

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-526(13)-82

Р.О.АВАКЯН, А.Э.АВETИСЯН, А.А.АРМАГАНЯН
Л.Г.АРУТЮНЯН, Н.А.ЗАПОЛЬСКИЙ, А.А.МАРКАРЬЯН,
Х.А.СИМОНЯН, С.П.ТАРОЯН, А.Р.ТУМАНЯН

ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ РАДИАТОРЫ
НА КОГЕРЕНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ

ԵՐԵՎԱՆ 1982 ԵՐԵՎԱՆ

EW-526(13)-82

R.O.AVAKYAN, A.E.AVETISYAN, A.A.ARMAGANYAN,
L.G.HARUTUNYAN, N.A.ZAPOLSKY, A.A.MARKARYAN,
KH.A.SIMONYAN, S.P.TAROYAN, A.R.TUMANYAN

THE INFLUENCE OF THE MULTIPLICITY
OF THE TRAVERSAL OF ELECTRONS
THROUGH CRYSTALLINE RADIATORS ON COHERENT EFFECTS

The methods of suppressing the multiplicity of the traversal of particles through the synchrotron internal crystalline targets and the possibility of monitoring the number of noninteracting particles are described. The results are given of the experiments at partial and complete suppression of the multiplicity of the traversal of particles which show the possibilities of the substantial increase of the relation of the coherent part of emission to its incoherent part in crystals and the possibilities of carrying out fine-structure investigations of coherent effects on targets making use of the synchrotron circulating beam.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1982

УДК.621.384.663

Р.О.АВАКЯН, А.Э.АВЕТИСЯН, А.А.АРМАГАНЯН,
Л.Г.АРУТЮНЯН, Н.А.ЗАПОЛЬСКИЙ, А.А.МАРКАРЬЯН,
Х.А.СИМОНЯН, С.П.ТАРОЯН, А.Р.ТУМАНЯН

ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ РАДИАТОРЫ НА КОГЕРЕНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ

В работе описаны методы подавления многократности прохождения частиц через внутренние кристаллические мишени синхротрона и возможность мониторинга количества непрореагировавших частиц. Приведены результаты экспериментов при частичном и полном подавлении многократности прохождения частиц, которые показывают возможности существенного увеличения отношения когерентной части излучения к некогерентной в кристаллах и возможности проведения тонких структурных исследований когерентных эффектов на мишенях с использованием циркулирующего пучка синхротрона.

Ереванский физический институт

Ереван 1982

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-526(13)-82

Р.О.АВАКЯН, А.Э.АВЕТИСЯН, А.А.АРМАГАНЯН,
Л.Г.АРУТУНЯН, Н.А.ЗАПОЛЬСКИЙ, П.А.МАРКАРЬЯН,
Х.А.СИМОНЯН, С.П.ТАРОЯН, А.Р.ТУМАНЯН

ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ РАДИАТОРЫ НА КОГЕРЕНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ

Ереван 1982

© Ереванский физический институт 1982

Отличительной особенностью работы электронных циклических ускорителей является постоянство количества выхода тормозных γ - квантов независимо от толщины мишеней. Этот факт, экспериментально исследованный ранее на ускорителе DESY [1], обусловлен многократным прохождением электронов через мишень-радиатор в течение времени их сброса на него. Для некоторых задач, исследование которых проводится на фотонном лучке, отмеченное свойство играет положительную роль: от тонкого радиатора можно получить довольно интенсивный γ - пучок. Время сброса электронов на мишень при этом составляет $\sim 2-3$ мс. В случае же работы с монокристаллическими мишенями интегральный выход тормозных γ - квантов меняется в зависимости от угла влета электронов относительно одной из главных кристаллографических осей. Изменение выхода происходит вследствие наличия когерентных эффектов при взаимодействии электронов высоких энергий с кристаллами. Естественно, можно предположить, что изменение полного выхода γ - квантов при различной ориентации кристалла происходит вследствие изменения эффективной толщины кристалла, что приводит к изменению также кратности прохождений электронов через кристалл,

При этом геометрическим изменением толщины Δt мишени в зависимости от её ориентации можно пренебречь $\Delta t \sim \cos\theta$, поскольку углы дезориентации θ кристалла относительно трассы электронов незначительны (порядка нескольких миллирадиан). В то же время, различная кратность прохождения электронов через мишень, во-первых, существенно ухудшает угловой разброс первоначального пучка, что имеет принципиальное значение в экспериментах с кристаллической мишенью и, во-вторых, сильно затрудняет возможность проведения абсолютных измерений, которые особенно в последнее время представляют интерес и дали бы возможность сопоставить экспериментальные данные с существующими теориями.

