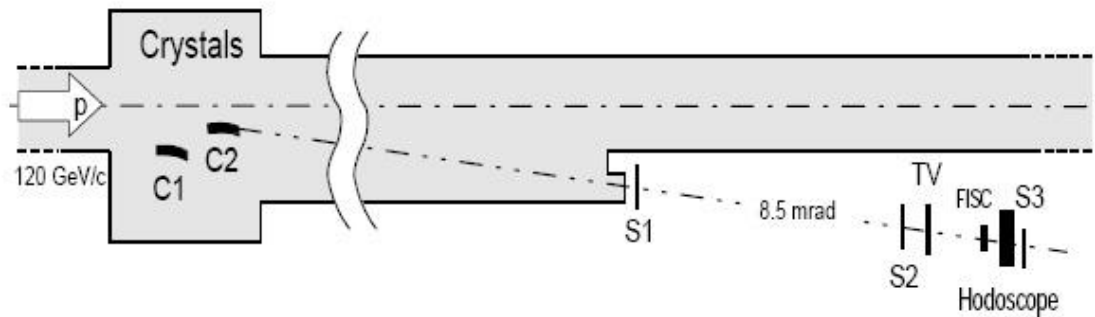


Fig. 6. Schematic view of the crystal and detector arrangement to measure the extracted proton beam at the SPS

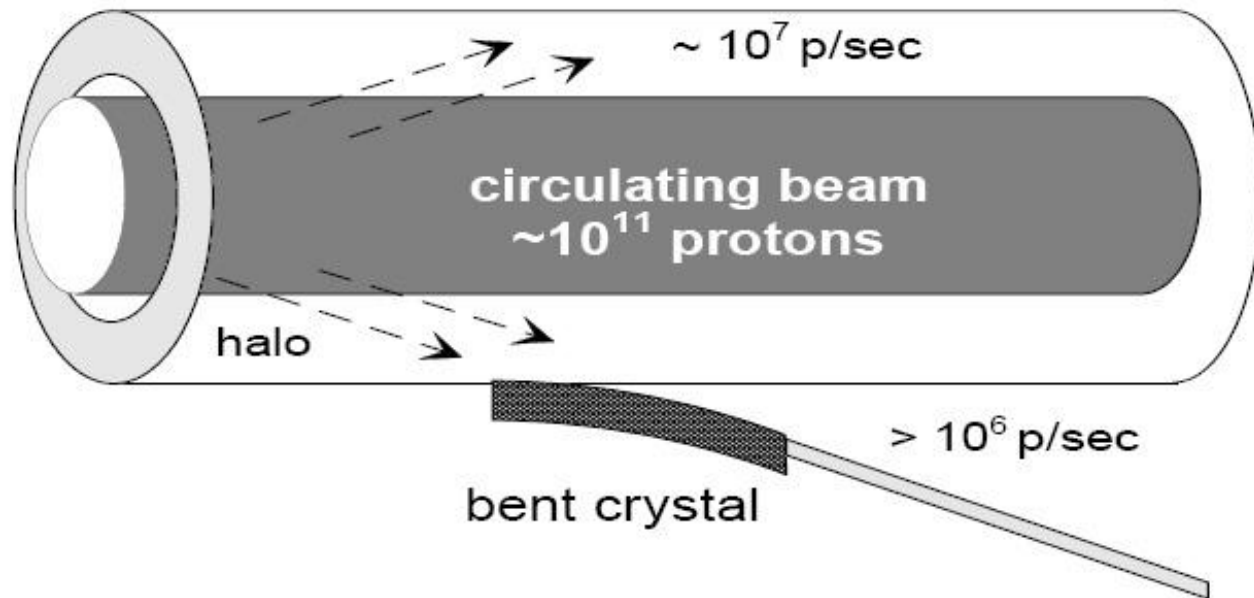


Fig. 1. Principle of proton extraction from the halo of a circulating proton beam by means of a bent crystal

Благодарность за активное участие и поддержку.

Зиновьев Л.П –Нач. отдела СФ.

Группа диспетчеров СФ.

Федуков С.В., Перфеев В.Н., Исаев А.С., 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.

Major breakthroughs.

Physics.

- K^0 decay and K_s regeneration.
- Multiple strange particles production. Anti-sigma-minus hyperon.
- Study of elastic scattering. $\rho = \text{Im}A/\text{Re}A_{K^0}$; $\alpha' \neq 0$.
- Inertia of baryon charge. Discovery of fragmentation and pionization regions.
- ρ , ω $\gamma e^+ e^-$.
- 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 ρ , ω resonances.

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.

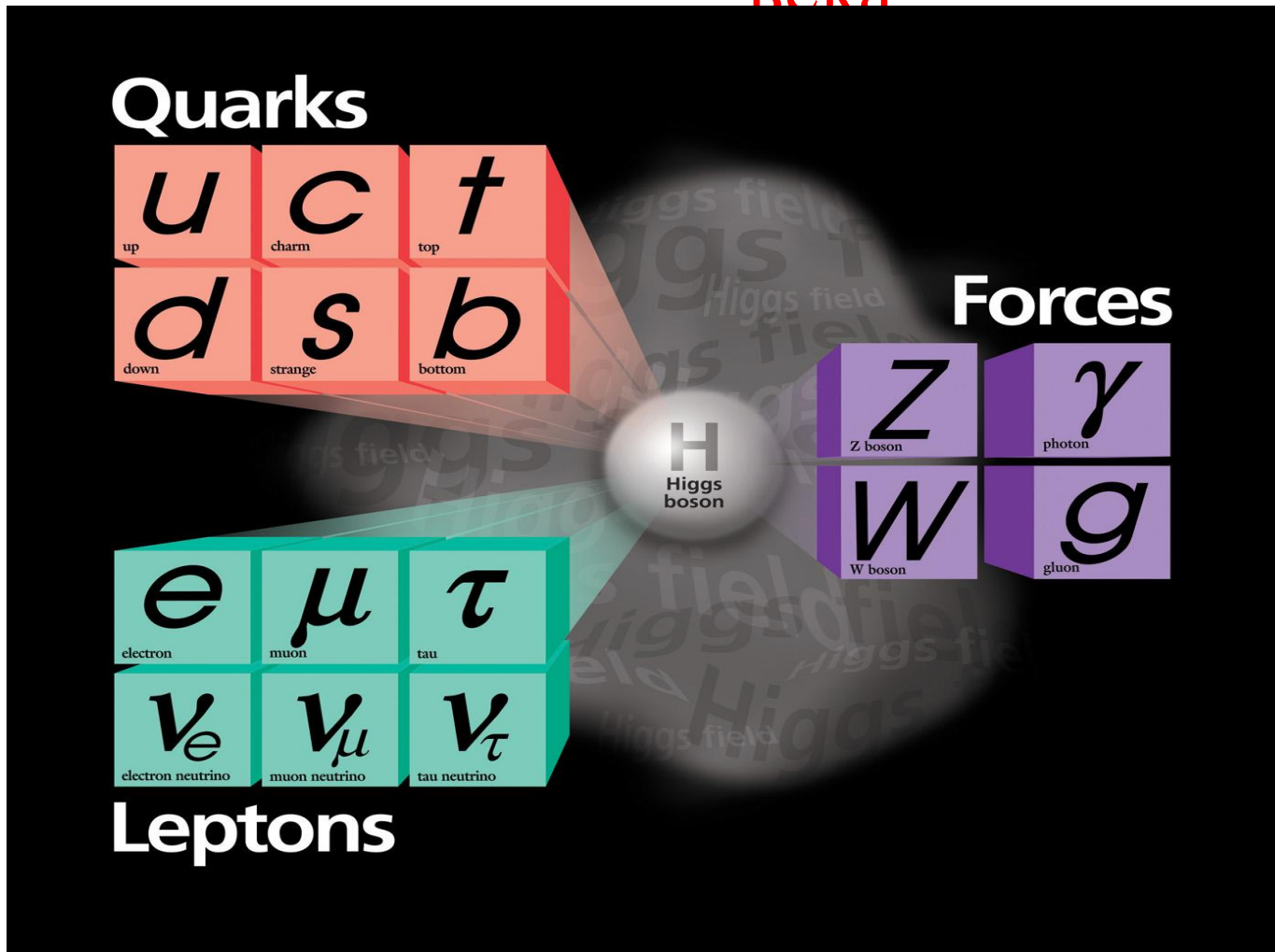
Разработка новых методов управления пучками частиц ... с помощью изогнутых кристаллов.



