

с энергией электронов $1,5 \text{ Мэв}$ и мощностью выведенного в воздух пучка 25 квт . К. п. д. ускорителя превышает 90% . Внешние ускоритель представляет собой бак диаметром $1,2 \text{ м}$ и высотой $2,0 \text{ м}$ без каких-либо наружных высоковольтных или радиотехнических устройств. В ближайшее время предполагается запустить ускоритель такого же типа с энергией 3 Мэв , а также аналогичный импульсный ускоритель значительно меньших размеров. Мы предполагаем также использовать эти ускорители как электронные и позитронные инжекторы в синхротрон.

В настоящее время в Институте работают две установки со встречными пучками. На установке ВЭП-1 со встречными электрон-электронными пучками ведутся эксперименты по рас-

сеянию электронов на электронах на большие углы. На установке ВЭП-2 со встречными электрон-позитронными пучками с максимальной энергией $2 \times 700 \text{ Мэв}$ эксперименты только начинаются. Проектируется установка для легких частиц на высокие энергии, а также установки со встречными протонными пучками.

На всех установках мы никак не связываем энергию инжекции с предельной энергией накопителя. Энергия инжектора существенно ниже. Ускорение до предельной энергии производится в накопителе путем подъема магнитного поля после накопления частиц. Это обходится значительно дешевле и несущественно усложняет эксплуатацию.

Работы по встречным пучкам ведутся под руководством А. А. Наумова и автора доклада.

II. Состояние работ на электронном накопителе ВЭП-1

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

На предыдущей конференции по ускорителям в 1963 г. сообщалось о сооружении установки ВЭП-1, предназначенной для экспериментов по рассеянию электронов на электронах при энергиях до $2 \times 130 \text{ Мэв}$ [1]. К тому времени на этой установке были проведены первые опыты по накоплению электронов на одну магнитную дорожку. В работе, сделанной за последние два года, можно выделить следующие основные этапы: накопление электронов одновременно на двух дорожках, изучение некоторых эффектов взаимодействия двух пучков [2] и измере-

ние светимости установки по рассеянию электронов на электронах в диапазоне углов $45-90^\circ$.

Установка ВЭП-1. Общая схема установки показана на рис. 1. Ее основными элементами являются две спаренные высоковакуумные магнитные дорожки, специальный электронный синхротрон Б-2С, электронно-оптический канал и система однооборотного вывода пучка из ускорителя и ввода его в накопитель [1, 3].

Радиус магнитных дорожек накопителя 43 см , апертура $3 \times 4 \text{ см}$. Против точки касания орбит в общей части полюсов магнита сделаны