В настоящей работе описаны проведенные на Ереванском электронном синхротроне на энергию 6 ГэВ [2] исследования влияния кратности прохождения электронов через алмазную пластинку-радиатор на когерентные эффекты. Толщина пластинки в направлении электронного пучка, совпадающего с осью (100), составила 100 мкм. Измерения ориентационной зависимости выхода тормозных фотонов энергии 1,54 ГэВ, а также полного количества их выхода при коллимации $0,06 \cdot 10^{-3}$ рад. проводились в трех режимах работы водных систем ускорителя:

1. Наведение всего ускоренного пучка на одну единственную мишень.
2. Одновременное наведение пучка на одну мишень и на стенки вакуумной камеры.
3. Одновременное наведение пучка на две мишени, из которых вторая является экранирующей [3].

Первый способ вывода вторичных частиц из синхротрона осу-

ществляется использованием известного бим-бамп [4] метода наведения циркулирующего пучка на внутреннюю мишень путем изменения токов в дополнительных обмотках основного кольцевого электромагнита, обеспечивающих локальную сдвигку замкнутой орбиты так, чтобы ее максимальное отклонение по радиусу достигалось бы в месте размещения мишени. В этом случае все частицы циркулирующего пучка наводятся только на одну мишень в течение всего процесса вывода и поэтому имеет место многократное взаимодействие одних и тех же частиц с тонкой мишенью.

Второй способ вывода осуществляется изменением амплитуды ускоряющего ВЧ поля синхротрона и позволяет осуществить быстрее (путем выключения ВЧ поля) или медленное сворачивание орбиты пучка к стенке вакуумной камеры. В случае такого ВЧ наведения пучок равномерно рассыпается по всей длине орбиты и поэтому доля пучка, попадающего на рабочую мишень, почти пропорциональна отношению толщины мишени к длине (толщине) вакуумного оборудования, расположенного на одинаковом с мишенью расстоянии от равновесной орбиты, и практически составляет для Ереванского синхротрона несколько процентов от значения интенсивности ускоряемого пучка. Основным преимуществом этого способа наведения является то, что, как показывают расчеты, практически полностью исключается возможность многократного прохождения частиц через рабочую мишень, так как спиральный шаг сворачивания частиц резко нелинейно возрастает с удалением от орбиты или от оборота к обороту пучка. Однако этому способу присущ ряд значительных недостатков, существенно ограничивающих его использование и сводящихся, в основном, к следующему:

1. Как уже отмечалось, это низкая эффективность вывода, так как только малая доля ускоренного пучка взаимодействует с рабочей мишенью.

2. Некоторое увеличение и неконтролируемость углового разброса циркулирующих частиц, который может достигать, как показывают расчеты, до 1 мрад. Однако, вследствие того, что в точке расположения мишени отсутствует локальное возмущение орбиты на мишень будут выпадать в основном только те частицы, которые имеют в этой точке максимальное отклонение и поэтому минимальные углы, что приводит к незначительному изменению углового разброса, взаимодействующего с мишенью пучка по отношению к естественному. При очень быстром наведении, путем выключения ВЧ ускоряющего поля, углы взаимодействия пучка с мишенью могут ухудшиться вследствие большого шага сворачивания частиц.

3. Невозможность использования такого способа вывода при пониженных (менее 3,0 ГэВ для Бреванского синхротрона) значениях конечных энергий ускоренных частиц, так как в этом случае частицы сворачиваются на внешние стенки вакуумной камеры (мишени расположены с внутренней стороны) и только при энергиях циркулирующего пучка более 4 ГэВ частицы сворачиваются к внутренней стенке кольца [5] ;

4. Практические трудности осуществления мониторинга количества частично и полностью непрореагировавших с мишенью частиц.

Более перспективным и корректным способом наведения пучка при проведении экспериментов по каналированию с кристаллической мишенью является третий, сущность которого заключается в следующем. В основе способа лежит механизм взаимного влияния двух (и более) мишеней друг на друга при их одновременной работе.