**Физика
фундаментальных
частиц материи:
вид с птичьего
полёта.**

Базисные элементы материи начала 21-го

века



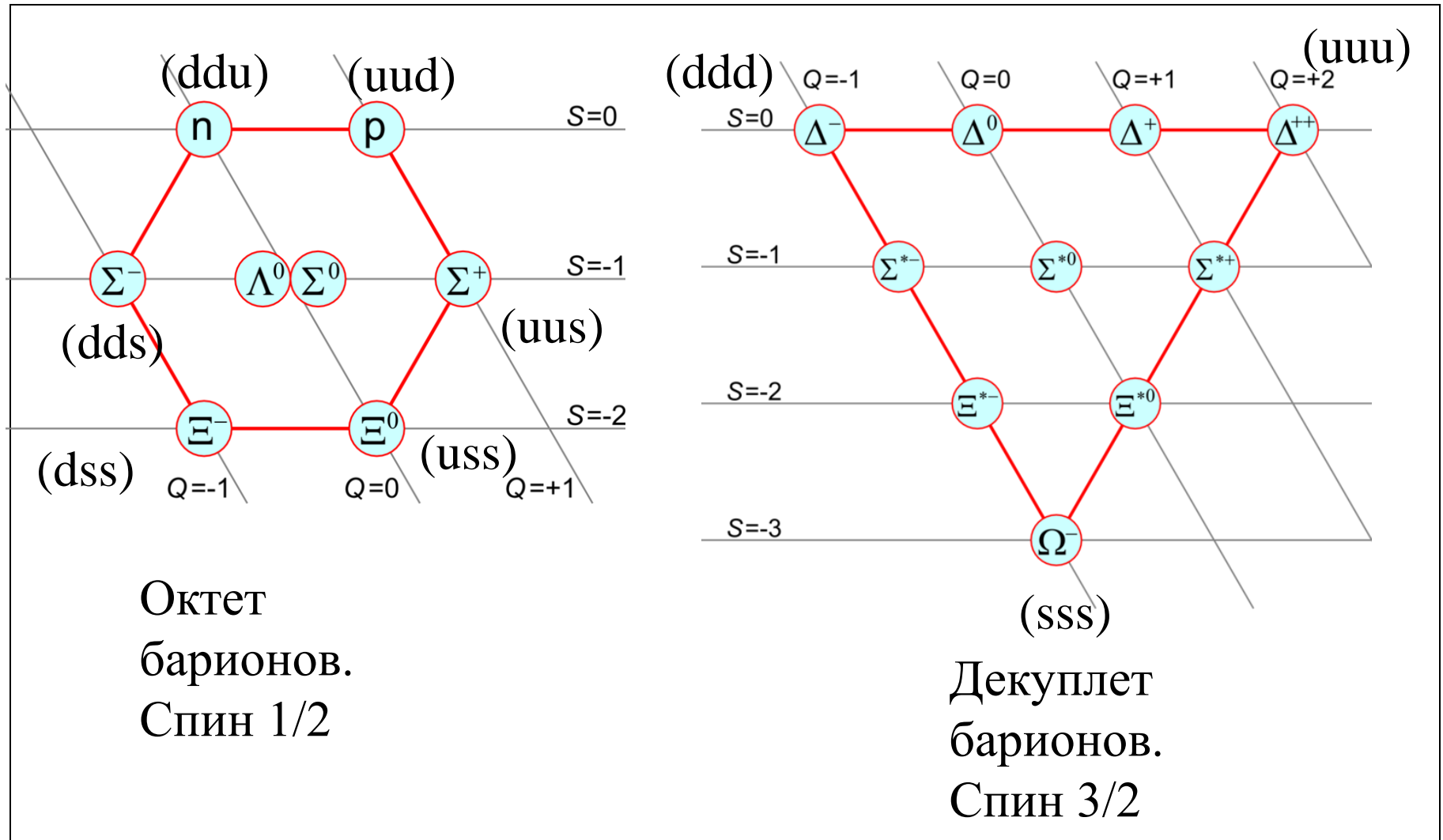
Примеры
кварковой
КОМПОЗИЦИИ
адронов.

$p=(uud)$;
 $n=(udd)$;
 $\pi=(u, \text{anti-}u)$;

$\Lambda=(uds)$;
 $\Omega=(sss)$;

Имеются 6 ароматов (типов) кварков
u, d, s, c, b, t и, соответственно, классов частиц.
Имеются 6 лептонов.

