

**Г.И.Будкер, Е.А.Кушниренко, А.А.Наумов,
А.П.Онучин, С.Г. Попов, В.А.Сидоров,
А.Н.Скринский, Г.М.Тумайкин**

**Рассеяние электронов на электронах
при энергии 2×135 МэВ**

На встречных электронных пучках накопителя ВЭП-I измерено угловое распределение рассеяния электронов на электронах в диапазоне углов 40° - 90° при энергии 2×135 Мэв. Измерения проведены при помощи системы искровых камер с фотографической регистрацией. Результаты эксперимента подтверждают справедливость законов квантовой электродинамики вплоть до расстояний $0,6$ ферми.

Основной задачей создания первой в нашем институте установки ВЭП-I со встречными пучками электронов /1/ являлась разработка метода встречных пучков, открывающего новые широкие возможности для экспериментов по физике высоких энергий. Успешное проведение на этой установке первых измерений электрон-электронного рассеяния /2/ так же, как и аналогичные результаты принстон-стэнфордской группы физиков /3/, доказали практическую осуществимость нового метода.

В точности экспериментов по проверке применимости квантовой электродинамики на малых расстояниях наша установка не может конкурировать с принстон-стэнфордской из-за меньшей предельной энергии. Кроме того, отсутствие прямолинейных промежутков на нашей установке создает неудобства для проведения экспериментов и снижает их точность.

Несмотря на это, актуальность вопроса и новизна метода делают измерения углового распределения электрон-электронного рассеяния на установке ВЭП-I не только оправданными, но и представляющими значительный интерес.

Магнитные дорожки накопителя установки ВЭП-I имеют радиус 43 см и расположены таким образом, что их медианная плоскость вертикальна и одно кольцо находится над другим. Против точки касания орбит в общей части полюсов магнита сделаны щели для вывода электронов, претерпевших рассеяние в области встречи. Вертикальный угол раствора рабочей апертуры составляет около 10° .

На рис. I изображена схема эксперимента по измерению углового распределения электрон-электронного рассеяния. Регистрация рассеянных электронов производится системой цилиндрических искровых камер, расположенных концентрично вокруг вертикальной оси, проходящей через центр области встречи. Объектив фотокамеры расположен на той же оси. Используемая система призм имеет аксиальную симметрию. Пластины искровых камер изготовлены

из листов дюралюминия толщиной 0,3 мм. Большие камеры имеют по 4 искровых промежутка шириной 1 см, малые - по 2. Радиус центральной пластины большой камеры 82 см, малой - 41 см. Каждая камера имеет шкалу с градусными делениями. Координата ψ трека измеряется при помощи системы наклонных зеркал, расположенных под искровыми камерами.

Запуск искровых камер производится системой из 10 сцинтилляционных счетчиков, включенных в схему совпадений, как показано на рис.2. Разрешающее время схемы совпадений $2\tau = 10$ нсек, эффективность регистрации не ниже 95%.

На установке ВЭП-1 велись измерения при трех значениях энергии электронов: 2x43, 2x135 и 2x160 Мэв. Первое значение соответствует энергии инжекции электронов в накопитель. В этом случае каждый импульс инжектора используется для добавления электронов на одну из дорожек накопителя. Работа при более высокой энергии распадается на отдельные циклы измерений длительностью около 400 сек. Половина этого времени затрачивалась на накопление электронов и подем энергии. Измерения начинались при токах около 50 ма и прекращались при снижении произведения токов в 10 раз.

Настройка оптимальных условий встречи пучков и оперативный контроль за сохранением этих условий во время эксперимента проводились при помощи системы сцинтилляционных счетчиков, регистрирующих электрон-электронное рассеяние под малым углом $\psi/4$.

Измерения велись в трех режимах: основном рабочем режиме - "эффект", при разведении электронных пучков по фазе или в аксиальном направлении - "фон" и в отсутствии пучков - "космика". Циклы измерений эффекта и фона непрерывно чередовались. Удобным монитором при этом служил куламетр - прибор для измерения "дебета" установки, определенного как интеграл по времени от произведения токов пучков $\psi/4$. Естественной единицей измерения дебета является кулам (кулон x ампер).