Следуя работам [3,6], допустим, что методом бим-бамп ускоренные электроны наводятся одновременно на две мишени, расположенные в различных фокусирующих прямолинейных промежутках синхротрона, на одинаковом расстоянии от орбиты пучка. Причем, первая мишень тонкая - рабочая, а вторая толстая - нерабочая. Толщину второй мишени выбираем из условий, чтобы при прохождении электронов через нее вероятность рождения тормозных γ - квантов была близка к единице.

Как показано в работе [3], изменением радиального положения мишени и значения частоты бетатронных колебаний Q_r можно обеспечить условия, при которых рабочая мишень (M_p) полностью перекрывает (экранирует) нерабочую (M_{np}).

Тогда при одновременном наведении пучка ускоренных электронов на обе мишени мы можем с уверенностью сказать, что полученные с M_p тормозные γ - кванты есть результат однократного прохождения через мишень, и при этом угловой разброс наведенного пучка сохраняется неизменным вследствие сохранения неизменными законов наведения.

Заметим также, что при работе M_p совместно с M_{np} в условиях полного перекрытия число γ - квантов, полученных с M_{np} , определяет фактически число электронов, прошедших через M_p без взаимодействия.

Иными словами, если известно полное число частиц, прошедших через M_p (по порядку величин это есть число частиц на орбите ускорителя), то M_{np} может служить простым монитором для измерения числа частиц, не провзаимодействовавших с рабочей мишенью.

Однако практическое осуществление условий полного перекрытия одной мишени другой упирается в ряд практических трудностей. Отметим здесь некоторые из них.

Во-первых, необходимо в ускорителе обеспечить независимость числа бетатронных колебаний ускоренного пучка от импульса частиц.

Во-вторых, закон наведения пучка должен быть точно определен для данного распределения частиц в пучке.

В-третьих, определены оптимальные размеры экранирующих мишеней, длительность шага наведения и т.д.

Кроме того, необходимо отметить, что закон наведения и длительность шага наведения должны выбираться при использовании первого и третьего способов вывода пучков с учетом минимизации влияния естественного углового разброса, имеющегося в ускоренном пучке синхротрона.

В связи с такими трудностями обеспечения полного перекрытия при экранировке одной мишени другой на Ереванском синхротроне первоначально были проведены эксперименты с частичным перекрытием, которые дали достаточно обнадеживающие результаты. При этом для экранировки была использована толстая вольфрамовая мишень, расположенная в следующем по ходу пучка прямолинейном фокусирующем промежутке синхротрона и которая обеспечивала экранировку, как показывают расчеты, до 20%+30%.

Для того, чтобы обнаружить эффект подавления кратности прохождения электронов в этом режиме по сравнению с первым способом, были измерены полные выходы количества γ -квантов от радиаторов различной толщины, а именно; 1) дезориентированная алмазная пластинка, толщиной 100 мкм ($t = 8 \cdot 10^{-4}$ рад.длины),

2) аморфная графитовая пластинка ($t = 4 \cdot 10^{-3}$ рад.) и 3) аморфная вольфрамовая мишень ($t = 8 \cdot 10^{-2}$ рад.).

На рис. I показаны результаты изменений интегральных выходов γ - квантов при значении коллимации 0,16 мрад. в зависимости от толщины мишени и при двух (I и 3-ем) способах наведения пучка.

Мониторирование производилось по постоянству времени набора информации при стабильном токе ускорителя. Из рисунка видно, что эффект подавления кратности прохождения электронов через мишень заметен в случае 3-го способа наведения. Линейности выхода интегрального излучения в зависимости от толщины мишени не наблюдается. Вероятными причинами этого являются как частичность подавления многократности, так и малые коллимации фотонного пучка, что ограничивает регистрацию уширения конуса γ - излучения.

С использованием третьего способа наведения также исследовались ориентационные зависимости выхода фотонов энергии 1,54 ГэВ при падении электронного пучка с энергией 4,5 ГэВ на алмазный радиатор толщиной 100 мкм. Радиатор установлен в гониометрической системе, осуществляющей изменение углов в двух взаимно перпендикулярных направлениях вокруг горизонтальной (θ_r) и вертикальной (θ_v) осей с ориентацией (100) (см. рис. 2) причем, относительно θ_v кристалл оставался дезориентированным ($\theta_v \neq 0$). Было обнаружено увеличение отношения $I(\theta_{\text{глик}})/I(\theta_r=0)$ при наличии экранирующей мишени. Это связано с частичным подавлением многократного прохождения электронов через кристалл вследствие неполного перекрытия мишенью M_p мише-

ни $M_{\text{нр}}$. Надо отметить также, что угол влета, при котором наблюдается пик при энергии $E_{\chi} = 1,5$ ГэВ, несколько больше при одновременном наведении на две мишени, что говорит о сравнительно меньшем угловом разбросе взаимодействующего пучка электронов в этом способе наведения.

