

БФН-779(6)-85

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

Р.О.АВАКЯН, А.В.АГАРОНЯН, А.Э.АВЕРКЯН

Г.А.АВДАЛЯН, С.Г.ГИНДОЯН, А.А.АРМАГАНЯН, С.С.ДАНАГУЛЯН

Р.М.МИРЗОЯН, Р.Ц.САРКИСЯН, С.П.ТАРОЯН, Г.М.УЛЕАКЯН

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАКТ ЕРЕВАНСКОГО УСКОРИТЕЛЯ С МАЛОЙ
УГЛОВОЙ РАСХОДИМОСТЬЮ ПУЧКА

ЕРЕВАН-1985

© Центральный научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по атомной науке
и технике (ЦНИИатоминформ) 1985г.

УДК 621.3.615

Р.О.АВАКЯН, А.В.АГАРОНЯН, А.Э.АВЕТИСЯН,
Г.А.АВДАЛЯН, С.Г.ГИНДОЯН, А.А.АРМАГАНЯН, С.С.ДАНАГУБЯН,
Р.М.МИРЗОЯН, Р.Ц.САРКИСЯН, С.П.ТАРОЯН, Г.М.ЭЛБАКЯН

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАКТ БРЕВАНСКОГО УСКОРИТЕЛЯ С МАЛОЙ
УГЛОВОЙ РАСХОДИМОСТЬЮ ПУЧКА

В работе описан электронный тракт с малой угловой расхо-
димостью пучка, созданный для экспериментов по исследованию
взаимодействия электронов высокой энергии с монокристаллами
дифракционной характеристикой основных узлов тракта. Результаты
измерения профиля пучка сравниваются с результатами математиче-
ского расчета. Расходимость пучка электронов изменена в 5×10^{-3} раз.

Бреванский физический институт

Бреван 1981

EDM-779(6)-85

R.O.AVAKIAN, A.V.AHARONIAN, A.E.AVETISIAN,
G.A.AVDALIAN, S.G.GINDOYAN, A.A.ARMAGANIAN, S.S.DANAGULIAN,
R.M.MIRZOYAN, R.TS.SARKISIAN, S.P.TAROYAN, G.M.ELBAKIAN

ELECTRON BEAM LINE OF YEREVAN ACCELERATOR
WITH A SMALL ANGULAR DIVERGENCE OF THE BEAM

An accelerator beam line with a small angular divergence of the beam is described designed for experiments on the investigation of interactions of high energy electrons with single crystals. Characteristics of basic joints of the beam line are presented. Results of the beam profile measurements are compared to those of machine calculations. The electron beam divergence is estimated to be $5 \cdot 10^{-5}$ rad.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1985

Введение

В последние годы большой интерес представляет проблема излучения электронов и позитронов при их каналированном движении в кристаллах. Этот интерес вызван резким увеличением интенсивности излучения при уменьшении углов влета относительно кристаллографических осей и плоскостей, что может иметь важное практическое значение в научных исследованиях, базирующихся на применении интенсивных и поляризованных пучков фотонов. Экспериментальные исследования данного излучения проведены во многих научных центрах мира, в том числе и у нас как на внутренних, так и на выведенных пучках электронов и позитронов [1-3]. Для продолжения этих исследований в области энергий электронов 1,5 - 4,5 ГэВ в Ереванском физическом институте создан тракт выведенных электронов.

Расчетным путем, а также экспериментально подобраны такие параметры элементов тракта, которые обеспечивают формирование параллельного пучка и его транспортировку в малый экспериментальный зал, где расположено экспериментальное оборудование для изучения процесса излучения и рассеяния электронов в монокристаллах в режиме каналирования. Требование параллельности пучка

продиктовано критическим углом влета электронов в кристалл, при котором осуществляется режим каналированного движения [4]. Для кристалла алмаза при энергии электронов 4,5 ГэВ этот угол равен 0,1 мр в случае плоскостного каналирования и 0,2 мр - в случае осевого. Поэтому угловая расходимость пучка не должна быть хуже 0,1 мр.

Описание электронного тракта

Схема электронного тракта приведена на рис.1. Оптическая система тракта состоит из двух дуплетов линз Q_1, Q_2 и Q_3, Q_4 типа МЛ-15, двух поворотных магнитов постоянного поля типа СП12 и СП57 (ВМ1 и ВМ2). Длина формирующей части тракта составляет 50 метров. В двух местах на трассе установлены коллиматоры C_1 и C_2 , которые выбирают рабочее сечение пучка, обеспечивают требуемую интенсивность и очищают пучок от сопутствующего "ореола". Фон, возникающий в коллиматорах, фильтруется поворотными магнитами. Для наибольшего удаления пучка от нейтрального фона, возникшего в первом коллиматоре, направления углов отклонения в обоих магнитах выбраны одинаковыми.

