

ПУЧКИ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА ЭНЕРГИЮ 2 ГЭВ

В. И. АРТЕМОВ, И. А. ГРИШАЕВ, А. Н. ДОВБНЯ, Л. Я. КОЛЕСНИКОВ,
Н. И. МОЧЕШНИКОВ, В. В. ПЕТРЕНКО, П. В. СОРОКИН, С. Г. ТОНАПЕТЯН,
А. Н. ФИСУН, Б. И. ШРАМЕНКО

Физико-технический институт АН УССР, Харьков
Докладчик В. В. Петренко

В настоящее время для физических исследований на линейном ускорителе электронов используются электронные, позитронные и фотонные пучки. В данной работе рассматриваются некоторые вопросы формирования указанных пучков, их характеристики и свойства.

Расположение оборудования и экспериментальных залов показано на рис. 1.

В малом экспериментальном зале расположено оборудование для формирования фотонных пучков. В этом зале, кроме фотонных пучков, имеются пучки ускоренных электронов и позитронов. В зале магнитных спектрометров проводятся исследования на электронном и квазимонохроматическом поляризованном фотонном пучках. Зал пузырьковых камер в ближайшем будущем также примет пучки.

I. Электронный пучок на выходе ускорителя

Влияние начального радиуса и расходности инжектируемого в ускоритель электронного пучка [1, 2] компенсируется тремя аксиально-симметричными короткими магнитными линзами, установленными на первых трех ускоряющих секциях. Однако, применение таких линз на остальных ускоряющих секциях было бы не эффективно из-за асимметрии поля в согласующих переходах, которая приводит к появлению попечного поля. Это поле сдвинуто по фазе на 90° относительно ускоряющего и составляет, примерно, 0,13 его величины. Дефокусирующее действие попечного поля в согласователях проявляется в основном в горизонтальной плоскости. Хотя длина переходной области мала, при большом числе таких элементов расширение пучка, пропорциональное величине попечного поля, длине ускорителя и фазовой протяженности сгустка, становится существенным (до 15 см). Поэтому для компенсации расширения пучка применены магнитные квадрупольные линзы, установленные после 7, 8, 11, 12, 22, 23, 32, 33, 42 и 43 ускоряю-

щих секций. Причем линзы, установленные после секций с нечетным номером, фокусируют в горизонтальной плоскости, остальные — в вертикальной. Режим линз обусловлен характером траекторий и энергией электронов. Квадрупольные линзы имеют шунты на обмотках возбуждения, что дает возможность компенсировать неточность юстировки линз и производить соответствующую коррекцию положения пучка.

Действие поперечных полей в согласователях проявляется не только в расширении пучка. Укажем на то обстоятельство, что подобно высокочастотным сепараторам вследствие наличия поперечных полей в согласователях в ускорителе происходит сепарация частиц по фазам.

На рис. 2 представлены зависимости величины акцептанса пучка от фазы ускоряющего поля. Индексы на кривых относятся к случаям: 1 — влияние согласователей не учитывается, фокусировка отсутствует, в этом случае акцептансы в горизонтальной и вертикальной плоскостях одинаковы; 2 — учитывается действие согласователей в горизонтальной плоскости, фокусировка отсутствует; 3 — учитывается действие согласователей в горизонтальной плоскости, работает система фокусировки. Заметим, что площади под соответствующими кривыми представляют собой трехмерные фазовые объемы, пропорциональные количеству захваченных в ускорение частиц. Отношение трехмерных фазовых объемов V_2 и V_3 к объему V_1 назовем прозрачностью ускорителя. В случае 2 за счет сепарации частиц по фазам прозрачность падает до 1/4. Применение для компенсации этого эффекта магнитных квадрупольных линз (кривая 3) приводит к возрастанию прозрачности. В этом случае прозрачность равна опять-таки единице, сепарация частиц сохраняется, таким образом, энергетический разброс частиц на выходе ускорителя уменьшается.