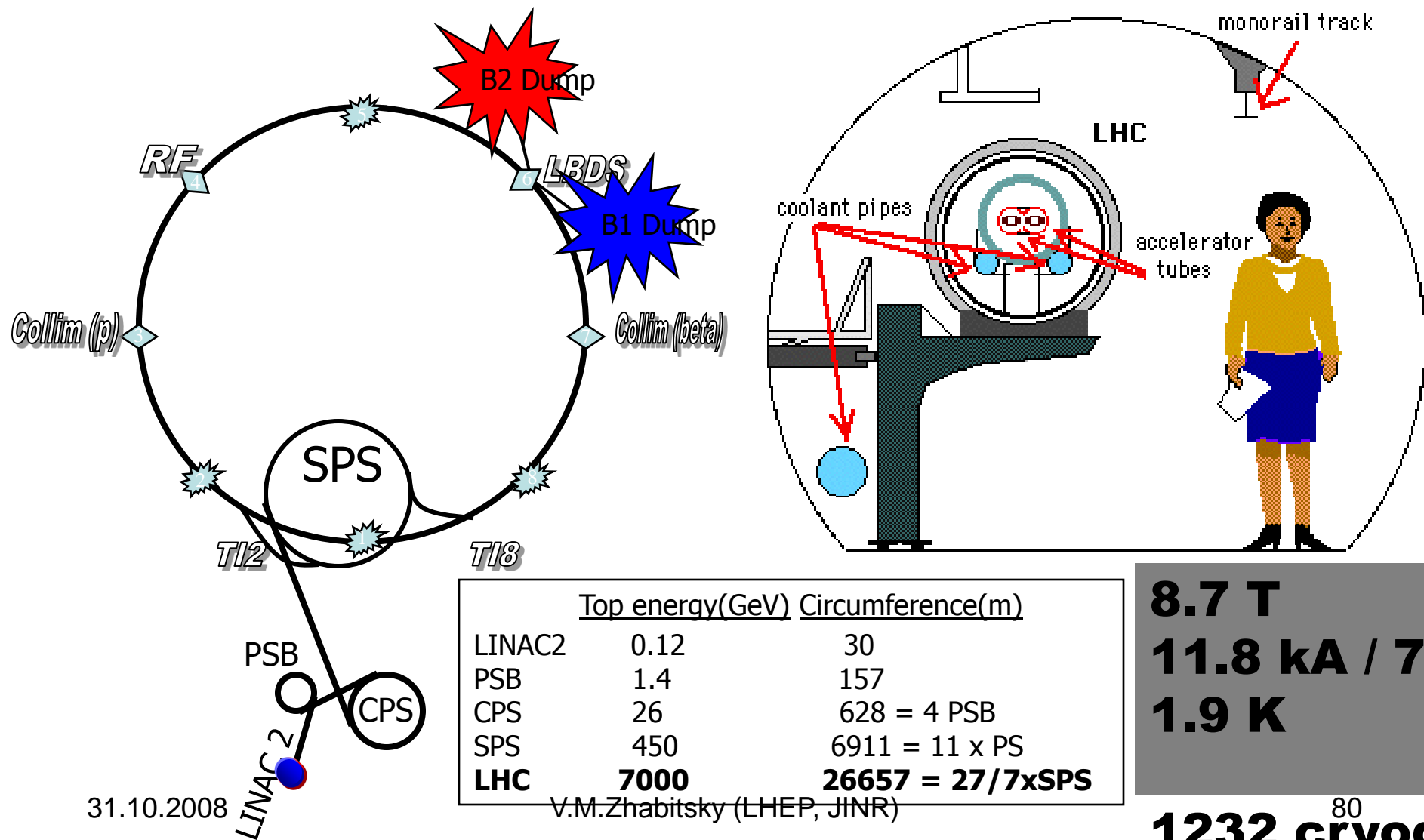
Мультиплеты барионов в кварковой модели



Силы природы или типы взаимодействия частиц.

Тип взаимодействия	Зависимость потенциала (энергии) от расстояния	Радиус действия	Константа $g^2 / \hbar c$
Сильное	$g_s^2 \frac{\exp(-r/r_{s,0})}{r}$	10^{-13}	$2 \cdot 10^{-1}$
Электромагнитное	$e^2 \frac{1}{r}$	∞	$0.8 \cdot 10^{-2}$
Слабое	$g_w^2 \frac{\exp(-r/r_{w,0})}{r}$	$2 \cdot 10^{-16}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Гравитационное	$G_N \cdot \frac{m^2}{r}$	∞	$0.8 \cdot 10^{-38} *$

Accelerator complex CERN



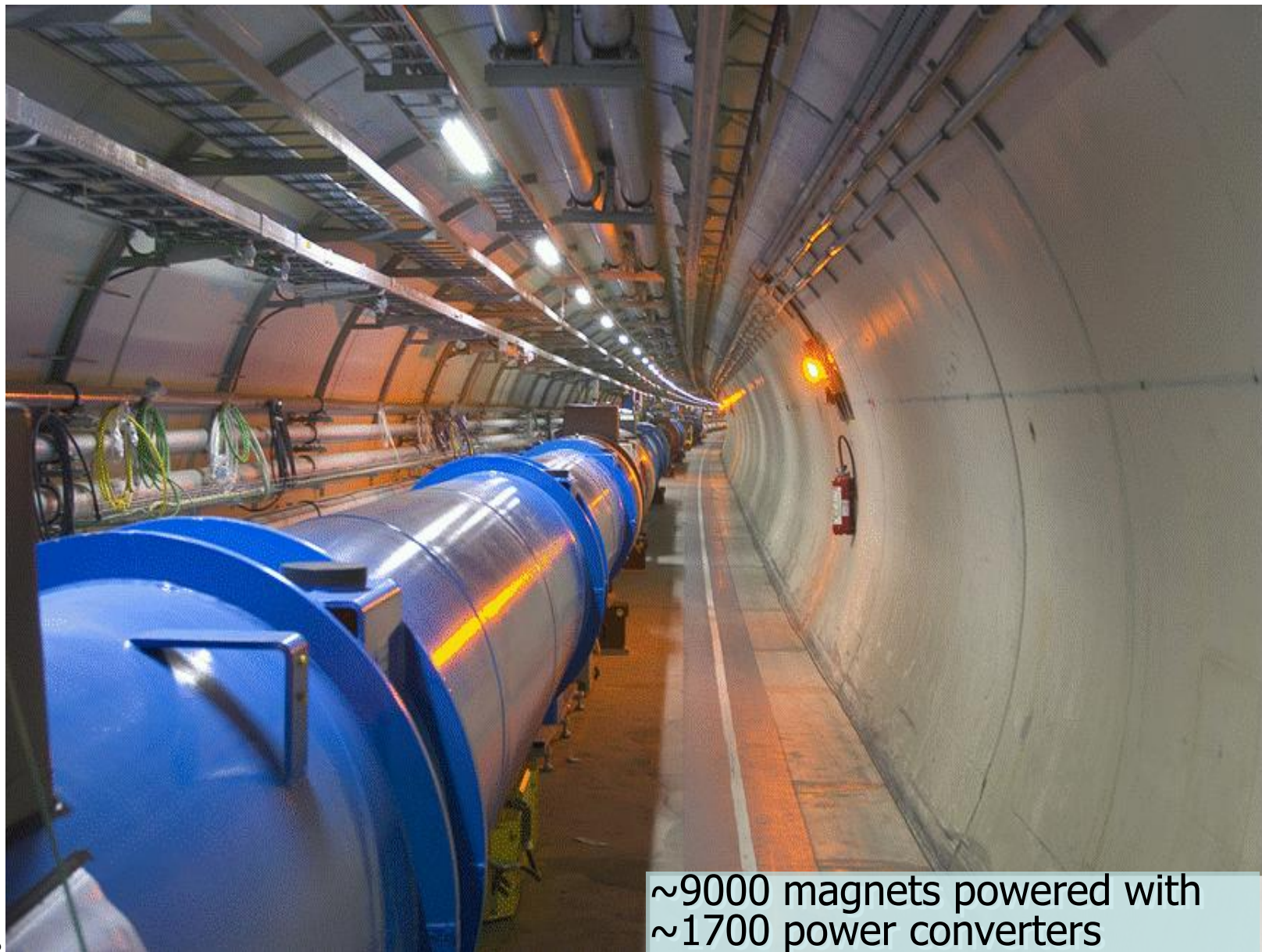
	Top energy(GeV)	Circumference(m)
LINAC2	0.12	30
PSB	1.4	157
CPS	26	628 = 4 PSB
SPS	450	6911 = 11 x PS
LHC	7000	26657 = 27/7xSPS