На рис.3 приведены также ориентационные зависимости интегрального выхода тормозных фотонов в зависимости от ориентации кристалла относительно первоначального импульса электронов при двух отмеченных способах (1 и 3) наведения электронного пучка на кристаллический радиатор.

Как видно из рис.3 (а,б), качественного изменения угловой зависимости интегральной интенсивности не замечается при отмеченном малом значении подавления многократного прохождения частиц.

Качественно другая картина ориентационной зависимости интегральной интенсивности (см.рис.4) наблюдается при втором способе наведения электронного пучка на кристаллический радиатор, при котором осуществляется полностью однократное прохождение частиц через мишень.

Ориентация кристалла выбиралась таким образом, что широкая грань была перпендикулярна к кристаллографической оси (100). Измерения проводились при следующих значениях $\theta_0 = 0$ и $3,6$ мрад., а θ_1 изменялась с шагом $4 \cdot 10^{-5}$ рад.

При изменении угла влета электронов в области малых углов наблюдается двойной максимум с центральным минимумом (рис.4а).

На рис.4б приведен ход изменений интегральной интенсивности при угле разориентации $\theta_0 \approx 3,6$ мрад. В этом случае при умень-

шени θ_r до нуля интенсивность плавно растет.

Из этих экспериментов можно сделать следующие выводы.

1. Результаты экспериментов с разными толщинами мишени показывают, что при использовании третьего способа наведения имеет место подавление многократности прохождения частиц.

2. Результаты использования третьего способа наведения также показывают, что уже при частичном даже малом подавлении многократности прохождения частиц, но с сохранением углового разброса первоначального пучка неизменным, выделение когерентных эффектов заметно увеличивается. Это однозначно указывает на то, что многократность прохождения одних и тех же частиц через тонкие мишени существенно ухудшает естественный угловой разброс первоначального ускоренного пучка и тем самым оказывает известное влияние на когерентные эффекты.

3. Результаты использования второго способа наведения, при котором хотя и имеет место некоторое ухудшение углового разброса первоначального пучка, но почти полностью отсутствует многократность прохождения частиц, показывают, что полное подавление кратности прохождения приводит к улучшению углового разброса, взаимодействующего с мишенью пучка до такой степени, которая позволяет проводить тонкие структурные исследования когерентных эффектов в кристаллах, связанных с влиянием угла взаимодействия частиц с мишенью.

4. Анализ результатов проведенных исследований по влиянию многократного прохождения электронов через монокристаллическую мишень на когерентные эффекты показывает перспективность и необходимость дальнейшего совершенствования методов и устройств