При проводке пучка и в физическом эксперименте величины зазора коллиматоров устанавливались разными. При проводке в коллиматор вставлялся вкладыш с диаметром отверстия, равным 3,3 мм, а при физических измерениях отверстие вкладыша имело прямоугольную форму с размерами 1,2 x 1,2 мм. Уменьшение апертуры коллиматора было продиктовано необходимостью уменьшить интенсивность пучка, так как на эксперименте излучение электронов регистрировалось спектрометром полного поглощения на основе кристалла NaI (Tl), который вводит искажение в измеренные спектры при больших нагрузках.

Коллиматор C_2 представляет собой дуплет шторковых коллиматоров. При проводке пучка шторы коллиматоров полностью открыты, а во время измерений устанавливался зазор размерами 2×2 мм.

Перед линзой Q_3 и коллиматором C_2 установлены системы слежения за центром тяжести и профилем пучка. Они представляют собой сцинтилляционные счетчики с рабочей поверхностью сцинтилляторов $0,5 \times 0,5$ см, снабженные дистанционно управляемым механизмом движения. Координаты сцинтилляторов передаются на пульт управления системой "сельсин-датчик - сельсин-приемник". Цена деления шкалы сельсин-приемника равна $0,1$ мм. Счетчики работают в интегральном режиме. Центр тяжести пучка определяется по максимуму заряда, накопленного счетчиком за один сброс ускорителя. Во время физических измерений сцинтилляторы убираются из-под пучка с пульта управления. При предварительной проводке пучка и юстировке узлов тракта профиль пучка измеряется фотографированием.

При транспортировке сформированного электронного пучка в малый экспериментальный зал, пучок проходит через свинцовый коллиматор с диаметром отверстия, равным 3 см, расположенный в стене малого зала. Этот коллиматор очищает пучок от остаточного фона, проникающего в электронный канал из большого экспериментального зала. В малом экспериментальном зале пучок электронов проходит через отверстие счетчика C_9 , расположенного в гониометрической камере G непосредственно перед кристаллическим радиатором. Счетчик имеет размеры $5 \times 7 \times 1$ см с отверстием диаметра 2 мм в центре счетчика. Счетчик снабжен механизмом движения с шагом $0,1$ мм. Движение счетчика осуществляется дистанционно с пульта управления. Сигнал

от счетчика включен в электронную логику экспериментальной установки в антисовпадательном режиме. В процессе эксперимента постоянно контролируется локализация пучка в отверстии. Периодически проверяется также эффективность счетчика, для чего либо пучок уводится на несколько миллиметров отклоняющим магнитом ВМ2, либо отверстие счетчика S_9 . Эффективность счетчика порядка 100%, коэффициент пропускания через отверстие - 80 - 85%. Остальные 15 - 20% соответствуют фоновым частицам, прошедшим через зазор последнего свинцового коллиматора из большого экспериментального зала.

Далее пучок электронов падает на кристаллический радиатор и вместе с излученными фотонами проходит через мониторный спектрометр ВМ3, где отделяется от фотонов и регистрируется системой годоскопических мониторных счетчиков $S_1 - S_3$ и квантометром Q .

На всем протяжении тракта вплоть до регистрирующей системы поддерживается вакуум на уровне 10^{-2} торр.

Параметры электронного пучка

По электронному каналу осуществляется вывод пучка с временной растяжкой электронного сброса 0,5 - 2,5 мс и частотой следования 25 Гц. Схема медленного вывода подробно описана в работе [5].

