

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. Буджер, 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. Хабахнашев, 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 конвертора 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-

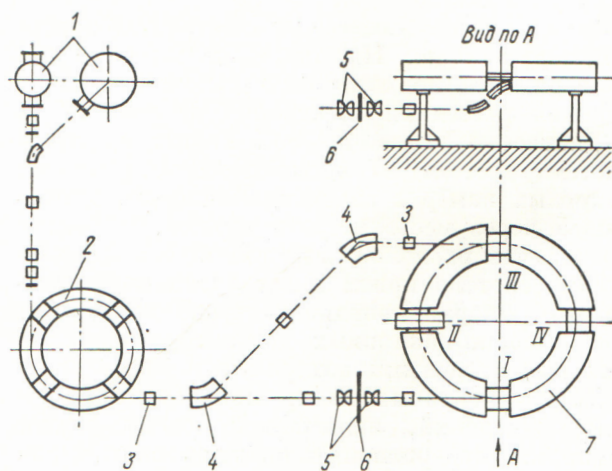


Рис. 1. Общая схема установки ВЭП-2:
1 — инжекторы; 2 — синхротрон Б-3М; 3 — квадрупольные линзы; 4 — поворотные магниты; 5 — параболические линзы; 6 — конвертер; 7 — накопительная дорожка.

линейного промежутка 60 см, апертура камеры 8×14 см². Два промежутка используются для инъекции электронов и позитронов; в третьем расположен высокочастотный резонатор; промежуток, противоположный резонаторному, предназначен для проведения экспериментов.

Высокочастотная система накопителя работает на первой гармонике частоты обращения частиц, равной 25,1 Мгц. Резонатор коаксиальный, полуволновый, сильно нагруженный конденсатором из двух дисков; добротность около 4000. В настоящее время используется высокочастотный генератор мощностью 20 кВт, развивающий на резонаторе напряжение до 35 кВ.

В каждом квадранте два внутренних витка обмотки электромагнита питаются отдельно, что обеспечивает перемещение медианной плоскости в каждом квадранте на ± 1 см. Реальное положение орбит корректируется шунтировкой соответствующих квадрантов. Для управления относительным положением по вертикали орбит электронов и позитронов в квадрантах, не имеющих инфлекторных пластин, расположены «разводящие пластины», на которые может подаваться постоянное напряжение до 50 кВ, что позволяет регулировать угол пересечения электронного и позитронного пучков в месте встречи до 10^{-2} рад, а также разводить пучки при накоплении.

Восемью токовыми витками, расположенными в промежутке встречи пучков (рис. 2), можно регулировать частоту бетатронных колебаний в диапазоне $\Delta\nu \approx 0,1$, а также создавать зависимость частоты от радиуса $\frac{d\nu}{dR} \approx 0,03$ (квадратичная нелинейность) и амплитуды бетатронных колебаний $\frac{d\nu}{d(A^2)} \approx 0,04$ (кубическая

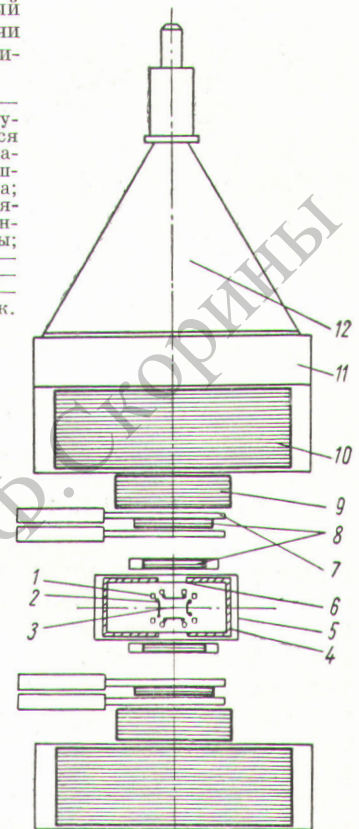
нелинейность). В этом же промежутке установлен электростатический квадруполь, позволяющий разводить частоты бетатронных колебаний электронного и позитронного пучков на $\Delta\nu \approx 0,05$. (Приведенные цифровые данные относятся к энергии электронов 100 Мэв.) В остальной системе управления и контроля параметров пучков аналогична используемой на установке ВЭП-1 [5].

Большое время жизни пучка позволяет не связывать рабочую энергию накопителя с энергией инъекции в накопитель. Необходимая рабочая энергия устанавливается подъемом магнитного поля после накопления.

Накопление электронов. Основные работы по изучению процесса инъекции в накопитель

Рис. 2. Вертикальный разрез области встречи и регистрирующей системы:

1 — токовые витки; 2 — электростатический квадруполь; 3 — встречающиеся пучки; 4 — внутренняя вакуумная камера; 5 — внешняя вакуумная камера; 6 — «окно»; 7 — сцинтилляционный счетчик; 8 — «тонкие» искровые камеры; 9 — ливневая камера; 10 — пробная камера; 11 — свинцовый экран; 12 — сцинтилляционный счетчик.