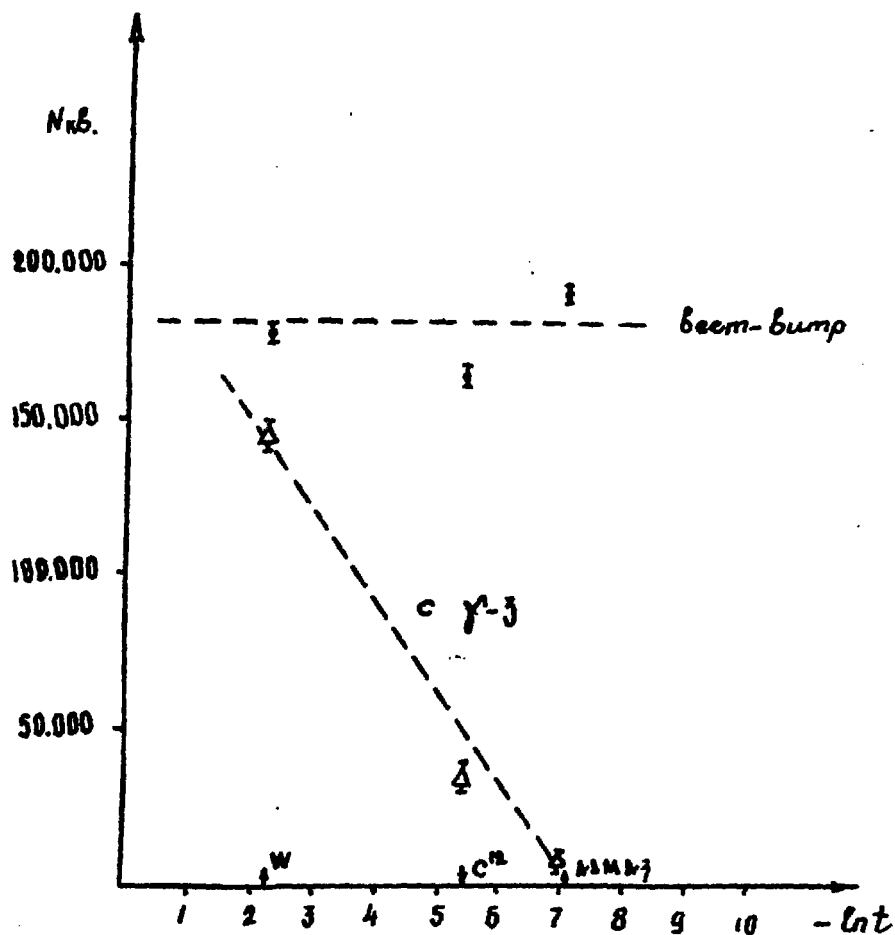


Рис.1 Интегральные выходы гамма-квантов при коллимации 1 0,16 мрад в зависимости от толщины мишени в различных режимах работы ускорителя.

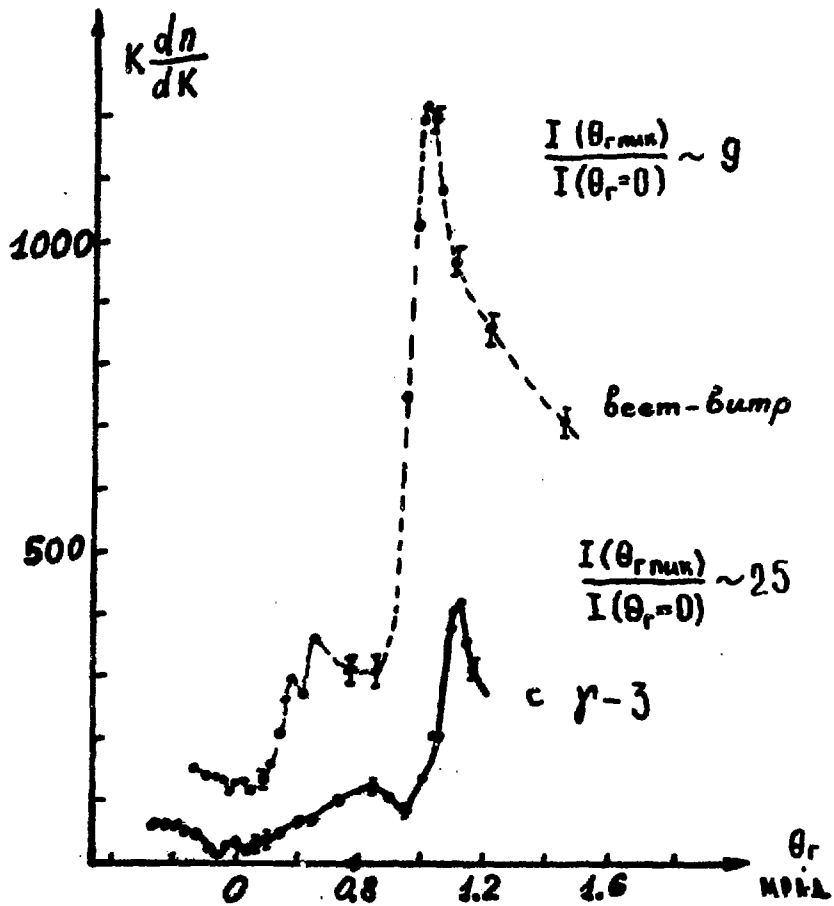


Рис.2 Ориентационные зависимости выхода фотонов энергии $I, 54 \text{ ГэВ}$ в случае бим-бамп возмущения (а) и в случае одновременного наведения на рабочую и экранирующую мишени (б).