8.7 T
11.8 kA / 7
1.9 K
1232 cryodi

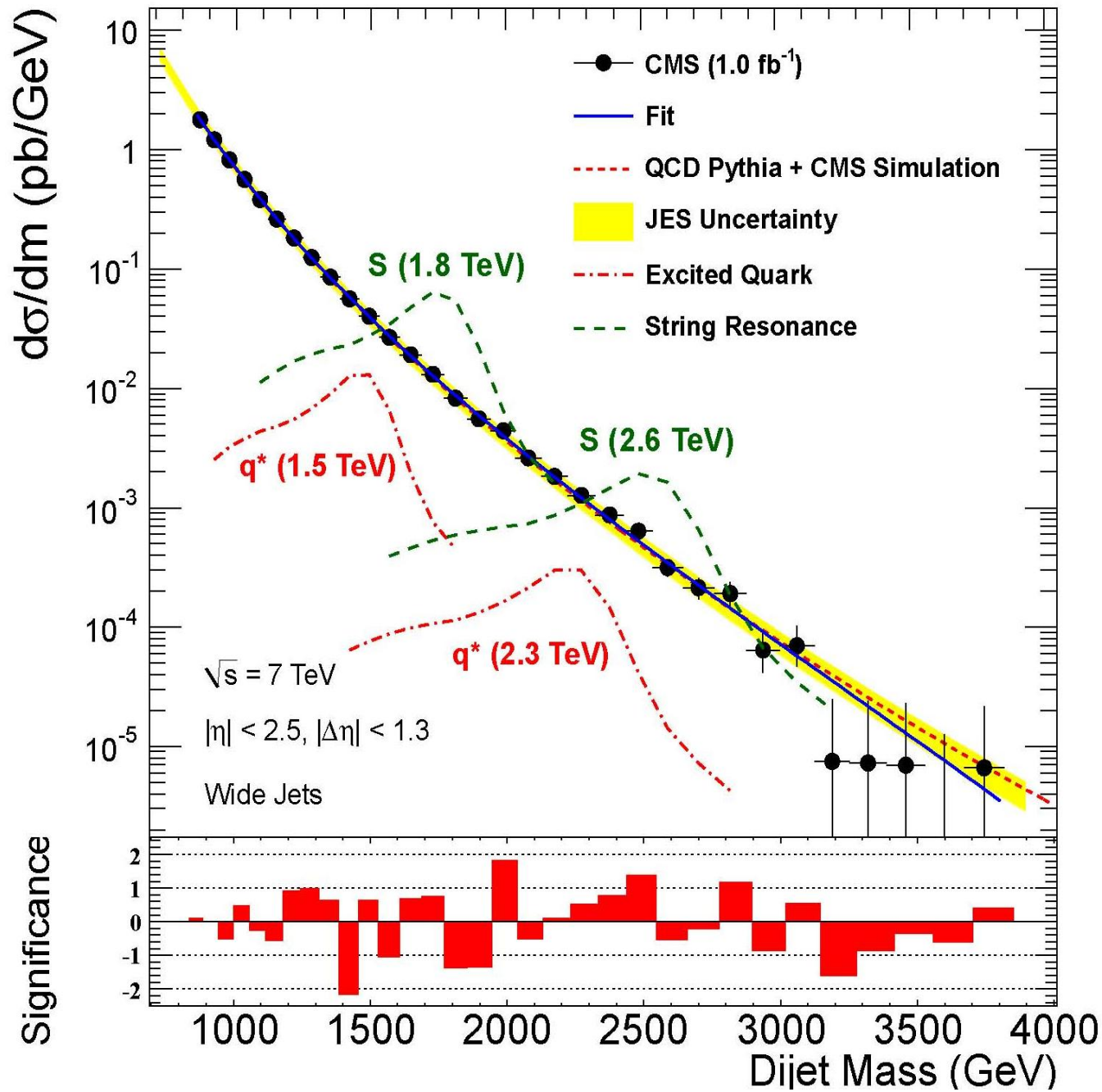
31.10.2008

V.M.Zhabitsky (LHEP, JINR)

Большой адронный коллайдер в ЦЕРН (LHC)



~9000 magnets powered with
~1700 power converters



Поиск
 структуры
 кварков на
 БАК:
 структура
 не
 обнаружена
 на масштабе
 $r > 10^{-17} \text{ см}$

Портрет протона (и других адронов).



Протон
содержит
валентные
кварки,
морские
кварки
и глюоны.

Теория струн.

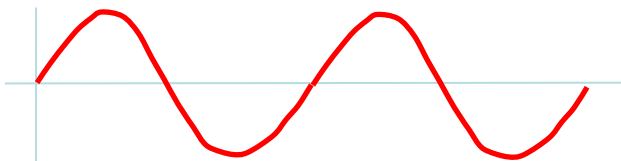
Релятивистская струна – одномерный фундаментальный объект .

Весь мир – симфония, исполняемая оркестром суперструн.



Параметры струны:

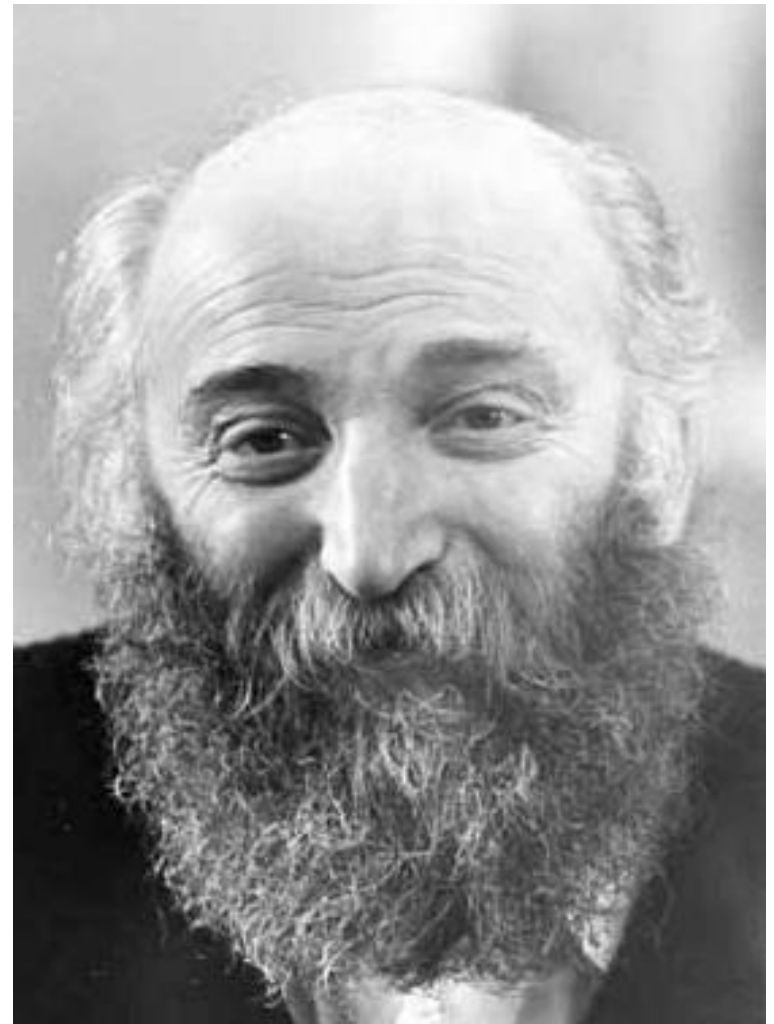
натяжение, длина, тип (замкнутая, разомкнутая), квантовые числа.



Идеологи и создатели ускорителей в России.



