

**Эксперименты на коллайдерах ИЯФ
- от ВЭП-1, ВЭПП-2-3 до ВЭПП-2000
Страницы истории и уроки**



**С.И. Середняков
Дискуссионный клуб "Разлив"
Август 2026 г.**

Цель :

**Проследить развитие физических исследований,
начатых на ВЭП-1, ВЭПП-2-3,
до настоящего времени**

(что осталось, а что сдано в архив)

Первый эксперимент на ВЭП-1, физическая мотивация

Цель: проверка квантовой электродинамики,
(проверка закона Кулона на малых
расстояниях $< 10^{-13}$ см (размер протона)

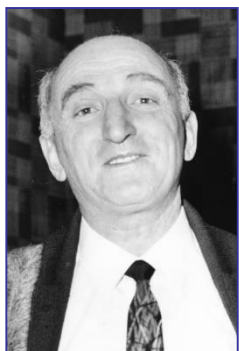
Необходимая энергия ?

Соотношение неопределенностей $\Delta r \sim \hbar c$,
если

$\hbar = 6.6 \cdot 10^{-22}$ MeVs, $r = 10^{-13}$ см, $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с,
то $p \sim 100$ MeV/c,

Для процесса $e-e^- \rightarrow e-e^-$
энергия пучка коллайдера должна
быть порядка 100 МэВ

Процесс $e-e^- \rightarrow e-e^-$
был выбран для проверки квантовой
электродинамики на ВЭП-1



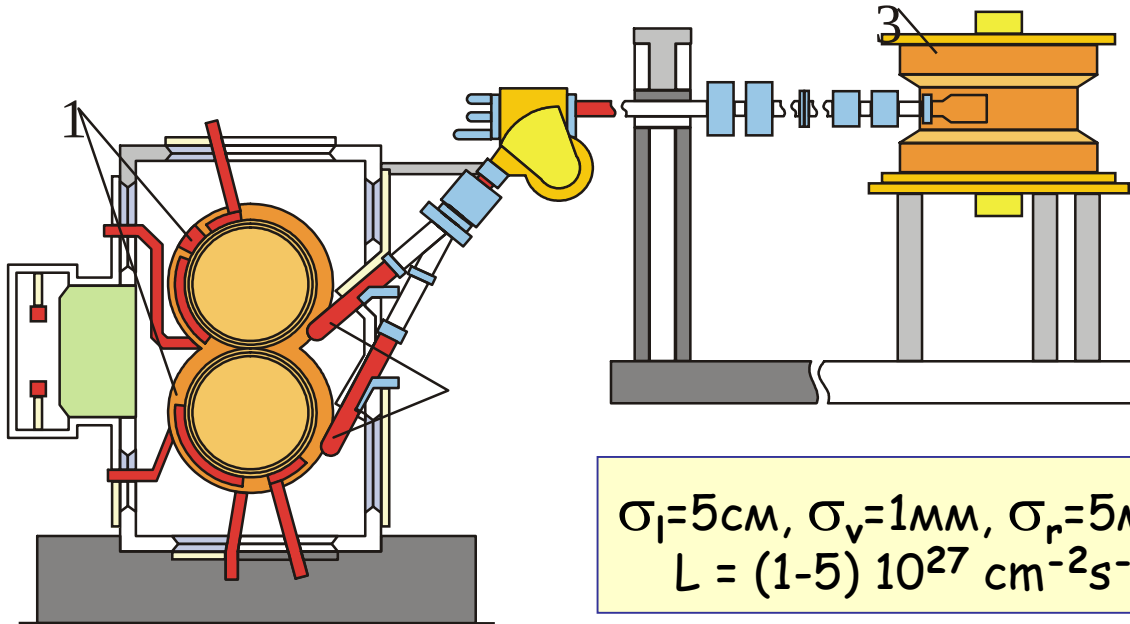
Г.И. Будкер



А.Н. Скринский

Коллайдер ВЭП-1

ВЭП-1, $e^- e^-$, 2 X 165 МэВ, 1964-1967г.

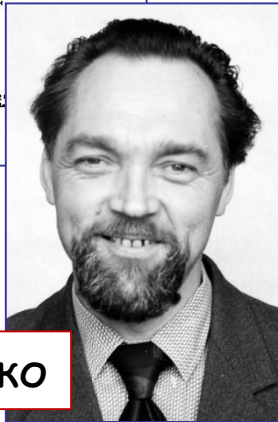
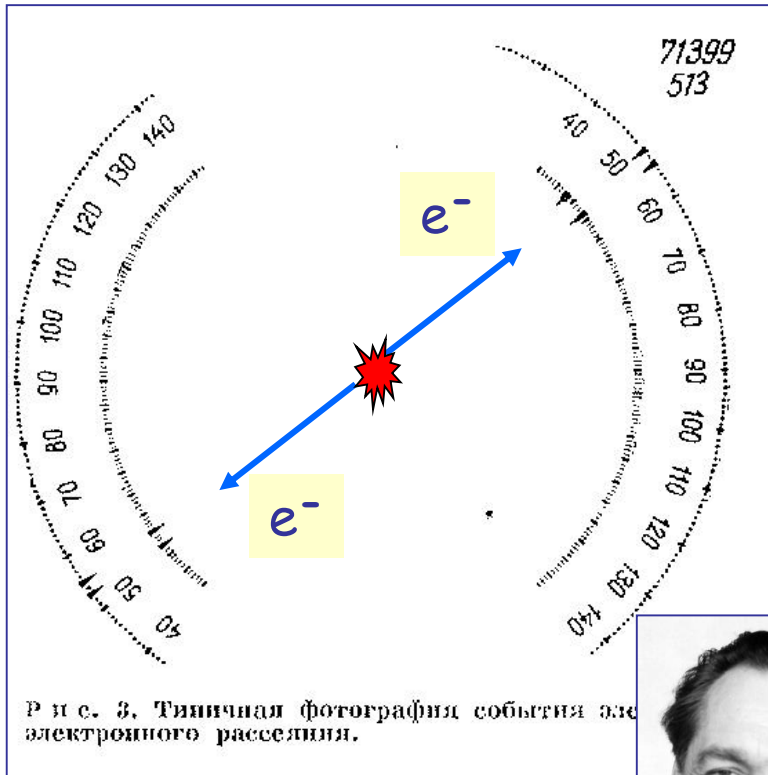