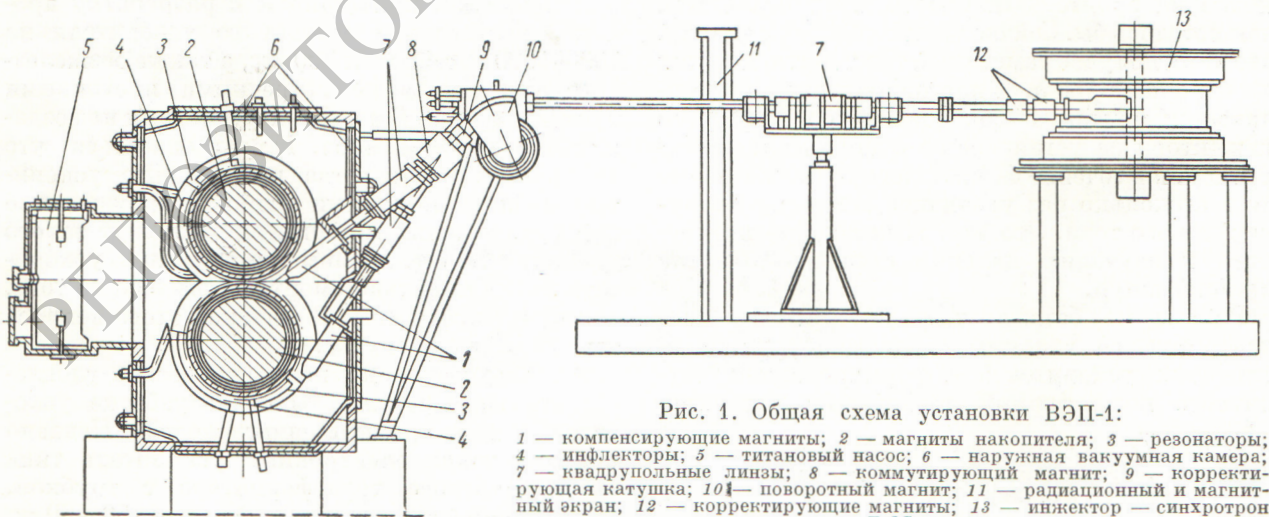


Рис. 1. Общая схема установки ВЭП-1:

1 — компенсирующие магниты; 2 — магниты накопителя; 3 — резонаторы; 4 — инфлекторы; 5 — титановый насос; 6 — наружная вакуумная камера; 7 — квадрупольные линзы; 8 — коммутирующий магнит; 9 — корректирующая катушка; 10 — поворотный магнит; 11 — радиационный и магнитный экран; 12 — корректирующие магниты; 13 — инжектор — синхротрон Б-2С.

щели для вывода электронов, рассеянных в месте встречи пучков. Медианная плоскость накопительных колец вертикальна.

Резонаторы накопителя работают на второй гармонике частоты обращения электронов. Кроме резонаторов и инфлекторов каждое накопительное кольцо оснащено несколькими механическими пробниками, системой оптического наблюдения пучка, пластинами управления положением и поперечными размерами пучка и устройством для изменения и измерения частоты бетатронных колебаний частиц. Специальной модуляцией ВЧ-напряжения на резонаторах можно увеличивать амплитуду радиально-фазовых колебаний. Вопросы наблюдения пучков электронов в накопителе и управления их параметрами изложены в работе [4].

Энергия инжекции электронов в накопитель 43 Мэв. В качестве инжектора используется специальный безжелезный синхротрон Б-2С со спиральным накоплением электронов [3]. Ток выведенного из синхротрона пучка в импульсе длительностью меньше 5 нсек составляет около 300 ма (больше 10^{10} частиц). Разброс по энергии не превышает 0,2%. Частота повторения импульсов ускорения — один раз в 15 сек.

Большая часть работы с пучком в накопителе проведена на энергии инжекции. В этом случае каждый импульс инжектора использовался для добавления электронов на одну из дорожек накопителя. Работа на более высокой энергии распадается на циклы длительностью около 10 мин. Лишь половина времени цикла идет на измерения, остальное тратится на накопление электронов и изменение напряженности магнитного поля на дорожках.

Накопление электронов. Несмотря на то что за один импульс удается инжектировать в накопитель ток свыше 100 ма, средний импульс инжекции не превышает 10 ма. Стабильность режима инжекции оставляет желать лучшего. Максимальный ток на любой из дорожек накопителя доводится до 200 ма. Ограничения накладываются неустойчивостями, возникающими при взаимодействии пучка с резонатором [5].

На рис. 2 приведена зависимость времени жизни электронов в накопителе от величины тока пучка при энергии 43 Мэв.

Рис. 3. дает представление о поперечных размерах пучка при энергии 43 Мэв и их зависимости от величины накопленного тока. Измерения выполнены при помощи фотоумножителя и расположенной перед ним быстро двигаю-

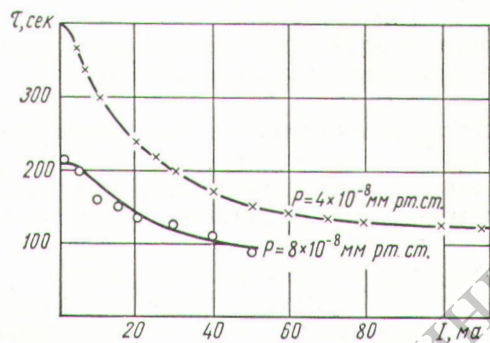


Рис. 2. Зависимость времени жизни электронов от величины тока пучка; энергия 43 Мэв; напряжение на резонаторе 5 кв.