К настоящему времени закончена обработка результатов, для энергии электронов 2x135 Мэв. В этой серии измерений получено

около 32 тысяч кадров. На рис. 3 изображена фотография типичного случая электрон-электронного рассеяния. При просмотре в качестве "подозрительных" были выделены фотографии, на которых траектории разлета двух электронов грубо коллинеарны. Информация о подозрительных кадрах введена в электронную вычислительную машину, которая, восстанавливая пространственную картину события, находит координаты точек пересечения траекторий электронов с медианной плоскостью накопителя. Событием рассеяния признается случай, удовлетворяющий некоторым критериям по расстоянию между полученными таким образом точками для двух электронов (Δx и Δy), по величине среднего значения координат этих точек (\bar{x} и \bar{y}) и по коллинеарности. В таблице сведены результаты такой отбраковки.

Т а б л и ц а

	Эффект	Фон	Космика
Дебет (кулам)	62,7	27,6	-
Время (час)	44,5	17,3	21,9
Полное число кадров	20620	8734	2934
Число "подозрительных" кадров	4596	1664	139
Число "событий рассеяния"	1219	27	17
То же при $50^\circ < \theta < 140^\circ$	957	27	16

На рисунках 4-6 для примера показаны гистограммы распределений Δx , \bar{x} и $\Delta \theta$ для "событий рассеяния" и выбранные критерии. На гистограмме распределения $\Delta \theta$ представлены также случаи, не удовлетворяющие критерию по этому параметру.

Интеграл сечения меллеровского рассеяния по апертуре нашей системы регистрации в пределах $50^\circ < \theta < 140^\circ$ для центра области встречи составляет $100/\gamma^2$ мбарн, что для энергии электронов 2x135 Мэв дает величину 1,4 мкбарн. Усреднение по всей области встречи снижает эту величину до 0,9 мкбарн. По числу зарегистрированных событий рассеяния для средней удельной

светимости /4/ установки ВЭП-1 получена величина $1,5 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ кулам}^{-1}$, что не противоречит данным о поперечных размерах пучков.

На рис. 7 показано угловое распределение зарегистрированных событий рассеяния; вертикальными линиями выделена рабочая область апертуры $50^\circ < \theta < 140^\circ$, свободная от краевых эффектов.

Полученное угловое распределение проверено на совместимость по критерию χ^2 с сечением меллеровского рассеяния. Полученное значение вероятности $P(\chi^2) = 72\%$ свидетельствует об отсутствии заметных нарушений квантовой электродинамики. По аналогии с процедурой обработки, примененной принстон-стэнфордской группой физиков /3/, используя фейнмановский регулятор функции распространения фотона

$$\frac{1}{q^2} \rightarrow \frac{1}{q^2} \cdot \frac{1}{1 - \lambda^2 q^2}$$

получено оптимальное по χ^2 значение элементарной длины λ , отражающей возможное нарушение квантовой электродинамики /5-7/

$$\lambda_{\text{опт}}^2 = 0,11 \text{ ферми}^2,$$

границы области для которой $P(\chi^2) > 32\%$

$$- 0,11 < \lambda^2 < 0,38 \text{ ферми}^2.$$

Радиационные поправки не принимались во внимание, так как их угловая зависимость очень слаба и не приводит к изменению углового распределения меллеровского сечения больше, чем на 1% /8/. На рис. 8 изображены расчетные кривые угловых распределений для граничных значений λ^2 и наши экспериментальные результаты.

Полученные результаты практически нечувствительны к способу нормировки фона из-за его небольшой величины.

Подписи к рисункам

- Рис. 1. Схема расположения регистрирующей системы:
1 - магнит накопителя, 2 - область встречи пучков, 3 - искровые камеры, 4 - зеркала, 5 - призмы, 6 - сцинтилляционные счетчики, 7 - фотокамера.
- Рис. 2. Включение сцинтилляционных счетчиков в схему совпадений.
1 - сцинтилляционные счетчики, 2 - схемы совпадений, 3 - выход на запуск искровых камер.
- Рис. 3. Типичная фотография события электрон-электронного рассеяния.
- Рис. 4. Гистограммы распределения ΔX для "событий рассеяния". Вертикальными линиями показаны критерии отбраковки.
- Рис. 5. Гистограммы распределения \bar{X} для "событий рассеяния". Вертикальными линиями показаны критерии отбраковки.
- Рис. 6. Гистограммы распределения $\Delta \theta$ для "событий рассеяния". Вертикальными линиями показаны критерии отбраковки. В гистограмму включены также случаи, не удовлетворяющие этим критериям.
- Рис. 7. Гистограмма углового распределения "событий рассеяния". Вертикальными линиями выделена рабочая область апертуры.
- Рис. 8. Угловое распределение электрон-электронного рассеяния. Показаны кривые для двух значений λ^2 , соответствующих $P(\chi^2) = 32\%$.