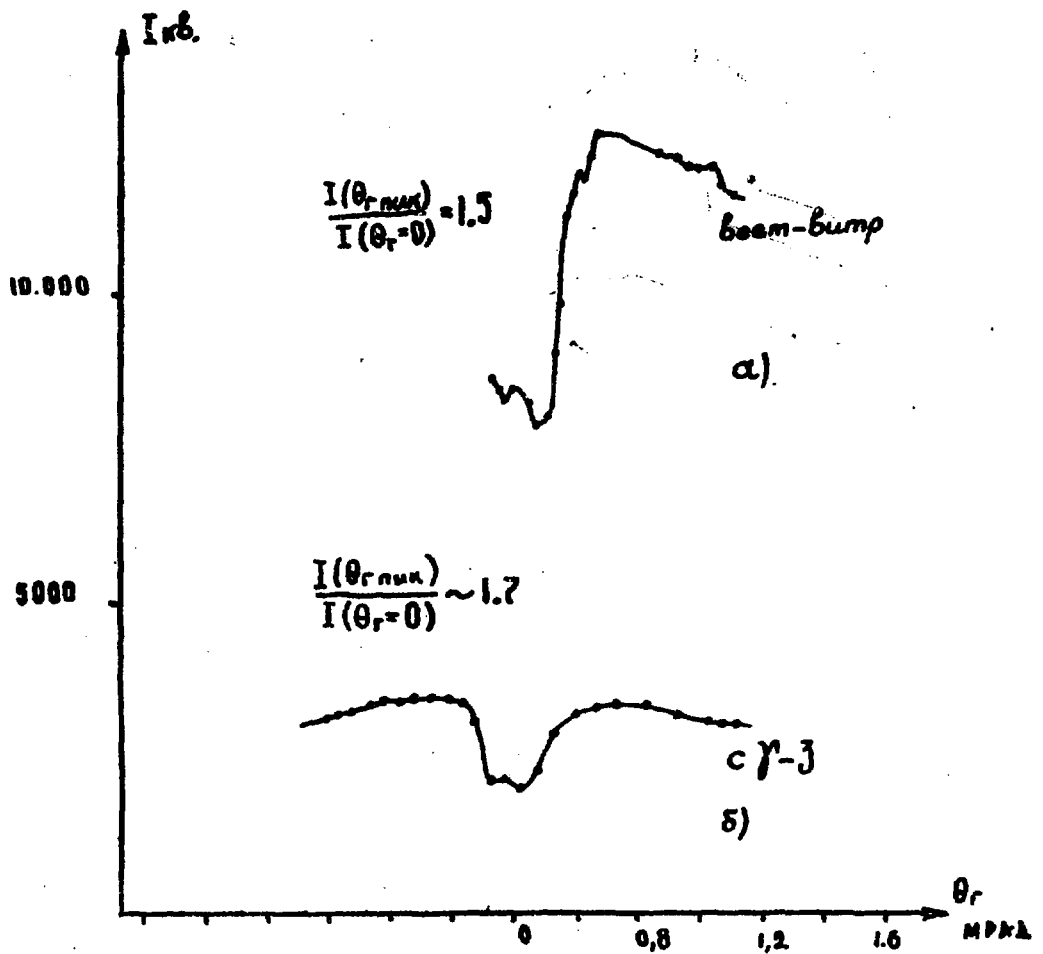


Рис.3 Ориентационные зависимости интегрального выхода тормозных фотонов в зависимости от ориентации кристалла относительно первоначального импульса электронов при двух способах наведения электронного пучка на кристаллический радиатор.