Эти данные получены из расчета на ЭВМ для стандартного режима, при котором конечная энергия равна 1 Гэв, а сгусток электронов расположен на гребне ускоряющей волны. Наконец, укажем еще на один эффект, который может появиться в многосекционных ускорителях вследствие асимметрии поля в согласователях и действия системы фокусировки. Это нарушение изохронности движения периферических частиц, сужение фазового канала.

Для указанного выше режима распределение тока по сечению пучка показаны на рис. 3, а эмиттанс пучка в горизонтальной плоскости — на рис. 4. Остальные параметры пучка даны в таблице 1.

Таблица 1

| Параметры | Значения |
|--|-----------|
| Энергия максимальная | 1,8 Гэв |
| Частота посылок | 50 |
| Интенсивность средняя | 0,8 мка |
| Длительность импульса тока на уровне 0,8 | 1,2 мксек |
| Энергетический разброс на уровне 0,5 | 2 % |

II. Позитронный пучок на выходе ускорителя

Электронный пучок с энергией 250 Мэв, попадая на tantalовый конвертор, толщиной 2 рад. длины и установленный перед 9-й секцией, создает электронно-позитронный ливень, попадающий в следующие секции [3]. Для ускорения позитронов фаза ускоряющего поля во всех секциях с номером больше 8 изменяется на 180° по отношению к режиму ускорения электронов. С целью увеличения выхода позитронов на 9-й ускоряющей секции установлен соленоид, создающий на оси секции оптимальное для фокусировки позитронного пучка поле напряженностью 800 эрстед. Дальше фокусировка осуществляется магнитными квадрупольными линзами, поле в которых меняется по знаку относительно электронного режима. Этим также достигается дополнительная очистка позитронного пучка от электронной компоненты. Параметры позитронного пучка показаны в таблице 2.

Таблица 2

| Параметры | Значения |
|--|--------------------------|
| Диапазон энергий | $(100-1200)$ Мэв |
| Энергетический разброс на уровне 0,5 | 1,5% |
| Диаметр пучка | 0,8 см |
| Угловая расходимость | |
| а) по горизонтали | $1 \cdot 10^{-3}$ радиан |
| б) по вертикали | $1 \cdot 10^{-4}$ радиан |
| Интенсивность (частиц в секунду) | $3 \cdot 10^9$ |
| Отношение интенсивности позитронов на выходе ускорителя к интенсивности электронов на конверторе | $(2-3) \cdot 10^{-4}$ |

III. Фотонный пучок в малом экспериментальном зале

Система формирования состоит из коллиматора электронов, tantalового радиатора, толщиной 0,13 рад. длины, поворотного магнита, двух фотонных коллиматоров, позволяющих изменять размеры пучка на мишени от 0,2 см до 1,2 см, очищающих магнитов, ужестителя из LiH, толщиной 2,8 рад. длины, бетонной защиты, общей толщиной 7,4 м.

Измерение интенсивности γ -квантов производится квантометром Вильсона, рассчитанным на максимальную энергию 6 Гэв. Чувствительность квантометра в диапазоне энергий (600—1500) Мэв равна $(2,12 \pm 0,04) \cdot 10^{-19} \frac{\text{кулон}}{\text{Мэв}}$

Таблица 3

| Параметры | Значения |
|--|---|
| Расходимость после второго коллиматора | $(3,7 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}$ радиан |
| Общее ослабление интенсивности тормозного излучения после ускорителя | 15 раз |
| Интенсивность на мишени | $2,5 \cdot 10^8$ $\frac{\text{экв. квантов}}{\text{сек}}$ |
| Фон в отсутствии радиатора | не более 0,9% |

Данные таблицы относятся к пучку электронов с энергией 1300 МэВ и со средним током 0,5 μ А

IV. Электронный пучок в зале спектрометров

Для очистки, монохроматичности и транспортировки ускоренного пучка применяется система формирования (СФП) [4], схематически показанная на рис. 1.