В. И. Векслер, 20-е годы



**В.И.
Г.М. Будкер**

1907-1999

Очередным прорывом в области ускорителей было создание в ОИЯИ по инициативе академика А.М.Балдина

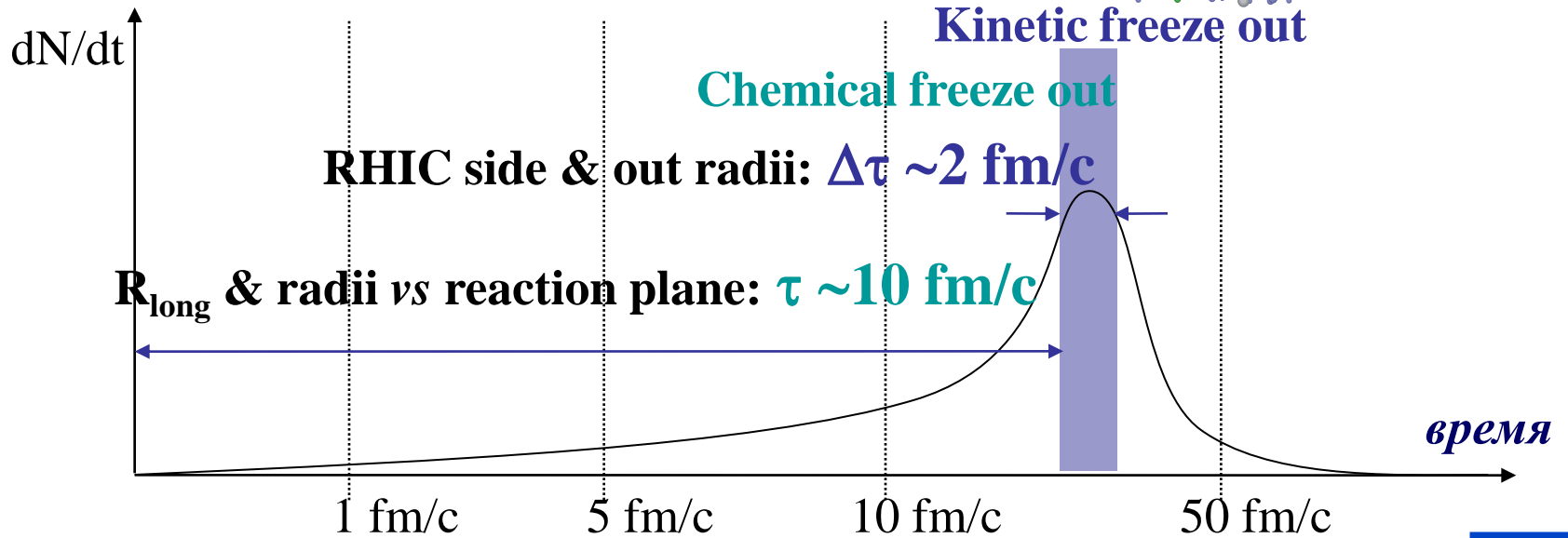
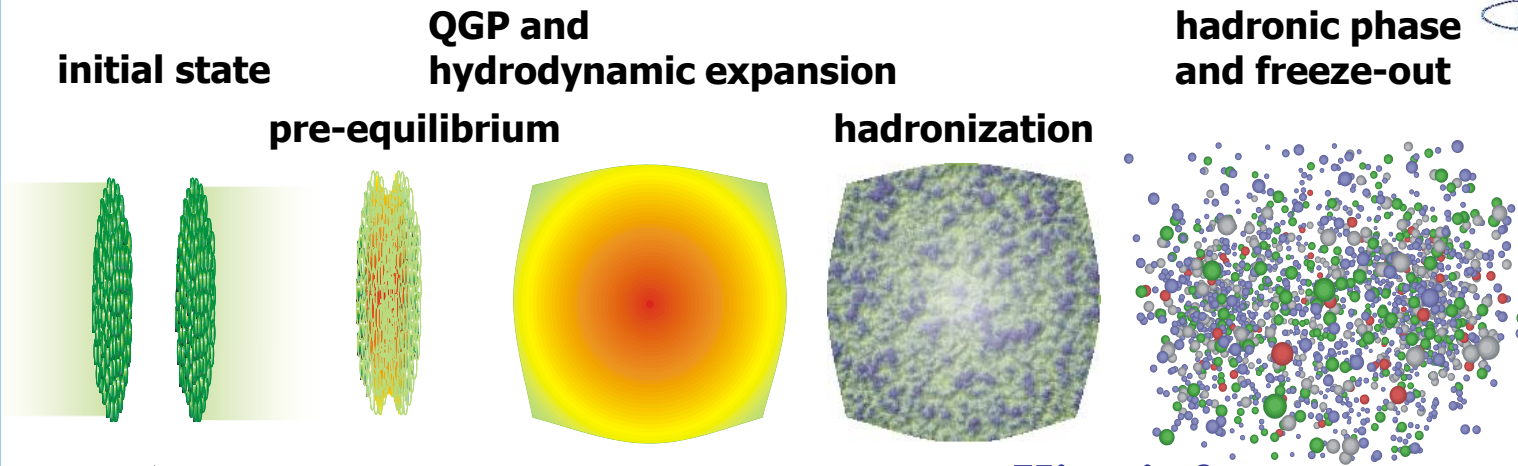


НУКЛОТРОН – первого сверхпроводящего ускорителя релятивистских ионов

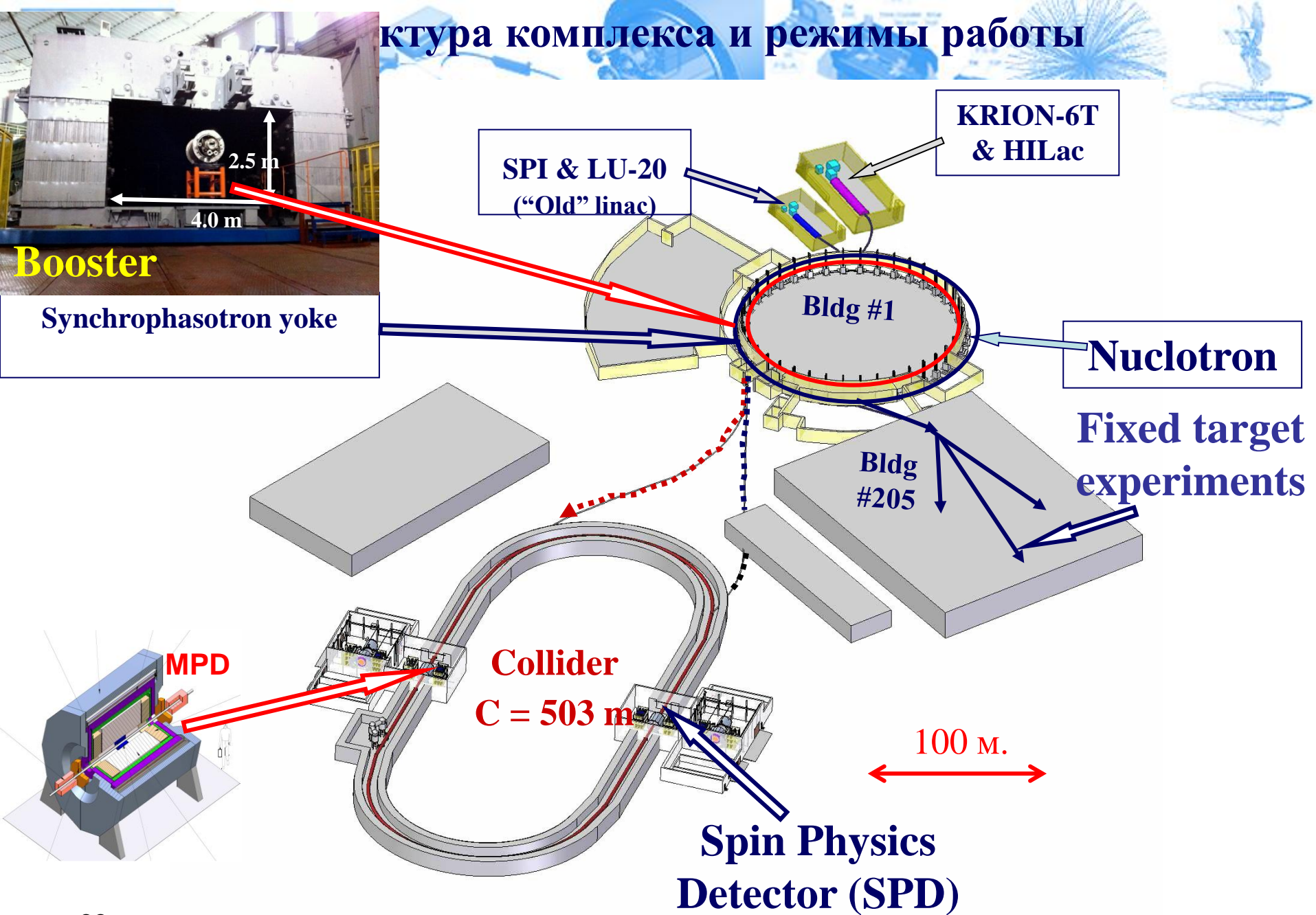
построен в ОИЯИ за пять лет (1987-92 гг.) и запущен в 1993 г.