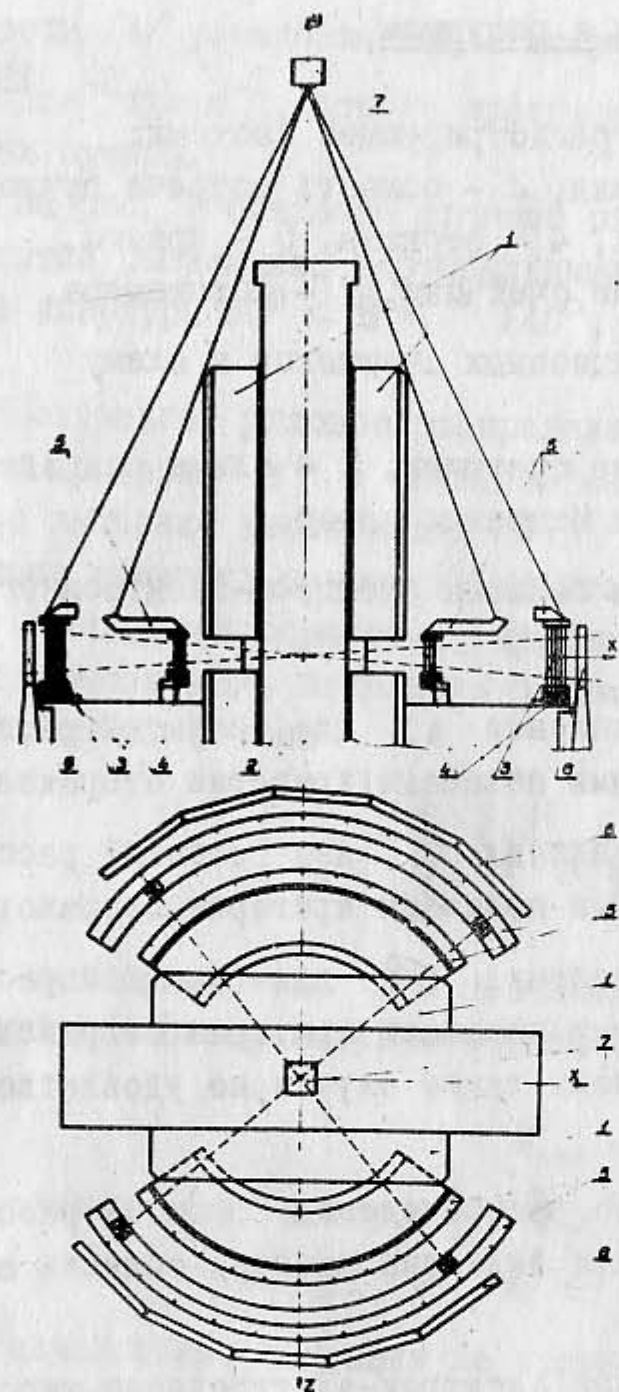


Рис. 1.