$$\sigma_l = 5 \text{ см}, \sigma_v = 1 \text{ мм}, \sigma_r = 5 \text{ мм}, \\ L = (1-5) 10^{27} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$$

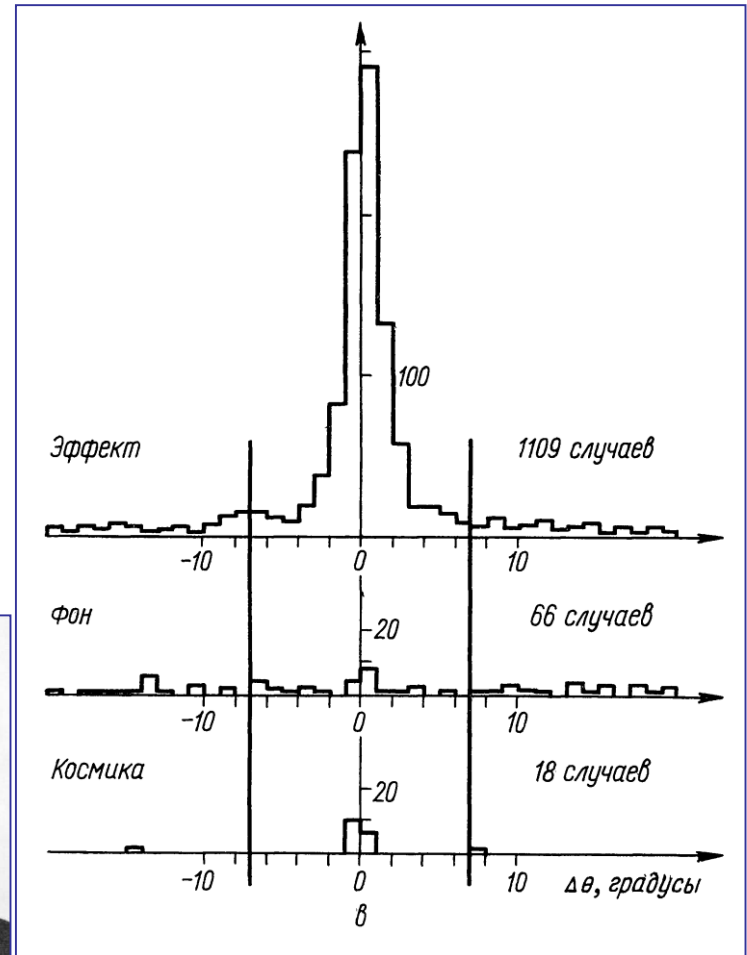
$E_{\text{beam}} = 43, 135, 165 \text{ MeV},$
 $I \sim 10-30 \text{ mA}, \tau = 10-15 \text{ мин.}$
 $f = 116 \text{ MHz},$

Система регистрации должна
располагаться в горизонтальном
направлении !

e^-e^- рассеяние на ВЭП-1



Е.А. Кушниренко



$$\sigma_{\theta} \sim 1.5^{\circ}$$

e^-e^- рассеяние на ВЭП-1

Угловое распределение по
полярному углу θ в процессе
 $e^-e^- \rightarrow e^-e^-$