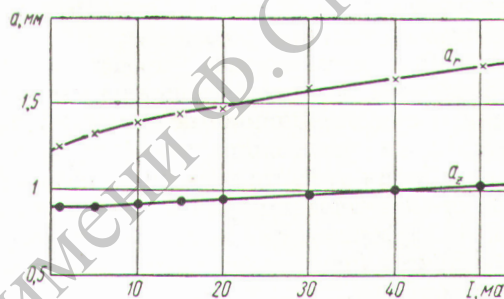


Рис. 3. Зависимость радиального (a_r) и аксиального (a_z) размеров сгустка от величины тока пучка; энергия 43 Мэв, $P = 8 \cdot 10^{-8}$ мм рт. ст.

щейся диафрагмы, на которую спроектировано изображение наблюдаемого пучка. Эти результаты согласуются с оценками ухудшения вакуума в пучке вследствие компенсации его заряда ионами остаточного газа.

Радиальный размер пучка больше аксиального за счет вклада радиально-фазовых колебаний. Их амплитуда тоже растет с увеличением тока пучка, что видно из рис. 4, показывающего зависимость азимутальных размеров сгустка от величины тока пучка. Измерения проведены с разрешающей способностью около 1 см при помощи электронно-оптического пре-

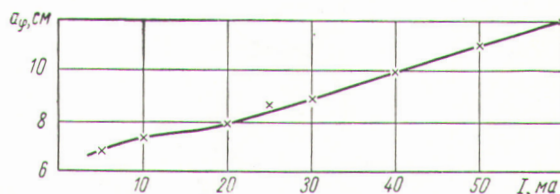


Рис. 4. Зависимость азимутального размера сгустка от величины тока пучка; энергия 43 Мэв; напряжение на резонаторе 5 кв.

образователя. Интересно отметить, что искусственное увеличение поперечных размеров пучка приводит к уменьшению фазовых размеров сгустка.

При увеличении энергии электронов поперечные размеры пучка уменьшаются. В наших условиях это приводит к увеличению роли АДА-эффекта и резкому сокращению времени жизни пучка. Ситуацию спасает искусственное увеличение радиального размера пучка.

Измерение светимости. Окончательная настройка установки и контроль за эффективностью процесса встречи проводятся по регистрации электрон-электронного рассеяния на малые углы. Большое сечение этого процесса позволяет без существенных затрат времени находить оптимальные условия работы, варьируя многочисленные параметры установки.

Геометрия эксперимента представлена на рис. 5. Каждая магнитная дорожка накопителя имеет два сцинтилляционных счетчика, расположенных на расстоянии четверти бетатронного колебания от места встречи по ходу пучка. Счетчики включены попарно в две схемы совпадений с эффективным временем разрешения $2\tau = 4,5$ нсек (расстояние между двумя сгустками на орбите).

Система счетчиков регистрирует пары электронов, рассеявшихся на угол около $1,5^\circ$. Эффективное сечение рассеяния, проинтегрированное по углу, охватываемому двумя парами счетчиков, составляет $200/\gamma^2$ барн, или 30 мбарн для энергии электронов 43 Мэв. Работа ведется при уровне фона (случайные совпадения), сравнимом с величиной измеряемого эффекта. Фон измеряется параллельными схемами совпадений с задержкой в одном из плеч.

Мерой эффективности процесса встречи может служить число отсчетов такой системы, нормированное на интеграл произведения токов двух

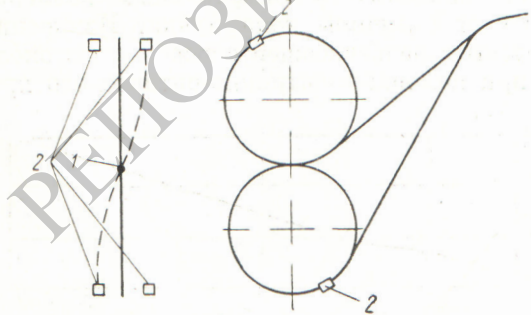


Рис. 5. Схема расположения счетчиков для регистрации электрон-электронного рассеяния на малые углы:

1 — место встречи; 2 — сцинтилляторы счетчиков.