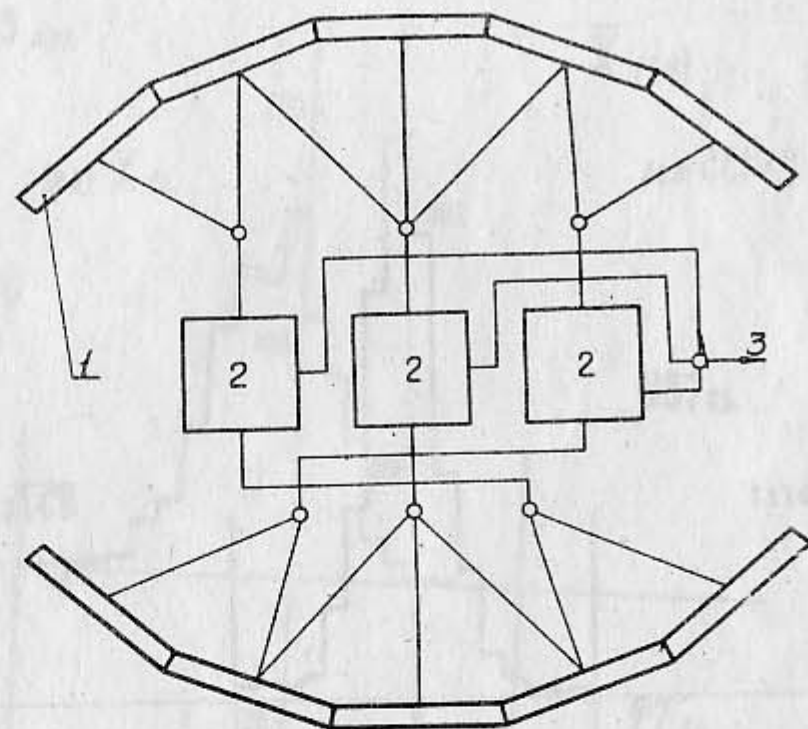


Рис. 2.

71399
513

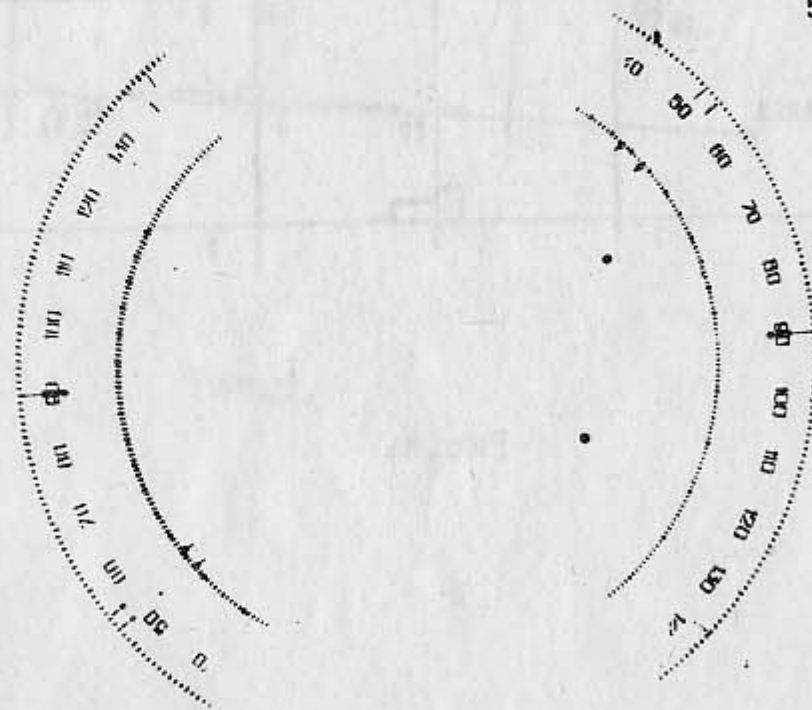


Рис. 3.