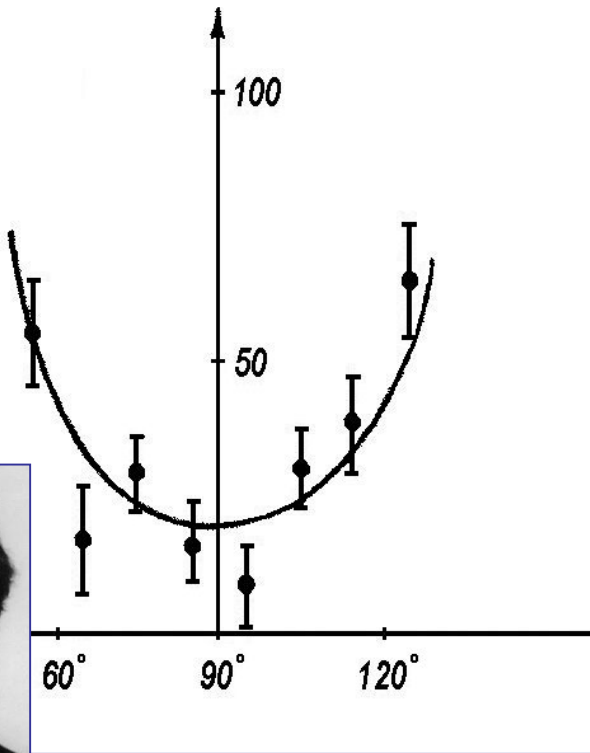
Модификация закона Кулона

$$1/r \rightarrow 1/r (1 - \exp(-r/\Lambda))$$

$$1/q^2 \rightarrow 1/q^2 (1 - q^2 \Lambda^2)$$

$$1/\Lambda > 0.4 \text{ GeV}/c$$

$$r_{\text{QED}}(\Lambda) < 0.5 \cdot 10^{-13} \text{ cm}$$



Угол θ



В.А. Сидоров

Ядерная Физика, в.6, No.6, p.1221, 1967

Темы для обсуждения

1. Встречные пучки начались с проверки закона Кулона на малых расстояниях $\sim 10^{-13}$ см
2. До каких расстояний проверена КЭД сегодня ?
3. Нужно ли сегодня проверять КЭД ?
4. Примеры успешной проверки КЭД у нас :
 - а)- эффект больших прицельных параметров = (ВЭПП-4, МД-1, **А.Онучин, Ю.Тихонов**
 - б) - двойное электророждение e^+e^- пар , **Е.Пахтусова, В.Балакин**
 - в) $(g-2)$ мюона $\sim \alpha/2\pi$
 - д) -