были проведены на энергии 100 Мэв. Этой энергии соответствует время радиационного затухания бетатронных колебаний около 1 сек, что и определяет выбранную частоту повторения циклов инъекции, равную 0,5 гц. Достигнутая на установке скорость накопления электронов составляет приблизительно 30 ма за импульс инъекции.

В накопителе был получен электронный ток около 0,5 а (10^{11} частиц). Ограничения наступают из-за неустойчивости, возникающей вследствие взаимодействия пучка с резонатором [2]. Поперечных неустойчивостей пучка не наблюдалось.

Если частоты бетатронных колебаний далеки от опасных резонансных значений, то время жизни электронов при естественных размерах установки и токах больше 1 ма определяется в основном АДА-эффектом [6]. Зависимость времени жизни электронов от величины тока пучка показана на рис. 3. При токе 100 ма и энергии 100 Мэв время жизни составляет 450 сек. Кривые сняты при вакууме около $3 \cdot 10^{-8}$ торр, получаемом без прогрева камеры.

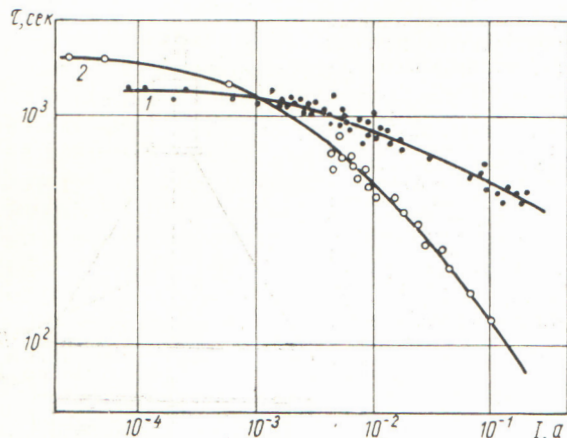


Рис. 3. Зависимость времени жизни электронов от величины тока пучка:
1 — 100 Мэв; 2 — 200 Мэв.

После прогрева время жизни при малых токах составляло более 3 ч. Затем энергия накопленного пучка была увеличена до 550 Мэв при напряжении на резонаторе 20 кВ. Повышение энергии пучка вызывает интенсивное выделение газа со стенок вакуумной камеры накопителя, уменьшающееся при длительной тренировке.

При работе с интенсивным пучком электронов в накопителе ВЭПП-2 наблюдалось интересное явление. При возбуждении бетатронных колебаний пучка однократными ударами инфлектора затухание большей части начальной амплитуды колебаний происходит за время, которое намного меньше времени естественного радиационного затухания. На рис. 4 приведена зависимость времени затухания от величины накопленного тока в присутствии ионов и без них. Зависимости времени затухания от частоты

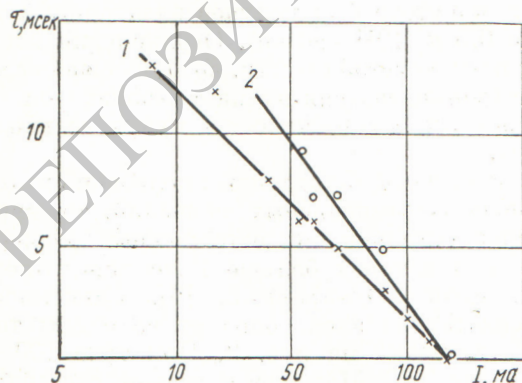


Рис. 4. Зависимость времени затухания от тока пучка в присутствии ионов (1) и без них (2).

бетатронных колебаний вдали от опасных резонансов в пределах точности измерений не обнаружено. Возможно, что этот эффект связан с резонансным возбуждением электромагнитных колебаний элементов вакуумной камеры.

Накопление позитронов. Электронный пучок конвертируется в позитронный на вольфрамовой пластине, помещенной в фокальной плоскости двух «параболических» линз; толщина пластины около одной радиационной единицы [11]. При фокусном расстоянии 10 см диаметр пучка на пластине конвертера не превышает 1 мм. Включение линз увеличивает эффективность инжекции примерно в 20 раз.

Работа ведется при энергии электронов 200 Мэв и позитронов 100 Мэв. Получена скорость накопления позитронов около 0,3 мка за импульс инжекции, что соответствует эффективному коэффициенту конверсии 10^{-5} . Максимальный ток позитронов, зарегистрированный в накопителе, составляет 0,4 ма (10^8 частиц).

В настоящее время осуществляется работа по увеличению скорости накопления позитронов.

Постановка экспериментов. Для проведения экспериментов по изучению взаимодействия позитронов и электронов подготовлена система искровых камер, охватывающая телесный угол $2 \times 0,7$ стер вблизи вертикального направления.