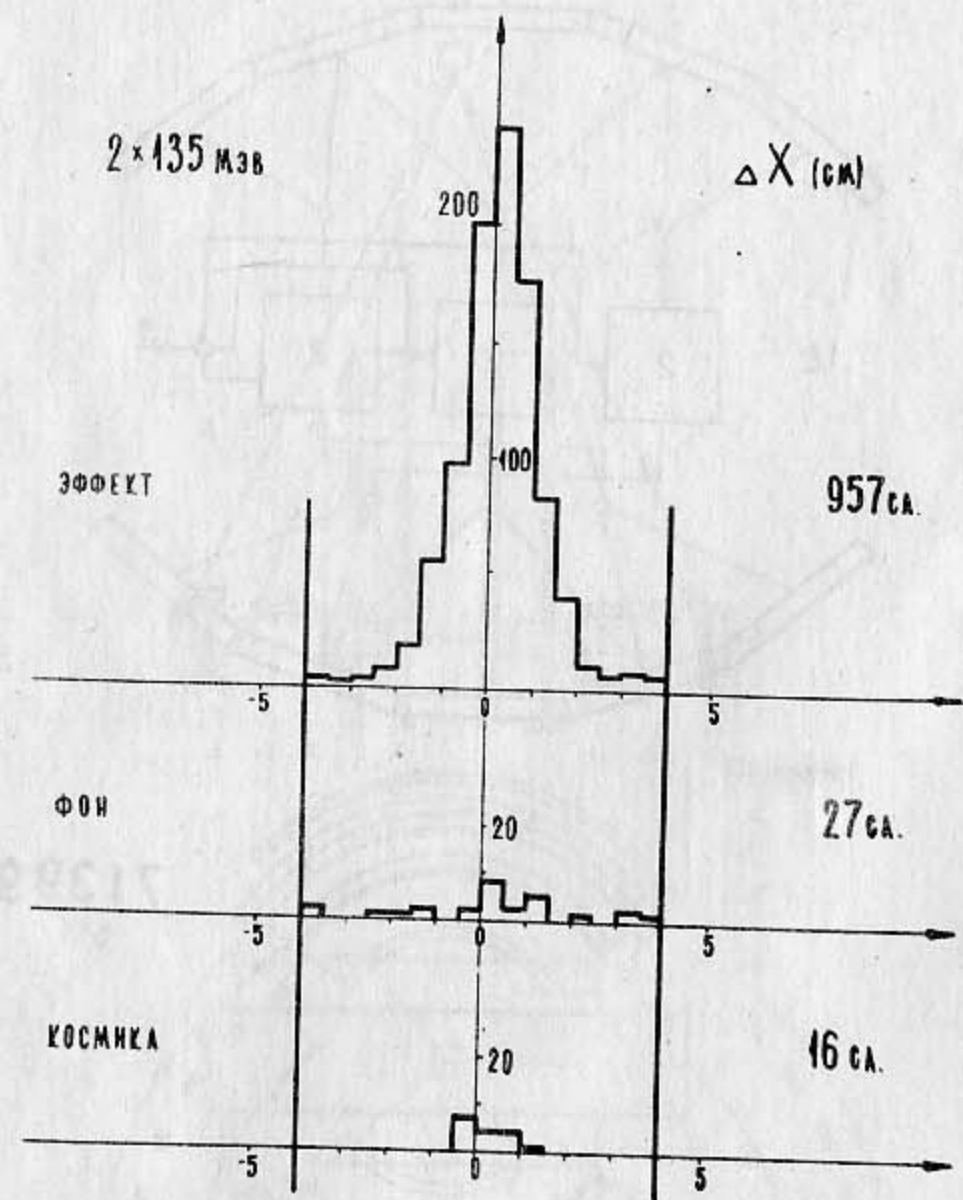


Рис. 4.