Ожидаемая эволюция столкновения тяжелых ионов
(данные RHIC)



Структура комплекса и режимы работы



Комплекс НИКА. 2017 г.



100 м.



Области применения ускорителей.

Фундаментальные исследования в физике, биологии и др. науках.

Медицина.

Терапия опухолей.

Диагностика.

Диагностика скрытых веществ.

Нейтронный каротаж скважин при добыче углеводородов.

Производство радиоактивных изотопов.

Материаловедение.

Обработка поверхностей путём имплантации ионов.

Увеличение прочности, антикоррозийные технологии.

Производство микроэлектроники.

Генерация синхротронного излучения на электронных ускорителях.

Области применения ускорителей.

Генерация нейтронного излучения электронами.

Трансмутация ядерных отходов.

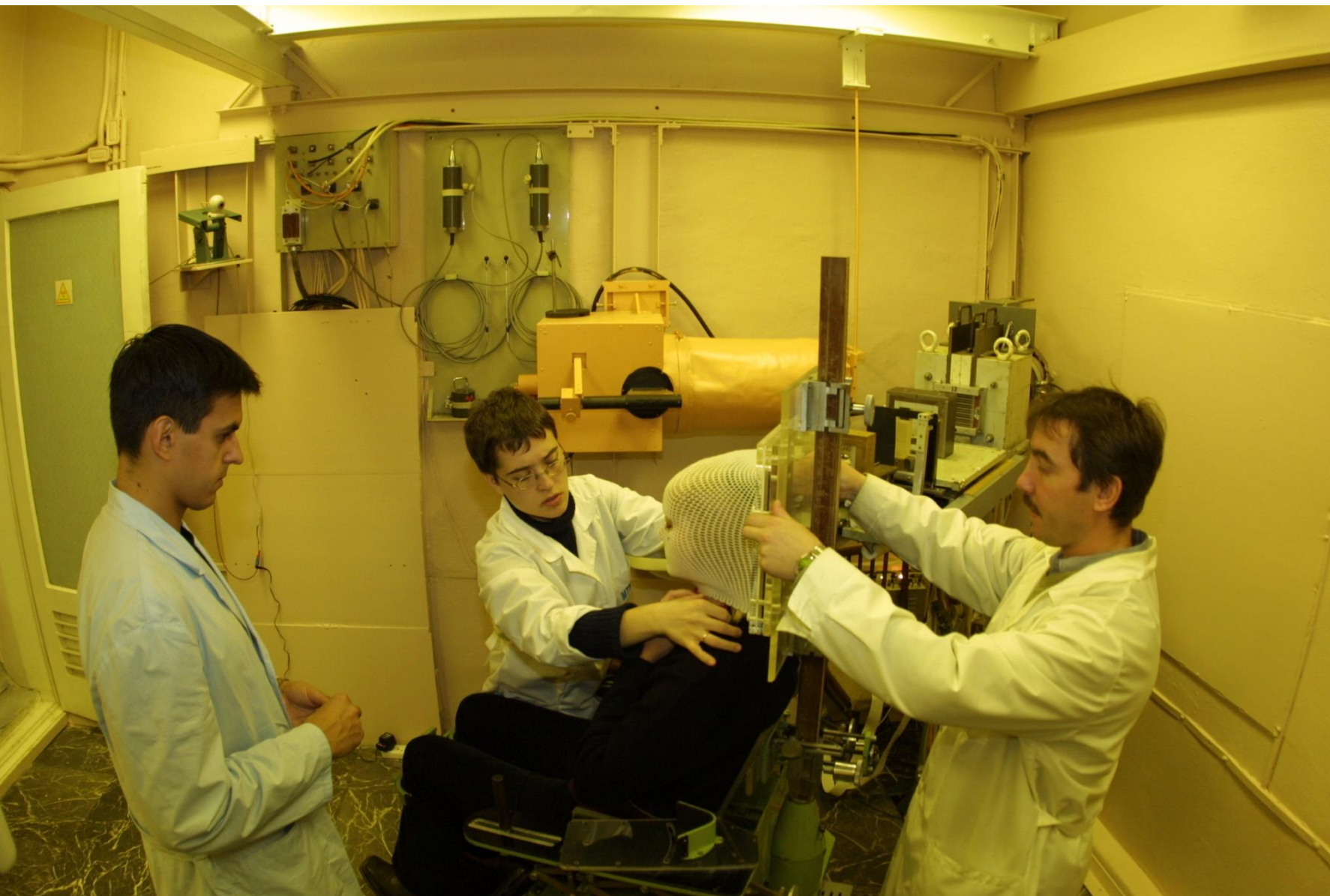
Промышленное применение ускорителей.

Сварка и резка материалов.

Стерилизация продуктов, медицинских материалов и др.

В настоящее время на ускорителях диагностику и терапию проходят около 100 тыс. пациентов в год. В промышленности работает около 18 тыс. ускорителей. В США доход от применения ускорителей оценивается в 20 млрд. долларов в год.

Подготовка пациента к облучению (ЛЯП, ОИЯИ).