Первыми по пути разлетающихся частиц (см. рис. 2) помещены искровые камеры с тонкими пластинами для определения углов вылета частиц и координат точки взаимодействия. Магнитное поле, направленное вдоль линии встречи пучков, позволит определить знак заряда регистрируемых частиц. Сорт частицы можно будет определять по характеру их взаимодействия с материалом пластин «ливневых» и «пробежных» искровых камер. Довольно сложная система зеркал позволит пользоваться одной фотокамерой.

Запуск всей системы искровых камер производится четырьмя сцинтилляционными счетчиками размером 40×40 см², включенными в схему совпадений. Для защиты от космического излучения служит счетчик антисовпадений размером 120×120 см². Между этим счетчиком и камерами помещен слой свинца толщиной 20 см.

При энергии 2×300 Мэв и токах в накопителе 1×100 ма² такая система камер позволит регистрировать за 1 ч несколько актов упругого рассеяния позитронов на электро-

нах. Тот же порядок скорости счета ожидается для π -мезонных пар в максимуме кривой сечения, соответствующем образованию промежуточного ρ -мезона.

Для настройки встречи пучков в накопителе, измерения светимости и контроля за ней во время работы подготовлена система измерения позитрон-электронного рассеяния на малые углы, аналогичная используемой на установке ВЭП-1 [7]. Сцинтилляционные счетчики этой системы, помещенные в инжекционные прямолинейные промежутки накопителя, предназначены для регистрации позитрон-электронных пар, претерпевших рассеяние на угол около $1,5^\circ$.

Для уменьшения загрузки от интенсивного электронного пучка позитронный счетчик экранирован свинцом и разделен на два отдельных счетчика, помещенных на расстоянии 10 см друг от друга по ходу пучка и включенных на совпадения. Предварительное изучение фоновых условий производит удовлетворительное впечатление.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Ауслендер и др. В кн. «Труды Международной конференции по ускорителям (Дубна, 1963)». М., Атомиздат, 1964, стр. 247.
2. В. Л. Ауслендер и др. Фазовая неустойчивость интенсивного электронного пучка в накопителе. Доклад, представленный на Международную конференцию по ускорителям (Фраскати, 1965).
3. Г. П. Будкер и др. В кн. «Труды Международной конференции по ускорителям (Дубна, 1963)». М., Атомиздат, 1964, стр. 1065.
4. Г. П. Будкер и др. Запуск синхротрона Б-3М — инжектора для позитрон-электронного накопителя. Доклад, представленный на Международную конференцию по ускорителям (Фраскати, 1965).
5. Э. И. Зинин и др. Система управления и контроля параметров электронных пучков накопителя ВЭП-1. Доклад, представленный на Международную конференцию по ускорителям (Фраскати, 1965).
6. C. Bernardini et al. Phys. Rev. Letters, 10, 407 (1963).
7. Г. П. Будкер и др. Состояние работ на электронном накопителе ВЭП-1. Доклад, представленный на Международную конференцию по ускорителям (Фраскати, 1965).

IV. Сильноточный источник позитронов

Г. П. Будкер

Применяемый на установке ВЭПП-2 и других ускорителях метод получения позитронов обладает одним существенным недостатком — малым коэффициентом конверсии начального пучка электронов в узкий почти монохроматический пучок позитронов, необходимый для инжекции в ускорители и накопители.

Предлагаемый ниже метод получения почти монохроматических позитронов в узком интервале углов устраняет этот недостаток и практически разрешает проблему накопления позитронов. Кроме того, открывается возможность сооружения позитронных ускорителей или превращения уже имеющихся ускорителей в позитронные той же интенсивности.

Сущность метода состоит в том, что позитроны, полученные от пучка электронов сравнительно небольшой энергии (5—10 Мэв) в широком диапазоне энергий и углов, замедляются в специальной мишени до тепловых или около-тепловых скоростей, вытягиваются электрическим полем из мишени и затем ускоряются до энергии инжекции.

Особого внимания заслуживает явление образования позитрония и молекул газа с позитроном, что приводит к выходу позитронов из игры.

Путем подбора газа можно сделать образование позитрония во время замедления достаточно малым, так как при энергии позитронов ниже некоторой (для аргона 9 эв) позитроний не образуется. В тех случаях, когда прикладывается электрическое поле, его величину надо выбирать из тех соображений, чтобы температура позитронов была меньше этого порога.

Даже в благородных газах позитрон вступает в химическую связь с газом, образуя ионизированную молекулу. Однако этот процесс начинается с энергии ниже 1,5 эв. По случайному совпадению численных параметров время замедления от энергии 9 до 1,5 эв за счет упругих столкновений позитронов с молекулами близко к времени жизни позитронов вследствие аннигиляции, так что этим эффектом можно пренебречь. Наличие электрического поля приводит к нагреванию позитронного газа до нескольких электронвольт, и эффект образования молекул дополнительно уменьшается.

Возможны два варианта осуществления этой идеи, а также их комбинация.

Первый вариант — непрерывного действия — состоит в том, что к мишени (как правило, газовой) прикладывается электрическое поле,