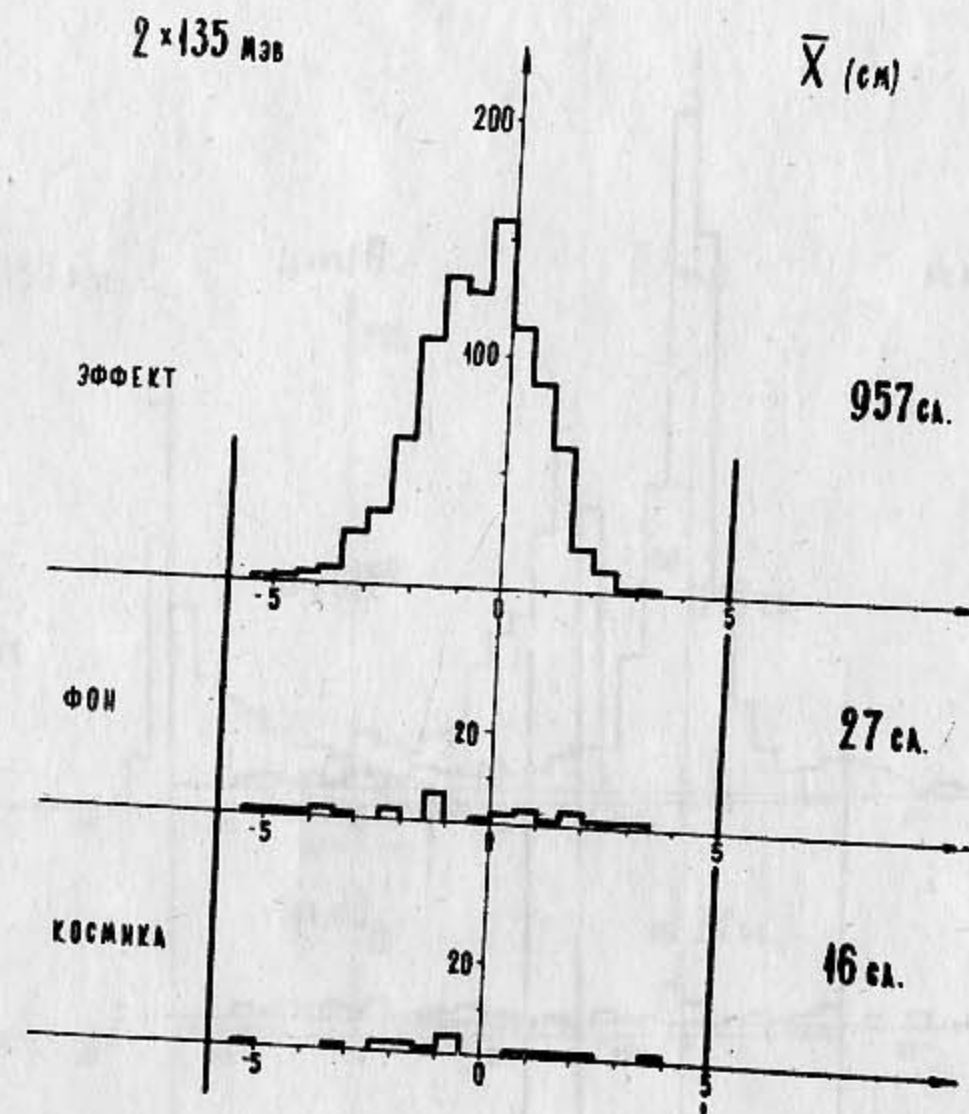


Рис. 5.