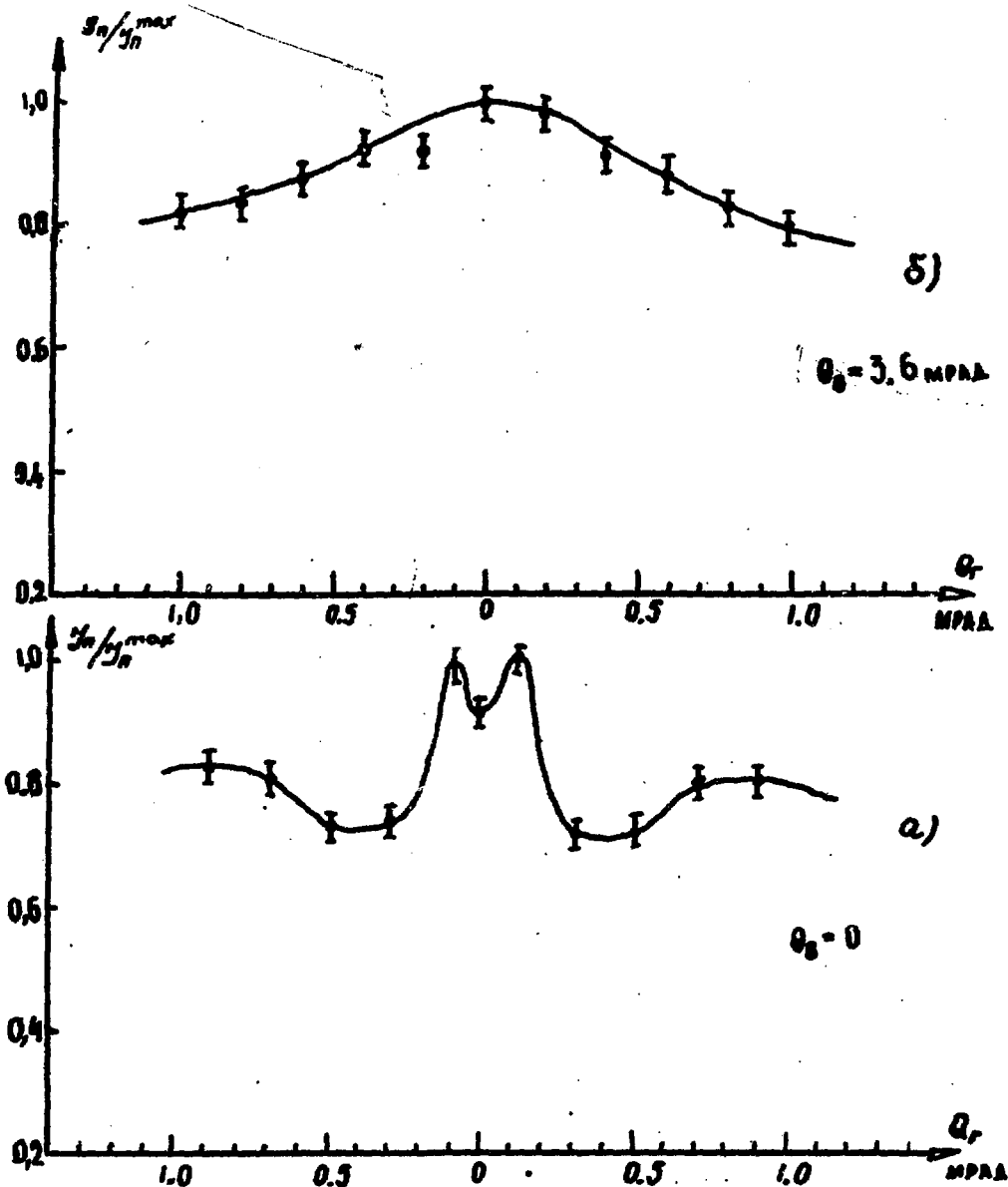


Рис.4 Ориентационные зависимости полного выхода тормозного излучения в зависимости от угла влета электронов в кристалл при ВЧ наведении.

для подавления эффекта многократности и мониторинга электронного пучка, взаимодействующего с кристаллическими мишенями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Raguet E., Timm U., Messungen zur Ausbente Von Photonen Photonen am internen Target des Synchrotrons. DESY 68/24, 1968
2. Агбалян Ю.Г., Алиханян А.И., Бадалян Г.В. и др. Ереванский синхротрон на энергию 6 ГэВ. Труды Международной конференции по ускорителям заряженных частиц, Дубна, Атомиздат., 1964, с.235.
3. Simonyan Th.A., Tumanyan A.R. Particle Distribution Process on the Electron Synchrotron Internal Targets, EFI-428 (35)-80, Yerevan 1980
4. Averill R.J. IEEE Trans.on Nucl.Sci., 1965, vol.S-12, N3, p.889.
5. Барышев А.И., Коваленко И.В., Никогосян В.Ц. и др. Эксперименты по одновременному выводу вторичных пучков на Ереванском синхротроне. Труды VI-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1979, т.2, с.150.
6. Запольский Н.А., Коваленко В.И., Маргарьян А.А. и др. Некоторые схемы для одновременного вывода гамма-пучков по двум каналам. ВПИ-460(2)-81. Ереван 1981г.

Рукопись поступила 23 декабря 1981 г.

Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ I47

ВФ-03688

Тираж 299

Препринт ВФИ
Подписано к печати 6/IV-82г.

Формат издания 60x84/16
I,0 уч.изд.л. Ц. 7 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маргаряна 2

индекс 3624