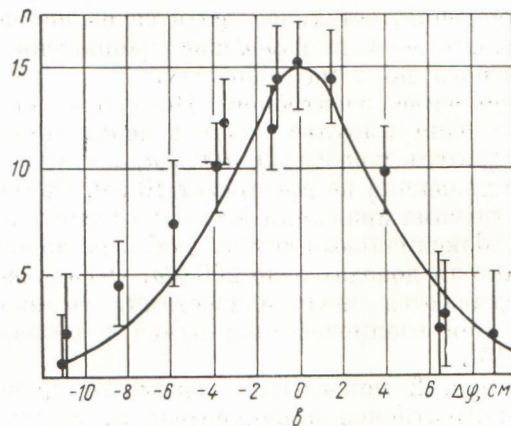
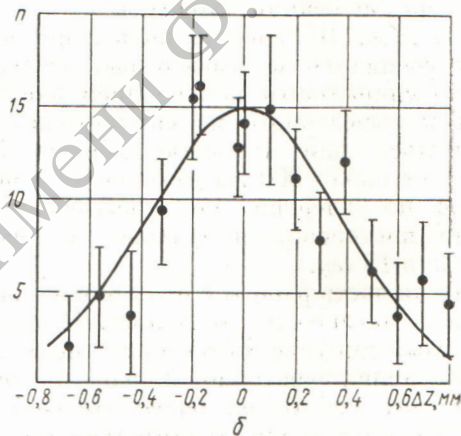
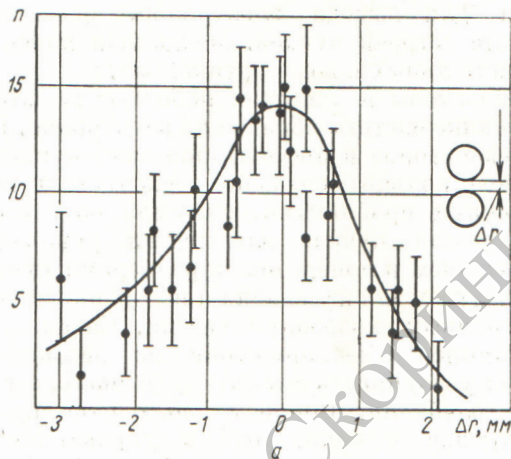


Рис. 6. Зависимость эффективности встречи от разведения пучков в радиальном (а) и аксиальном (б) направлениях и разведения сгустков по фазе (в). По оси ординат отложено число отсчетов на 1 мкАм; измерения велись при токах около 15 мА в каждом пучке; сплошные линии — расчетные кривые; нормировка произведена в максимуме счета.

пучков за время измерений. Удобной единицей измерения этого интеграла оказался кулам (сокращенное от кулон-ампер). За час работы установка может дать до 3 кулам. Средний ток на каждой дорожке около 30 ма. Работа с большими токами нерациональна из-за резкого усиления «эффектов встречи» [2].

На рис. 6 приведены результаты измерения эффективности встречи в зависимости от смещения пучков в радиальном и аксиальном направлениях, а также от разведения сгустков по фазе. Форма кривых хорошо согласуется с данными о размерах сгустка. Абсолютная величина счета в несколько раз меньше ожидаемой. Расхождение, по-видимому, можно отнести за счет неточности геометрических условий эксперимента. Предположение о когерентных колебаниях специального вида, снижающих эффективность встречи, противоречит данным о влиянии поперечных размеров пучка на эффективность встречи. Независимо от того, вызывается ли увеличение поперечных размеров искусственным возбуждением бетатронных колебаний или эффектами встречи [2], наблюдаемое при этом уменьшение скорости счета хорошо согласуется с вычислениями, сделанными для «чисто некогерентных» размеров.