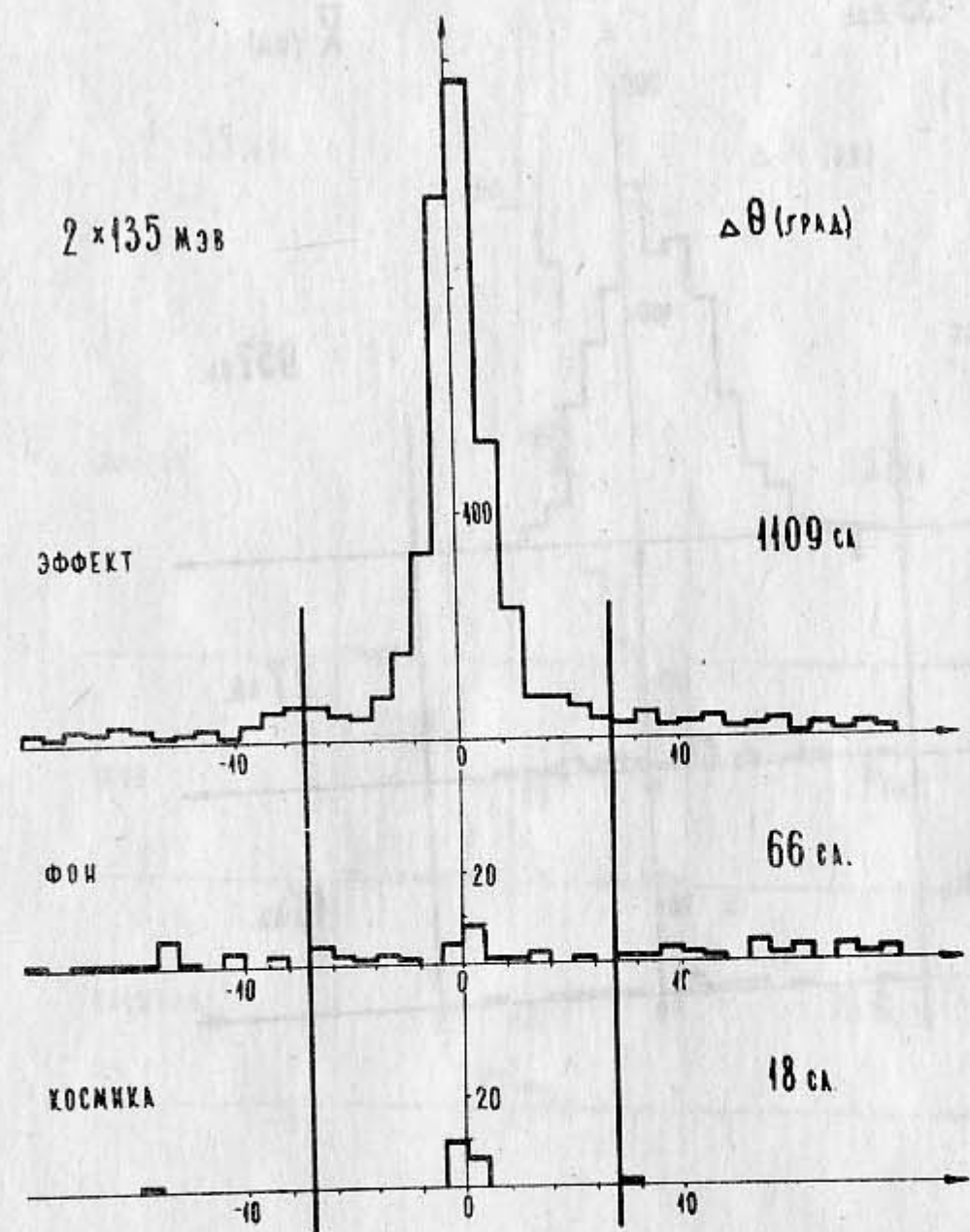


Рис.6.

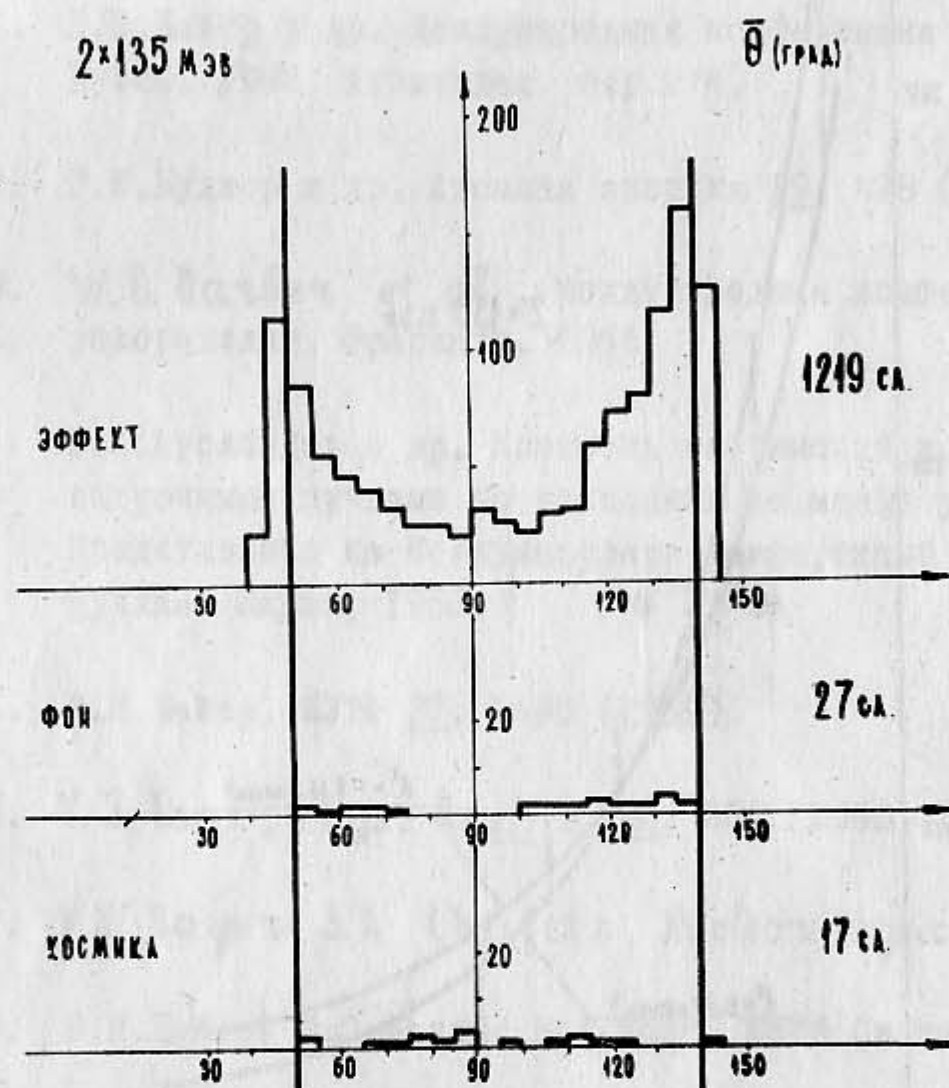


Рис.7.