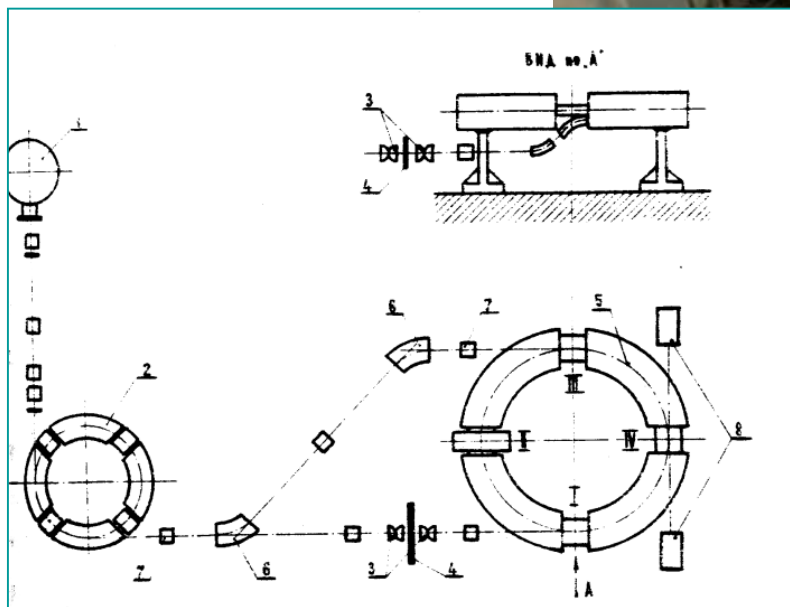
Е.В.Пахтусова

Phys.Lett.,34B,No.7,p.663,1971



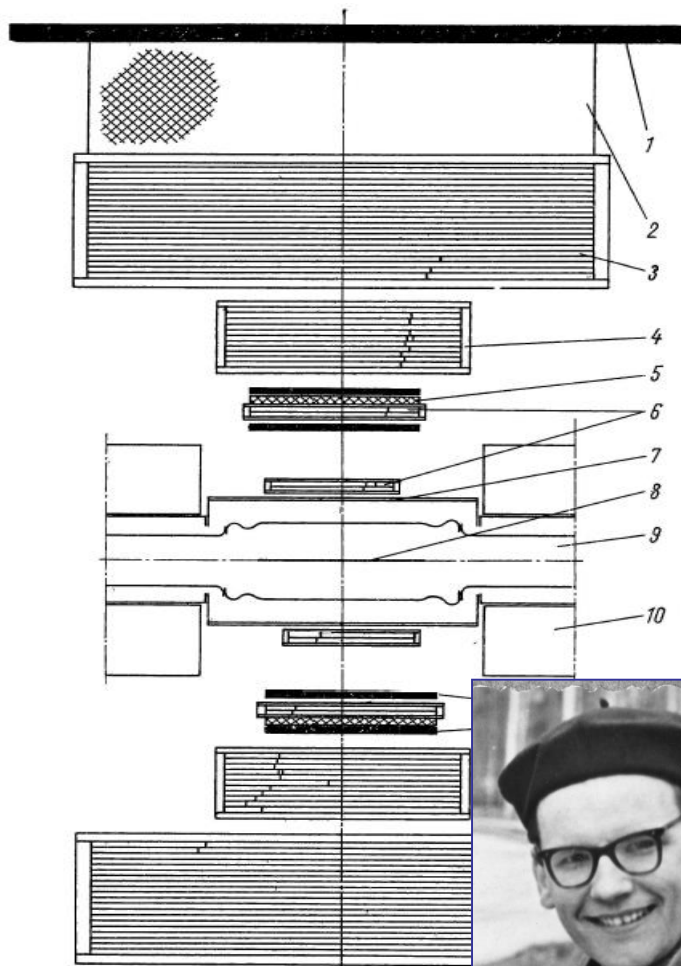
Ю.А.Тихонов

ВЭПП-2



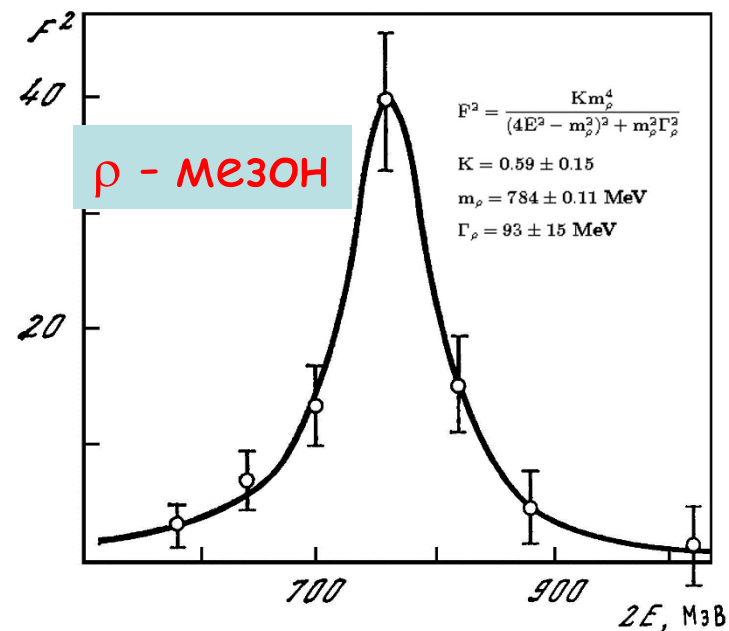
ВЭПП-2, $e^+ e^-$, 2 X 700 МэВ,
1966-1970г.

Первый эксперимент на ВЭПП-2, 1966-1967



Ю.Н.Пестов

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$$



2019 :

$$M_\rho = 775 \text{ MeV}/c^2, \Gamma_\rho = 149 \text{ MeV}/c^2$$

Phys.Lett.,25B,No.6,p.433,1967

$$e+e- \rightarrow \pi+\pi-$$

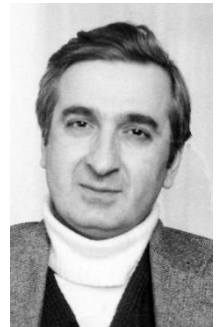
Это пример долгоживущего эксперимента

1966 - 2026 ... 60 лет !

Сделаны десятки повторных измерений
этого процесса, точность измерений
улучшилась от 10% до 1%

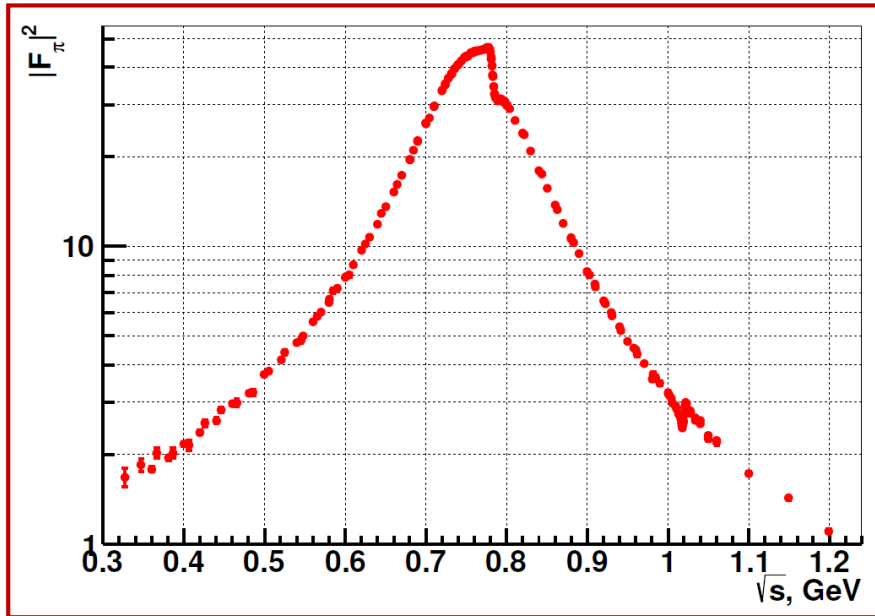
С.И. Эйдельман
Б.А. Шварц
И.А. Кооп
Л.М. Барков
Б.И. Хазин