На рис.2 приведены фотоснимки профиля пучка в четырех точках трассы: на входе в коллиматор S_1 , на линзе Q_3 , на коллиматоре S_2 и в начале малого экспериментального зала. Для более точной оценки размеров пучка в малом зале был измерен профиль пучка с помощью узкого радиатора (~ 1 мм), укрепленного на

кристаллодержателе гониометра G , при рабочем зазоре второго коллиматора (C_2), равном 3×2 мм. Радиатор дистанционно перемещался под электронным пучком, и с помощью спектрометра NaJ измерялась интенсивность тормозного излучения в зависимости от положения радиатора. После этого данный процесс был смоделирован на ЭВМ с учетом ширины радиатора, а искомая ширина пучка была выбрана в качестве фитируемого параметра. Фитированием экспериментального распределения была найдена истинная ширина ядра пучка. Она оказалась равной $\sim 2,4$ мм. Величина расходимости электронного пучка, оцененная по расширению пучка, оказалась порядка $5 \cdot 10^{-5}$ рад. Для того, чтобы убедиться, что по пути в малый зал после коллиматора C_2 пучок не сходится в фокусе (при этом размеры сечения пучка в малом зале могли бы иметь такие же значения, что и в случае параллельного пучка), поочередно одна из горизонтальных и вертикальных шторок коллиматора C_2 раздвигалась и сдвигалась, и каждый раз измерялся профиль пучка в малом зале. Результаты проверки показали, что изображение не переворачивается, и таким образом, исключается наличие фокуса между коллиматором C_2 и экспериментальной установкой.

Предварительный расчет параметров тракта проведен с помощью программы GRAMP [6] на ЭВМ БЭСМ-6. Результаты расчета, как правило, оправдываются на практике с точностью не хуже 20%. Далее сделан расчет параметров по методу Монте-Карло с учетом экспериментальных условий. Алгоритм расчета и основные результаты приведены в работе [7]. Результаты расчета сравнивались с экспериментальными на каждом этапе экспериментальной проводки пучка. На рис.3 приведены расчетные двумерные распределения профиля пучка в тех же точках трассы, что и на рис.2. Видно хорошее соответствие расчетного профиля с экспериментальным по

всей трассе. Поскольку на практике отсутствовала возможность непосредственного измерения углового распределения электронов и ввиду согласия результатов расчета с экспериментальными, оценку расходимости пучка можно сделать из расчетных угловых распределений. Для величины расходимости пучка при рабочих зазорах коллиматоров $C_1 = \pm 0,6$ мм и $C_2 = \pm 1$ мм получилось значение $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ рад.

Результаты расчета позволили установить граничные значения некоторых экспериментальных параметров, которые могут влиять на качество пучка.

1. Транспортировка пучка по воздуху возможна лишь на расстояние, не превышающее 20 метров, поэтому проводку пучка на практике пришлось осуществлять методом последовательного наращивания вакуумпровода.

2. Вакуум внутри пучкопровода должен быть не хуже $2 \cdot 10^{-4}$ торр.

3. Юстировку магнитных линз необходимо провести с точностью не хуже ± 5 мм параллельного сдвига и $\pm 0,5^\circ$ поворотов относительно оси пучка. Неточность юстировки в этих пределах не влияет на расходимость пучка, хотя центр тяжести сдвигается.

4. Стабильность полей отклоняющих магнитов может нарушаться в пределах $\pm 0,2\%$.

Отметим, что эти ограничения получены для пучка электронов с энергией 4,5 ТэВ; величины напряженностей полей магнитных элементов сравнительно небольшие (см. табл. I из работы [7]).

Результаты расчета указывают на существенное сужение энергетического распределения пучка действием коллиматора C_1 с узкой апертурой. При наличии несоответственно большого энергетического разброса в реальности пучок расширился бы в горизонтальной плоскости из-за дисперсии в отклоняющем магните ВМ2, чего

не наблюдается на практике.

В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам группы вывода Ереванского ускорителя Запольскому Н.А. и Маркрянну А.Т. и всему персоналу ускорителя за обеспечение качественного вывода электронного пучка, а также сотрудникам лаборатории Арутюняну Л.Г., Галумяну С.А. за помощь в работе.