Л и т е р а т у р а

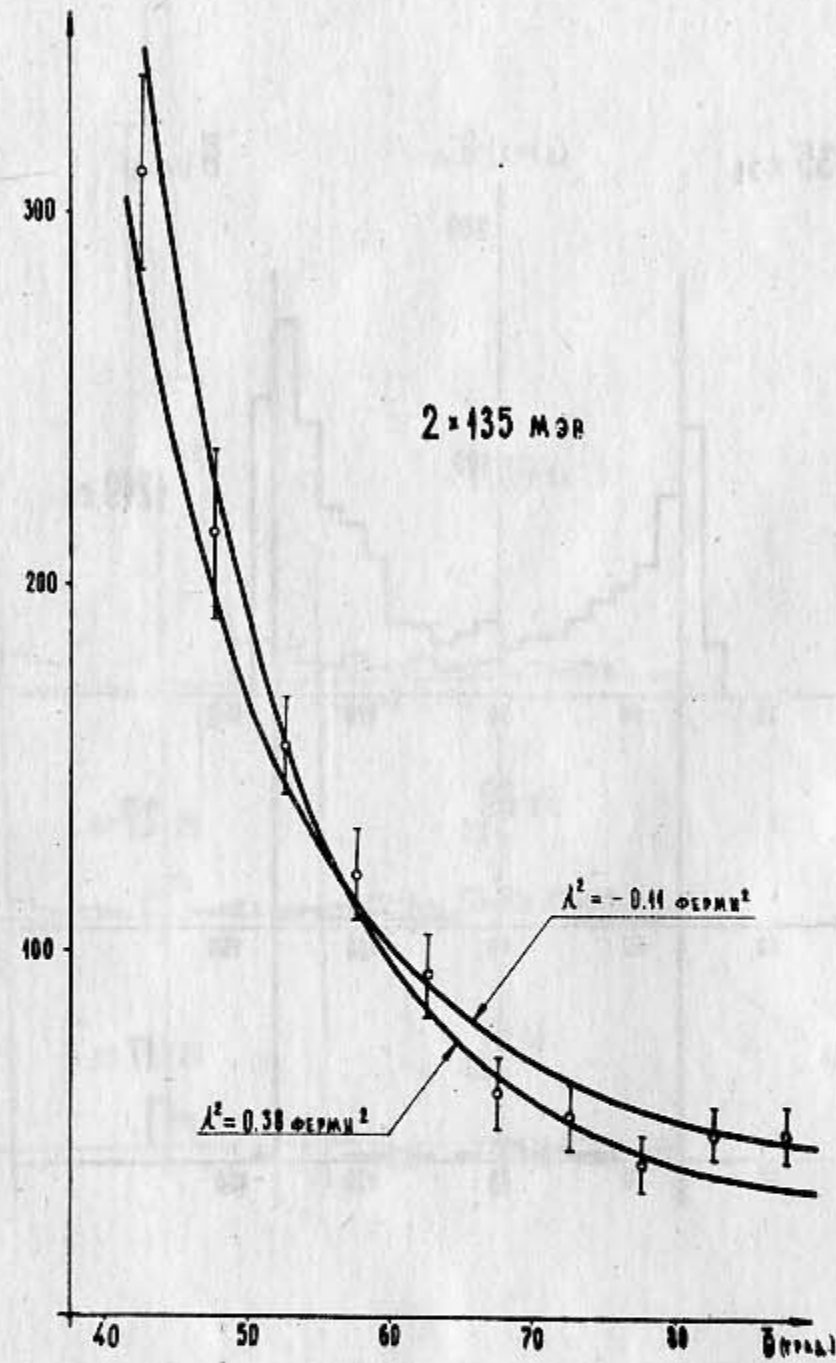


Рис.8.

1. В.Н.Байер и др. Международная конференция по ускорителям, Дубна, 1963. Атомиздат, стр.274.
2. Г.И.Будкер и др. Атомная энергия 19, 498 (1965).
3. **W.C. Barber et al.** . Международная конференция по ускорителям, Фраскати, 1965.
4. В.Л.Ауслендер и др. Контроль светимости установок со встречными пучками по рассеянию на малые углы. Представлено на Международную конференцию по встречным пучкам. Париж, 1966.
5. В.Н.Байер, ЖЭТФ 37, 1490 (1959).
6. Y. S. Tsai, Phys. Rev. , 120, 269 (1960).
7. Y.M. Bayer, S.A. Kheifets, Nuclear Physics , 47, 313 (1963)
8. В.Н.Байер, В.С.Фадин, В.А.Хозе, ЖЭТФ (в печати).