Детектор ОЛЯ
ВЭПП-2М,
Nucl.Phys.v.256, 1985

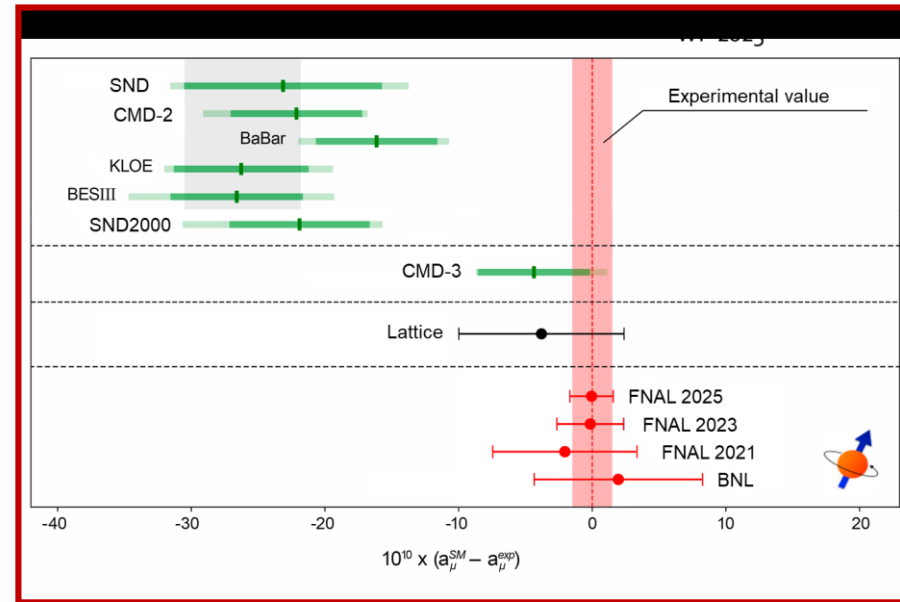


Г.М.Тумайкин Л.М.Курдадзе

$e+e- \rightarrow \pi+\pi-$, CMD3



$a_\mu = 0.00116592033(62)$ – **2026 data**



Вопросы для обсуждения -

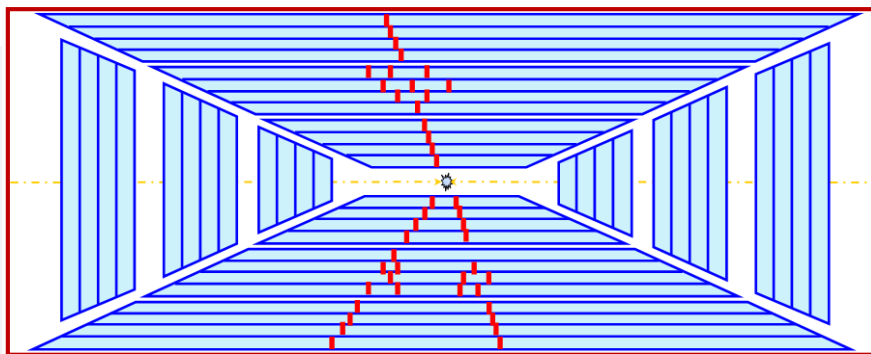
- 1 - если теория и эксперимент **АМММ** совпадают, есть ли смысл продолжать измерения и расчеты ?
2. - Какой максимальной энергии (миним. расстоянию) проверки **SM** соответствует измерения **АММММ** ?

Наши неудачи

1. 1973-1974 гг. – эксперимент на ВЭПП-3, детектор на оптических искровых камерах (В.Балакин), сканирование области энергии 2-4 ГэВ (сцм), Цель – поиск узких резонансов. **НО, не мы нашли первыми J/Ψ частицу, не хватило светимости $L \sim 10^{28} / \text{cm}^2 \text{s}$.**

Все очень тяжело переживали эту неудачу. Но **Андрей Михайлович Будкер**, директор, говорил нам так : не нашли **J/Ψ** , зато сделали электронное охлаждение !

Детектор ВЭПП-3, Показаны Искровые Камеры и Сцинт. счетчики



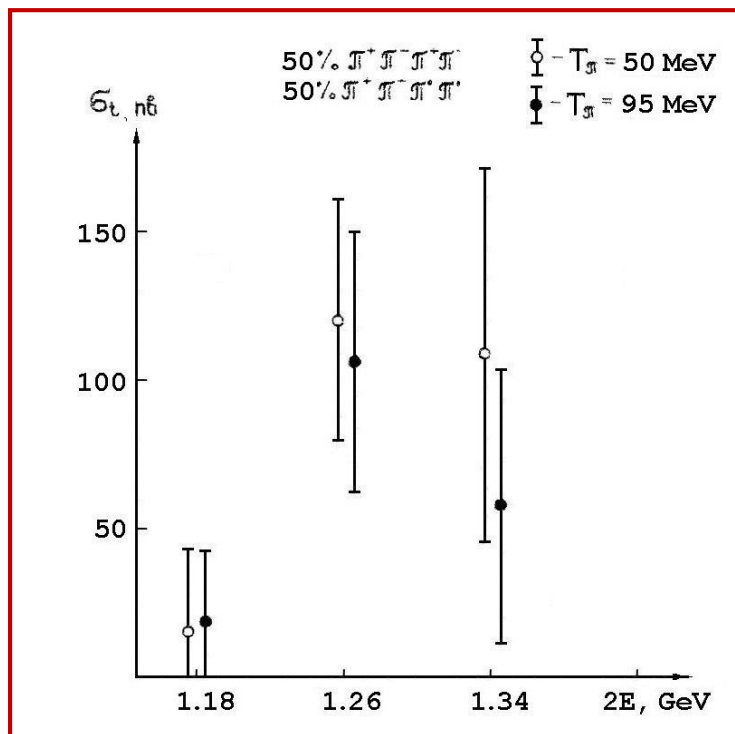
Вид события



В.Е.Балакин

Не было опубликовано

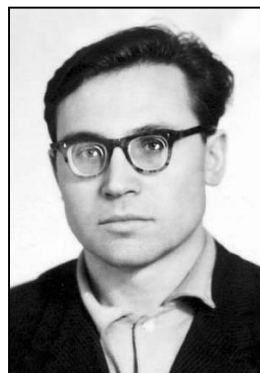
2. Первое наблюдение многоадронных событий, ВЭПП-2 $e^+e^- \rightarrow \text{pions}$