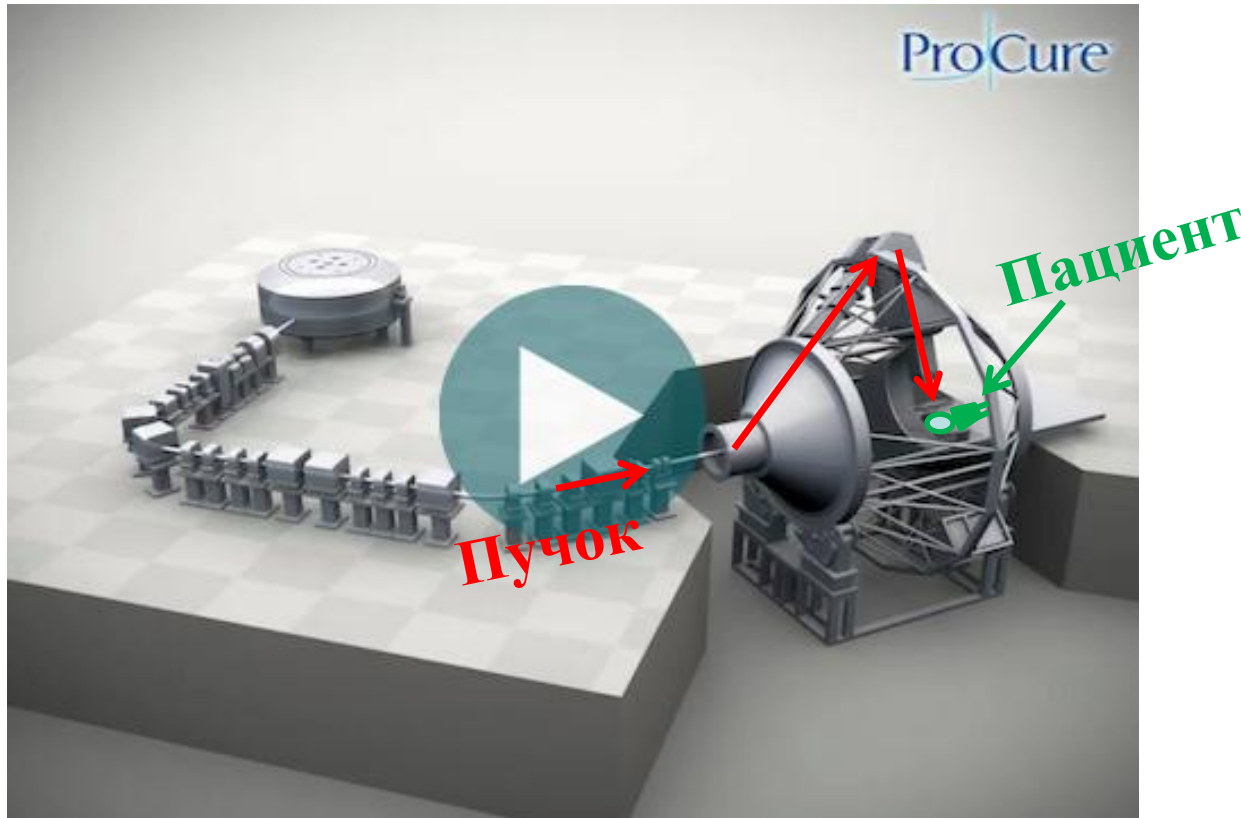




Специализированный
(комнатный)
сверхпроводящий
циклотрон для
протонной
терапии.

Центр ProCure, Чикаго, США.

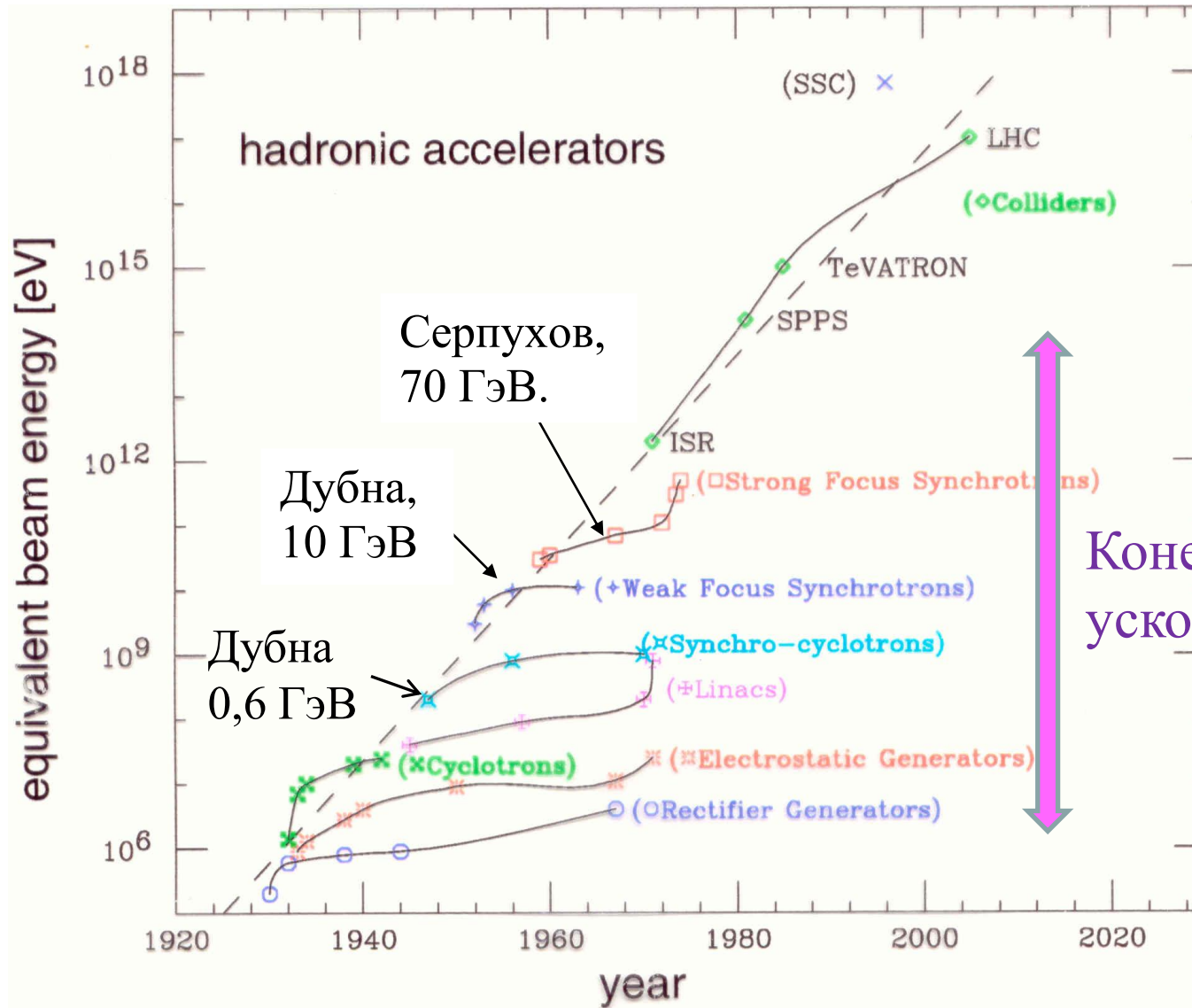
Система транспортировки пучка, обеспечивающая круговое облучение пациента, что сводит к минимуму повреждение здоровых тканей.