Величина светимости, определяемая как частное от деления наблюдаемой скорости счета на эффективное сечение процесса, составляет по порядку величины $10^{27} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Она не противоречит первым результатам экспериментов по двойному тормозному излучению, наблюдаемому при рассеянии электронов на электронах.

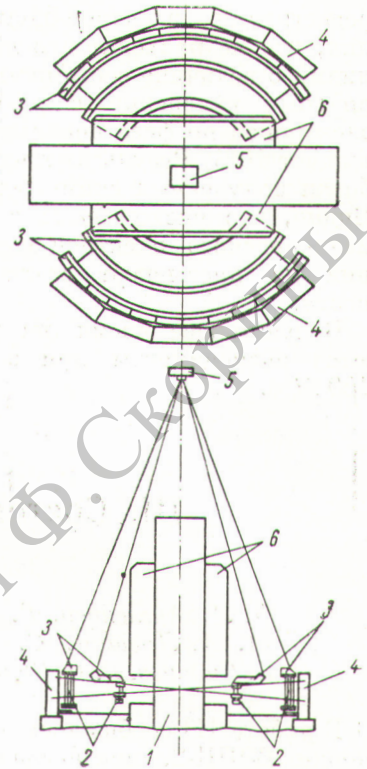
Первые эксперименты по электрон-электронному рассеянию. На рис. 7 показана схема эксперимента по измерению углового распределения рассеяния электронов на электронах в диапазоне углов 45—90°. Регистрирующая система состоит из четырех цилиндрических искровых камер с вертикальной осью, проходящей через место встречи пучков. Объектив фотокамеры расположен на той же оси; используемая система призм имеет аксиальную симметрию. Вторая координата трека измеряется при помощи наклонных зеркал, расположенных под искровыми камерами.

Запуск искровых камер производится схемой совпадений, включенной между двумя группами, содержащими по пять сцинтилляционных счетчиков.

Телесный угол регистрирующей системы ограничивается апертурой щелей в теле магнита накопителя. Эффективное сечение мёллеров-

Рис. 7. Схема расположения регистрирующей системы:

- 1 — вакуумная камера;
- 2 — искровые камеры;
- 3 — призмы;
- 4 — сцинтилляционные счетчики;
- 5 — фотокамера;
- 6 — магнит верхней дорожки.



ского рассеяния, проинтегрированное по этому телесному углу, составляет $100/\gamma^2$ мбарн.

В первых экспериментах, проведенных на энергии электронов 43 Мэв, система искровых камер срабатывала более 300 раз за 1 кулам; при этом около 10 снимков соответствовало

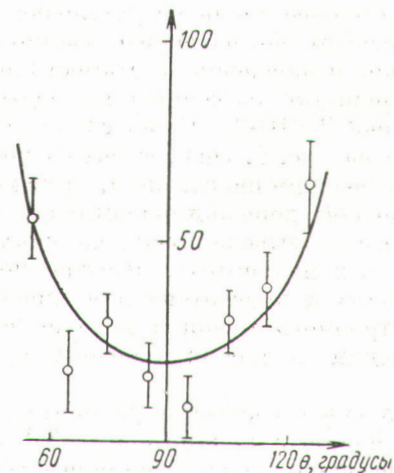


Рис. 8. Угловое распределение электрон-электронного рассеяния. Показана расчетная кривая мёллеровского сечения.

регистрации электрон-электронного рассеяния, что не расходится с нашими представлениями о величине светимости установки. Контрольные измерения с разведением сгустков электронов по фазе показали, что фон не превышает 10%. Результат предварительной обработки полученных снимков показан на рис. 8. Видно, что расхождения с расчетной кривой мёллеровского электрон-электронного рассеяния не превышают статистической погрешности.