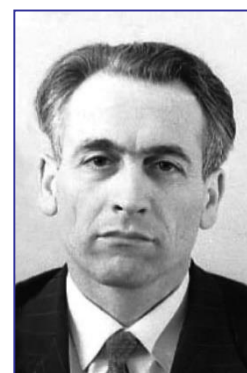
Доклад **В.А. Сидорова** на конференции по ФВЭ, Киев, 1970 г.

Это измерение было одним из важных подтверждений кварковой модели

Но мы не осознавали наш приоритет и нигде об этом не заявляли



А.П.Онучин



А.Г.Хабакхашев

Phys.Lett.42B,No.4,p.515,1972

Забытые эксперименты, не опубликованные

- Первое наблюдение радиационной поляризации

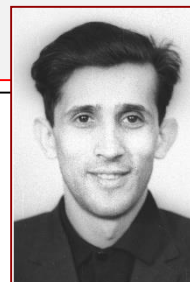
ВЭПП-2, 1968-1970, Ю. Шатунов

Однако этот результат не был опубликован ? !

Измерение было повторено на ВЭПП-2М, 1976г.
но уже после итальянцев

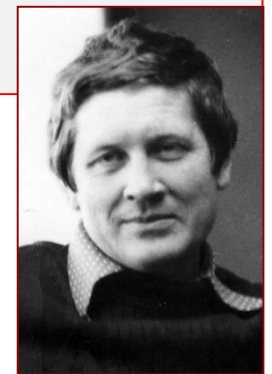


**В.Н.Байер, УФН, 1962,
Обзор по радиационной
поляризации**



*Ауслендер Вадим
Леонидович*

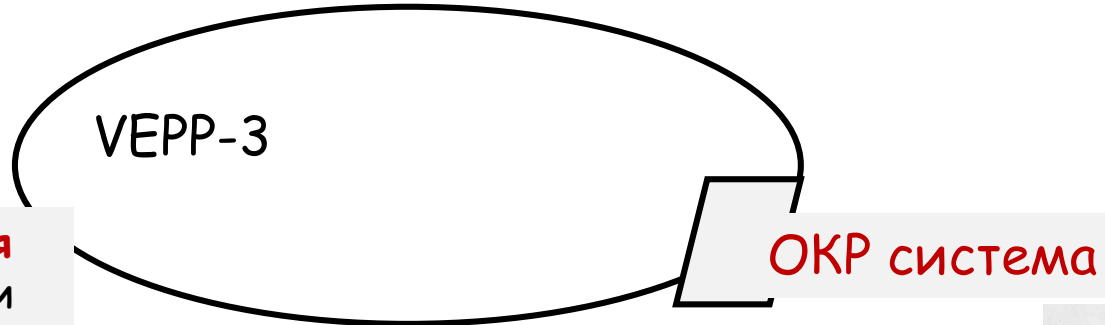
В.Л.Ауслендер



Ю.М.Шатунов

Забытые эксперименты, не опубликованы

Первое наблюдение обратного комптон-эффекта
на синхр. излучении, ВЭПП-3, ~1974г.

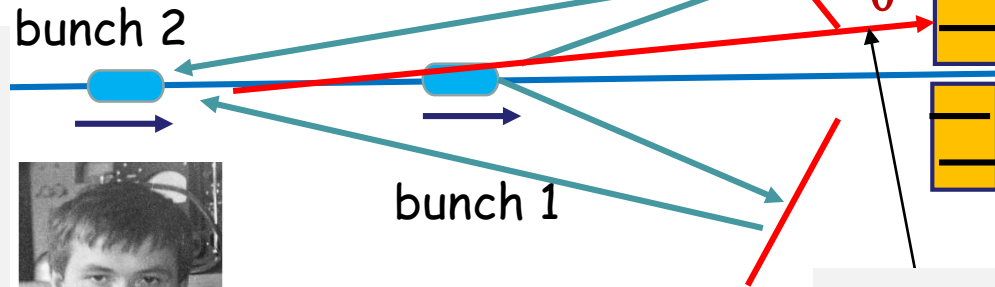


Измерялась **асимметрия**
верх/низ ~ поляризации

Возможности метода :

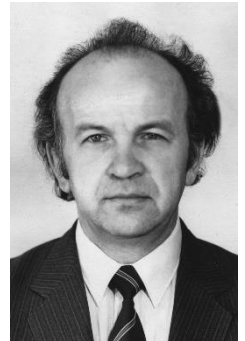
- 1 - измерен. Поляризации
- 2 - измерение энергии

Фактически -
в течении одной
смены наблюдался
счет комптон-
эффекта. **Далее -**
остановлен.