Регулировка степени монохроматичности пучка осуществляется изменением ширины щели коллиматора-монохроматора, ширине щели коллиматора в 4 см соответствует энергетический разброс, равный 1%.

Наблюдение за положением и размерами пучка осуществляется с помощью сцинтилляционных экран-флажков. Ток пучка измеряется мониторами вторичной эмиссии. Стабильность тока в обмотках магнитных элементов не хуже $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ а при использовании системы стабилизации поля по я. м. р.—не хуже $\pm 1 \cdot 10^{-4}$. Вынос пучка составляет 37 м, расстояние от ускорителя до мишени — 100 м.

Параметры пучка на мишени спектрометра представлены в таблице 4.

Таблица 4

| Параметры | Значения |
|-------------------------------------|---|
| Диапазон энергий | 400—18001 МэВ |
| Энергетический разброс | $(0,5—4)_0\%$ |
| Интенсивность | 0,56MA |
| Диаметр пучка | $(0,2—0,8)$ см |
| Угловая расходимость: | |
| а) по горизонтали | $(1 \cdot 10^{-3}—5 \cdot 10^{-4})$ радиана |
| б) по вертикали | $(5 \cdot 10^{-4}—5 \cdot 10^{-5})$ радиан |
| Длительность импульса на уровне 0,8 | $(0,5—1,2)$ мксек |
| Стабильность по энергии | не хуже 0,05% |
| Стабильность по току | $(3—30)\%$ |
| Стабильность положения пучка | 0,1 см |

V. Квазимохроматический поляризованный пучок фотонов

Пучок квазимохроматических поляризованных фотонов получается в результате когерентного тормозного излучения электронов на монохристалле алмаза. Для ориентации кристалла применяется гониометр с точностью отсчета угла 10 секунд. Параметры ускоренного пучка электронов идентичны с параметрами пучка, падающего на мишень спектрометра, так как гониометр установлен на том же канале, что и спектрометр. Формирование узкого пучка фотонов осуществляется двумя коллиматорами с регулируемыми отверстиями. Пучок очищается от заряженной компоненты магнитами, установленными после каждого коллиматора. Параметры поляризованного квазимохроматического пучка даны в таблице 5.

Таблица 5

| Параметр | Значения |
|--|--|
| Энергия электронов | 1,8 ГэВ |
| Интенсивность электронов | 0,5 мка |
| Расходимость пучка электронов | $(1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4})$ радиан |
| Интенсивность фотонов | $(1 \cdot 10^9 - 1 \cdot 10^{10}) \frac{\text{эКВ} \cdot \gamma\text{-квантов}}{\text{сек}}$ |
| Угол коллимирования фотонов | $2 \cdot 10^{-4}$ радиан |
| Диапазон энергий фотонов | $(0,2 - 1,0)$ ГэВ |
| Поляризация (соответственно энергии фотонов) | $(60 - 15)\%$ |
| Толщина мишени | 0,2 см ($1,5 \cdot 10^{-2}$ рад. длины) |