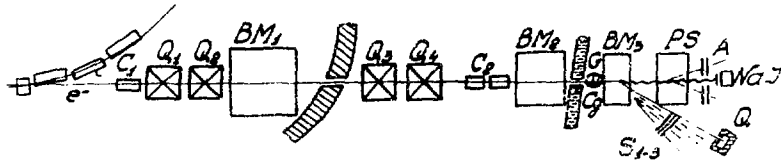


Рис. 1

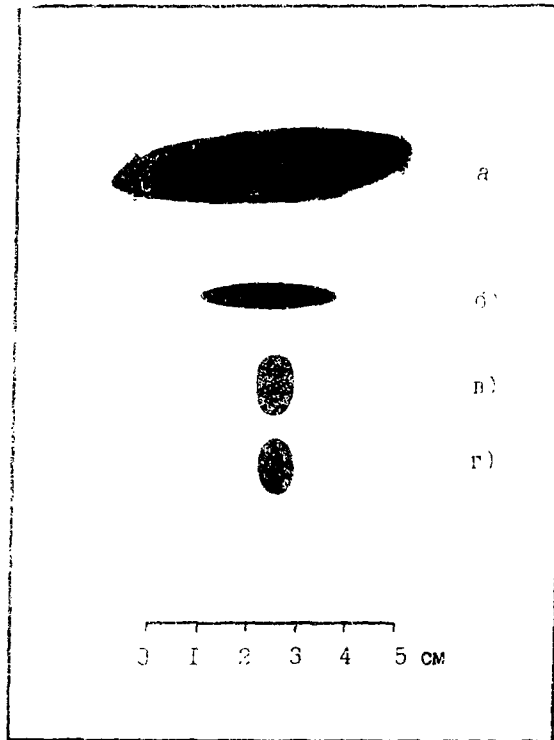


Рис. 2

.....
.....
.....
.....

3)

.....
.....

5)

0 1 2 3 CM

112 12 11
1 1 3566.4938 27 1
1 14255.000006.4437
1 166797.093333
11224577.000022711 1
2 4180.000008527
226040.0000086 11 1
770.000006.15411
2325798.000004 31
1 55306.0000072171
12 66307676423
1 1111111 1

Г)

1 3.67 11
1347307.476211 1
11232.760000.094 1
2 17.80007422312
1 1357.0000452311
225649.00000974
12348.000008.562 1
7 46.0000000072
3 27.8000074217
11 278.1000003411
4 343.00007343 11
2 2 1232.2211 1

Г)

0 1 CM

Рис.3

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Схема электронного тракта.

Рис.2 Фотоснимки сечения электронного пучка

а) перед входом в коллиматор C_1 ; б) перед линзой G_2 ;
в) на коллиматоре C_2 ; г) перед гониометром G в малом
экспериментальном зале. Величина зазора коллиматора
 C_1 равна 3,3 мм, второй коллиматор полностью рас-
крыт.

Рис.3 Расчетный профиль пучка в тех же точках трассы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян Р.О., Авакян С.С., Аветисян А.В. и др. Излучение электронов высоких энергий вблизи кристаллографических осей и плоскостей кристалла алмаза. Препринт ЕИИ-014(19)-84, Ереван, 1984.
2. Аганьянц А.О., Вартанов Ю.А., Вартанянц М.А. и др. Спектрально-угловые зависимости излучения электронов с энергией 4,3 ГэВ при малых углах влета в монокристаллы алмаза. Препринт ЕИИ-666(56)-83, Ереван, 1983.
3. Atkinson M., Bak J., Bussey J. et al. Radiation from planar channelled 5-55 GeV/c positrons and electrons. SPFN-2111-1, 1982.
4. Lindhard J., Kgl. Danske Vid. Selsk. Mat-Fis. Medd. 1965. vol.35, p.1.
5. Баянц Г.А., Варданян Р.О., Гисян С.А. и др. Электронный канал ускорителя ЕИИ для экспериментов с мечеными частицами. Препринт ЕИИ-645(55)-83, Ереван, 1983.
6. Gardner J., Whiteside J. PLAMA, IAN/AN 1, 1981.
7. Данагулян С.С. Расчет и моделирование электронного тракта с малой угловой расходимостью пучка. Препринт ЕИИ-1313)-85, Ереван, 1985.

Рукопись поступила 27 ноября 1984 г.

Р.О.АВАКЯН, А.В.АГАРОНЯН, А.Э.АВЕТИСЯН, Г.А.АВДАЛЯН,
С.Р.ГИНДОЛН, А.А.АРМАГАНЯН, С.С.ДАНАГУЛЯН, Р.М.МЕРВОЯН,
Р.Ц.САРКЮСЯН, С.П.ТАРОЛН, Г.М.ЭЛБАКЯН
ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАКТ ЕРЕВАНСКОГО УСКОРИТЕЛЯ С МАЛОЙ УГЛОВОЙ
РАСХОДИМОСТЬЮ ПУЧКА

Редактор Л.П.Мукаян

Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 23/IV-85г. ВФ-00885 Формат 60x64/16
Офсетная печать. Уч.изд.л.1,0 Тираж 299 экз. Ц.15 к.
Зак.тип.№ 162 Индекс 3624

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, Маржаряна 2