Середняков Сергей

С.И.Середняков



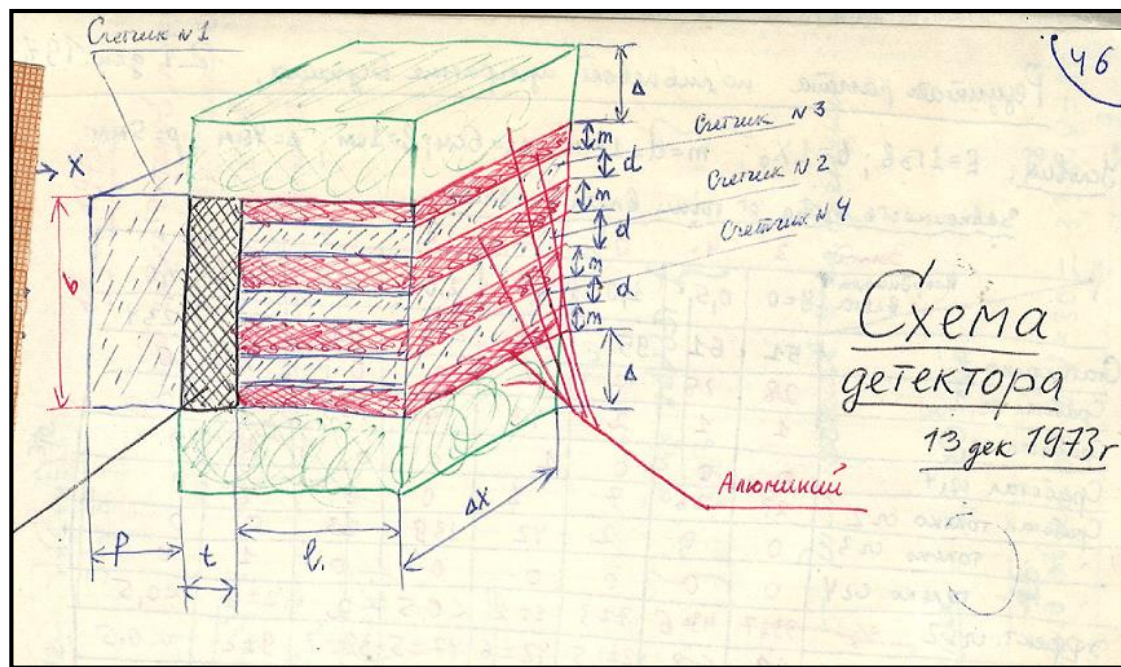
Г.Н.Кулипанов

Сцинт.
детектор

Обр.
компт.
фотон

Вид сбоку

Вид детектора обратн. Комптона, ВЭППП-3.
Фото из лабораторного журнала, 1973 г.



Работа не была
опубликована ...

Эти измерения стоило тогда продолжать
Особенность - измерение поляризации без
ее разрушения !

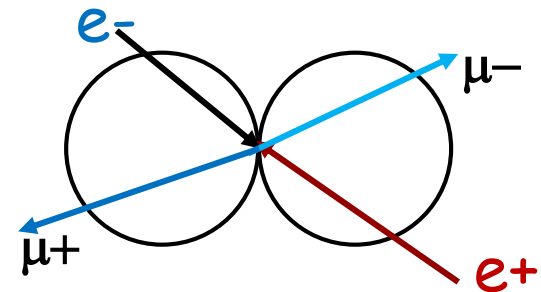
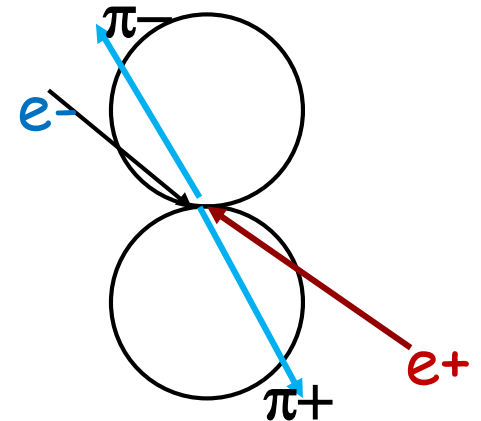
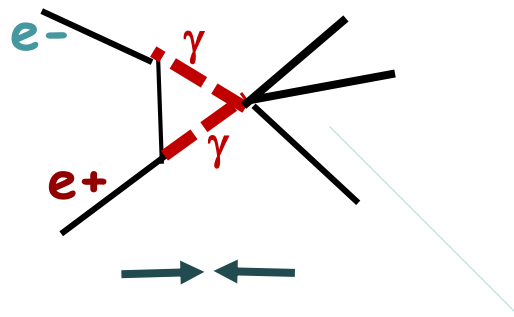
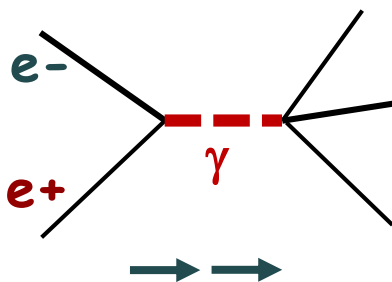
Вопрос для обсуждения

Есть ли польза от экспериментов с поляризованными пучками ?