В настоящее время на установке начинаются эксперименты при энергии электронов 100 Мэв.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Байер и др. В кн. «Труды Международной конференции по ускорителям (Дубна, 1963)». М., Атомиздат, 1964, стр. 274.
2. Г. Н. Кулипанов. Экспериментальные данные по взаимодействию пучков при встрече. Доклад, представленный СССР на Международную конференцию по ускорителям (Фраскати, 1965).
3. Е. А. Абрамян и др. См. [1], стр. 1065.
4. Э. И. Зинин и др. Система управления и контроля параметров электронных пучков в накопителе ВЭП-1. Доклад, представленный СССР на Международную конференцию по ускорителям (Фраскати, 1965).
5. В. Л. Ауслендер и др. Доклад, представленный СССР на Международную конференцию по ускорителям (Фраскати, 1965).

III. Состояние работ на позитрон-электронном накопителе ВЭП-2

В. Л. Ауслендер, Г. А. Блинов, Г. И. Будкер, М. М. Карлинер, А. В. Киселев, А. А. Лившиц, С. И. Мишнев, А. А. Наумов, В. С. Панасюк, Ю. Н. Пестов, В. А. Сидоров, Г. И. Сильвестров, А. Н. Скринский, А. Г. Хабахпашев, И. А. Шехтман

В работе [1] сообщалось о сооружении установки ВЭП-2, предназначенной для экспериментов по взаимодействию позитронов и электронов с энергией до 2×700 Мэв. В работе, проделанной за последние два года, можно выделить следующие основные этапы: запуск синхротрона-инжектора; получение больших электронных токов в накопителе; изучение неустойчивости, связанной с взаимодействием пучка с резонатором [2], и накопление позитронов. В настоящее время на установке ВЭП-2 ведутся работы по изучению взаимодействия двух пучков и измерению светимости по позитрон-электронному рассеянию на малые углы.

Установка ВЭП-2. Общая схема установки приведена на рис. 1. Она состоит из синхротрона Б-3М с внешним инжектором, высоковакуумной магнитной дорожки-накопителя, системы однооборотного вывода пучка из синхротрона и ввода его в накопитель, электронно-оптических каналов и конвертера для преобразования электронного пучка в позитронный. Все эти элементы подробно описаны в работах [1, 3].

Используемый в качестве ускорителя-инжектора специальный синхротрон Б-3М работает в настоящее время в облегченном режиме с энергией до 200 Мэв; ток выведенного из синхротрона пучка в импульсе длительностью меньше 20 нсек достигает 100 ма (больше 10^{10} частиц);

разброс по энергии не превышает 0,2%; частота повторения импульсов ускорения равна ~ 3 гц. Работе по запуску синхротрона Б-3М посвящен доклад, представленный на конференцию по ускорителям в 1963 г. [4].

Накопительная дорожка представляет собой слабофокусирующий рейстрек с четырьмя одинаковыми прямолинейными промежутками. Радиус равновесной орбиты 150 см, длина прямо-

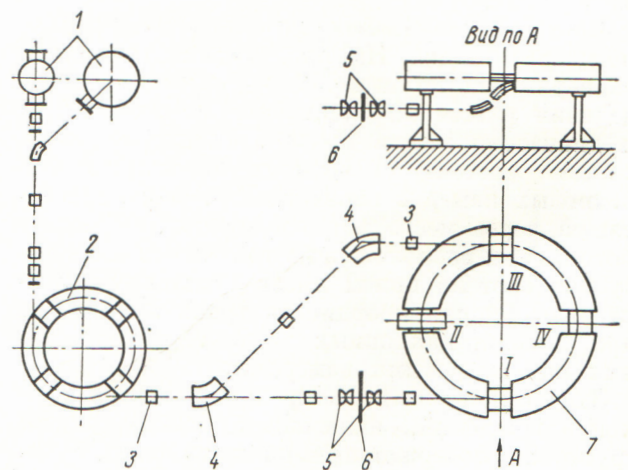


Рис. 1. Общая схема установки ВЭП-2:
1 — инжекторы; 2 — синхротрон Б-3М; 3 — квадрупольные линзы; 4 — поворотные магниты; 5 — параболические линзы; 6 — конвертер; 7 — накопительная дорожка.