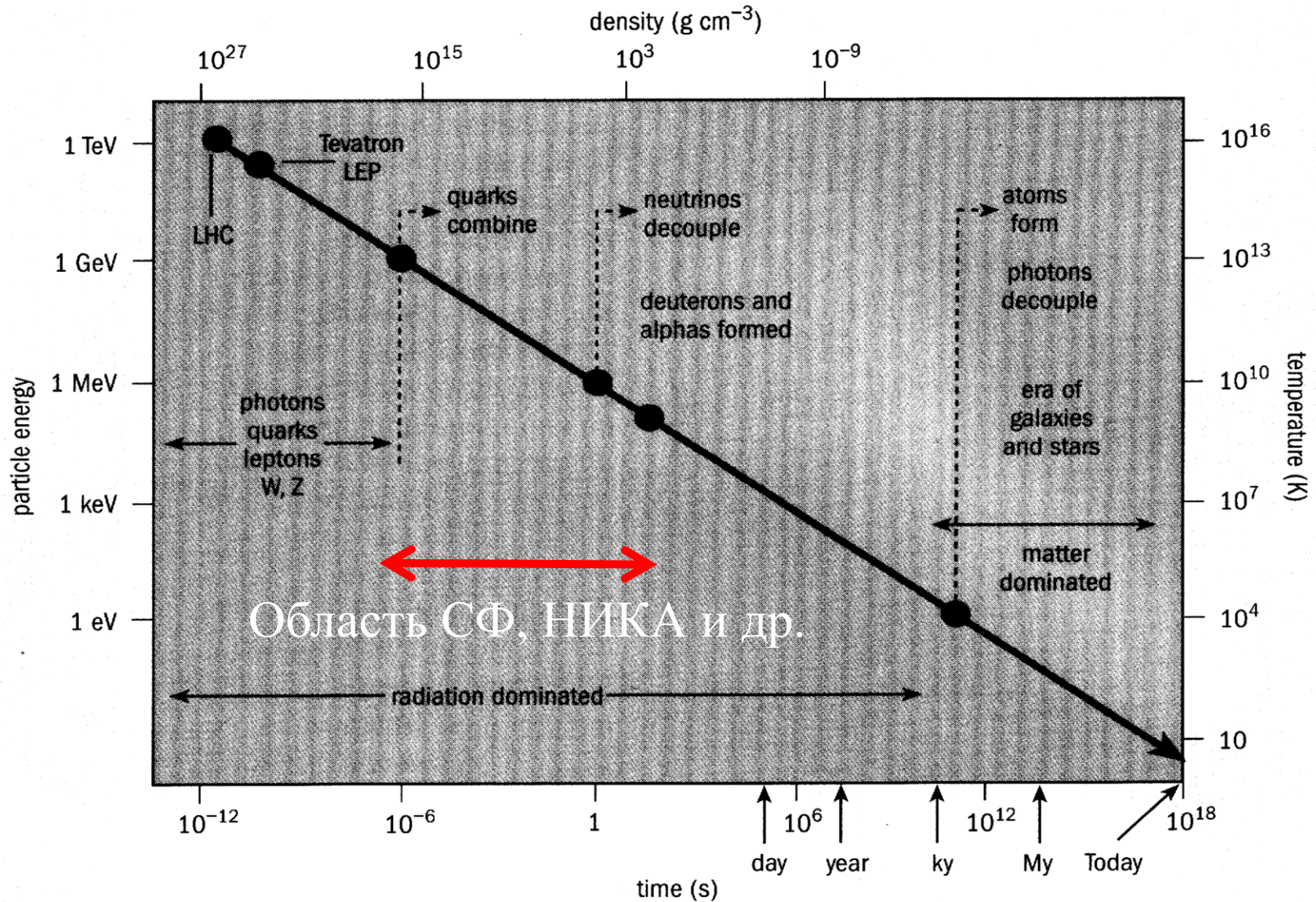
В США ежегодно выполняется 10 млн. диагностических и лечебных процедур.

В мире действует 37 центров ускорительной лучевой терапии. Годовой бюджет отрасли составляет 20 млрд. долл.

История ускорителей.



Эволюция Вселенной и физика высоких энергий.



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

Непреодолимая жажда знаний.

«Самое прекрасное и глубокое переживание, выпадающее на долю человека, — это ощущение таинственности. Оно лежит в основе религии и всех наиболее глубоких тенденций в искусстве и науке. »

Эйнштейн. Статья «Мое кредо».

«Космическое религиозное чувство является сильнейшей и благороднейшей из пружин научного исследования. ...Эта работа далека от обычной практической жизни».

Эйнштейн. Статья «Религия и наука» (1930).

«История техники свидетельствует, что нет ничего практичнее теории.»

Р.Оппенгеймер.

«Учёные не смогли бы изобрести электрическую лампу путём усовершенствования свечи» .

Президент Франции Саркози. Из доклада на конференции физиков в Париже в 2010 г.

Соотношение духовного и материального.

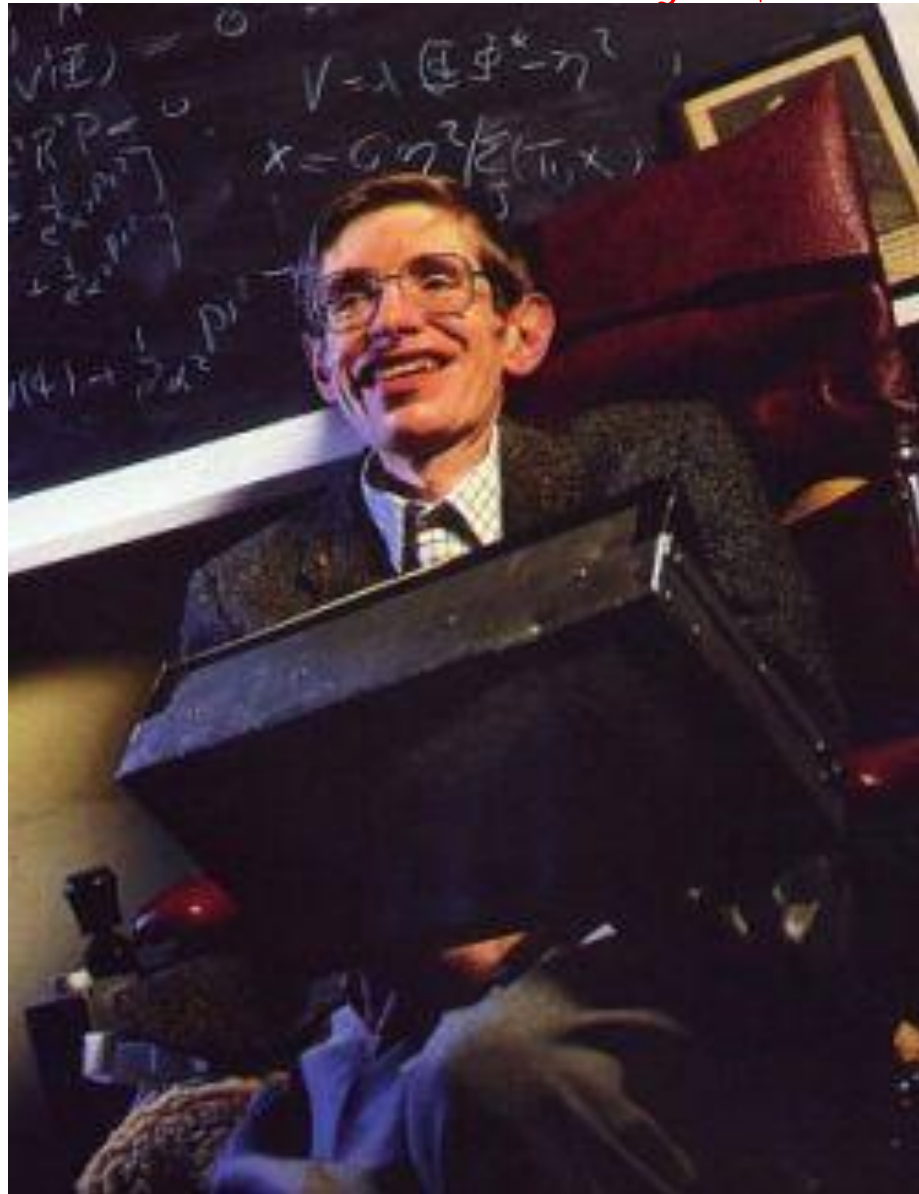
Материальные
интересы.

Идеальные
(духовные)
устремления
человека.

Наличные знания
и технология
расширяют
мировоззрение и
возможности
поиска.

Путь цивилизации.


Высказывания авторитетных учёных о сущности науки.



Стивен Хокинг (родился в 1942, Англия.)

«Если мы действительно откроем полную теорию ..., то узнаем почему так произошло, что существуем мы и существует Вселенная. ... Это будет полным триумфом человеческого разума, ибо тогда нам станет понятным замысел Бога».

Цитируется по книге «Философия науки», М. 2006.



Уровень физики определяет
уровень понимания всего
окружающего нас мира,
определяет уровень
интеллектуальной зрелости
человечества.

Академик Л.Б.Окунь.



Конечд.
Спасибо.