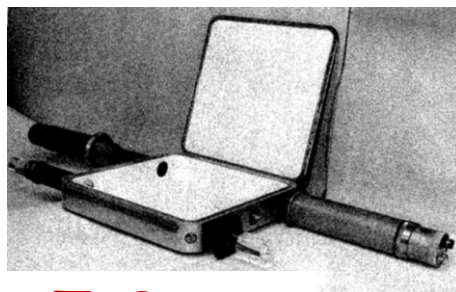
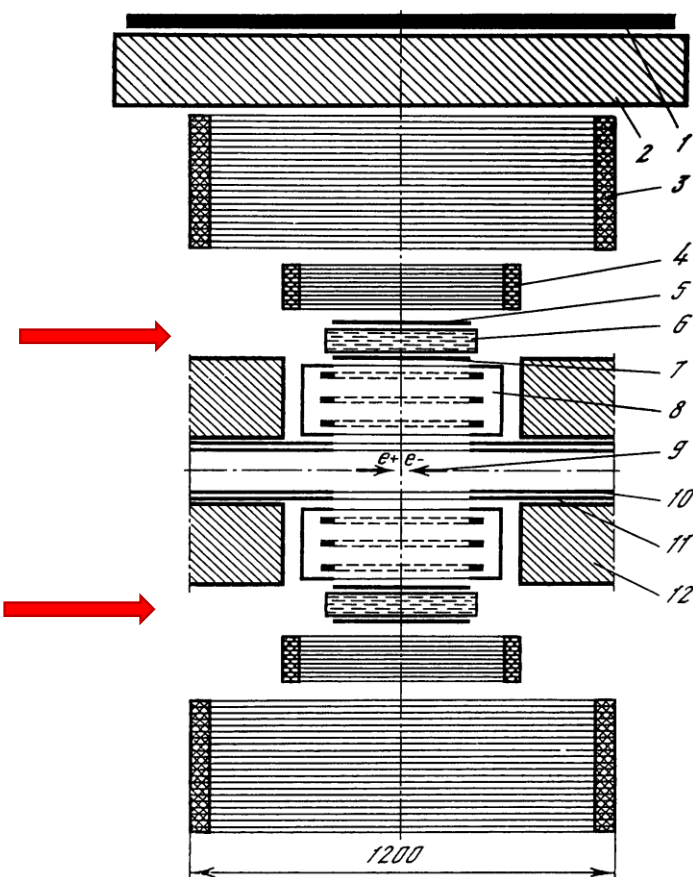
1 - продольная поляризация - да !

2 - поперечная поляризация - да !

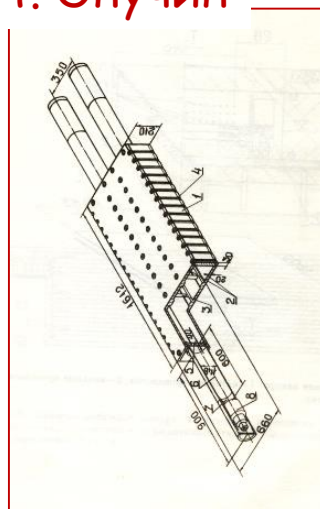
,?



Первое применение черенковского счетчика на встречных пучках



АТ. Онучин



Системы детектора (1969):

- 1 - трековая
- 2 - **идентификации**
- 3 - эл.магн. Калориметр
- 4 - адронный детектор
- 5 - мюонный детектор
- 6 - нет магн. поля

Продолжающиеся работы

1. $e+e \rightarrow \pi+\pi^-$, 1966 $\rightarrow$ продолжается сейчас $\rightarrow$ АМММ
2. $e+e \rightarrow 4\pi$, 1969 $\rightarrow$ продолжается сейчас $\rightarrow$ R
3. Черенк.счетч. 1970 $\rightarrow$ аэрогель на СНД
4. Поляризация 1970 (ВЭПП-2) $\rightarrow$ ВЭПП 2М.-4М,-2000
5. Обр.комpton 1974 (ВЭПП-3) $\rightarrow$ ОКР на ВЭПП-2000
6. 2γ -физика 1969 (ВЭПП-2) $\rightarrow$ + ВЭПП-2000

Новое (ВЭПП-2000) : нукл. формфакторы, R, ...

Вывод: на ВЭПП-2000 -
долгоиграющая физическая программа.
Имеет будущее !

Другие важные события тех лет, 1965 - 1975

1. VAPP - проект протон-антипротонного коллайдера $2 \times 25 \text{ GeV}$, + электр. охлаждение. Закрыт ~ 1975
VAPP $\rightarrow$ VEPP-4?, 2000 г. $\rightarrow$ pp достаточно, LHC
2. Линейный коллайдер VLEPP, $\sim 100 \text{ MeV/m}$, В.Балакин, Казачья грива, переезд в ИФВЭ, Тротвино, создана секция ускорения, проект SLC, SLAC, Z-boson, 1990
3. Термоядерная программа, модернизация, создание термоядерн., ДОЛ, 20 лет на создание т.я. реактора ?
4. Создание лаборатории 2, Л.М. Барков, опыты с эмульсиями угол Вайнберга, время-пролетн. детектор, серия КМД
5. Новые направления - ЭП Чемы, промышленные ускорители, синхротронное излучение
6. создание секционных советов, 1972

Спасибо за внимание

Автор выражает признательность
Е.В. Пахтусовой и Л.К. Кардапольцеву
за полезные обсуждения