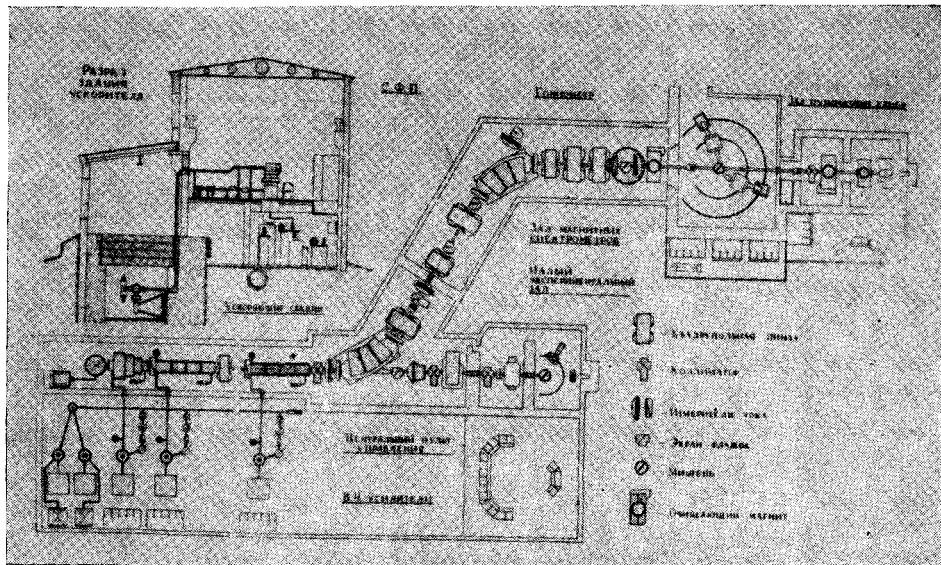


Рис. 1. — Линейный ускоритель электронов на энергию 2 Гэв.

497

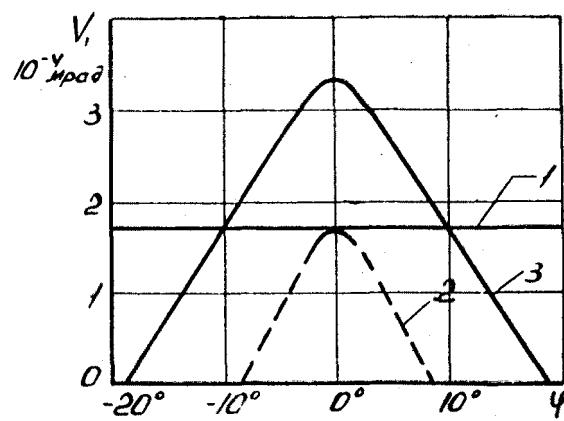


Рис. 2 — Зависимость величины акцептанса пучка от фазы ускоряющего поля

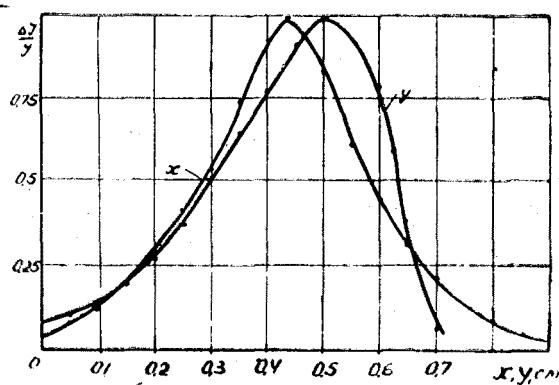


Рис. 3 — Распределение плотности тока по сечению пучка

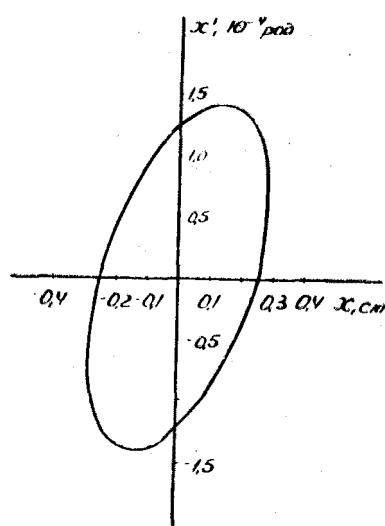


Рис. 4 — Эмиттанс пучка

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. И. Белоглазов, Ю. М. Базаев, А. К. Вальтер и др. АЭ, т. 24, вып. 6, 1968.
2. И. А. Вишняков, Е. К., Гришаев, Е. К. Островский, Труды Международной конференции по ускорителям, Дубна, 1963, М., Атомиздат, 1964.
3. И. А. Гришаев, В. П. Ефимов, В. И. Касилов, А. Н. Фисун, УФЖ, т. XIII, № 11, 1926, 1968.
4. И. А. Гришаев, А. Н. Коваленко, В. И. Колесов, В. В. Петренко, ЖТФ, т. XXXIX, в. 1, 1969.