УДК 539.12.142

Вывод протонного пучка с импульсом 70 ГэВ/c на установку РАМПЭКС с помощью кристалла кремния

А.П.Бугорский, А.Н.Васильев, В.Н.Гришин, В.В.Мочалов, А.В.Минченко, П.А.Семенов, В.Л.Соловьянов, А.Г.Уфимцев, М.Н.Уханов, Ю.С.Федотов, Ю.В.Харлов

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий

Россия, 142284, Протвино Московской области, ул.Победы, 1

Поступила в редакцию 12.05.2000 г.

©2000 г.

Аннотация

Приведены экспериментальные данные по исследованию формирования стабильного выведенного протонного пучка с импульсом 70 ГэВ/c из ускорителя У-70 (Протвино) в 14-й канал с помощью изогнутого монокристалла кремния в режиме работы нескольких установок. Пучок предназначен для экспериментальной установки РАМПЭКС с поляризованной мишенью. Интенсивность пучка должна быть не меньше $5 \cdot 10^6$ протонов за цикл, угловая расходимость меньше 2,5 мрад, а размеры на мишени не должны превышать 10 и 14 мм по горизонтали и вертикали соответственно. Полученные результаты показывают, что пучок стабилен в режиме работы с одним кристаллом, но его размеры несколько превышают требуемые экспериментом. Наблюдается нестабильность пучка в режиме работ нескольких установок. Работы будут продолжаться в направлении оптимизации параметров монокримталла кремния.

Введение

В последние десятилетия одним из наиболее перспективных направлений в физике высоких энергий стали поляризационные исследования. Заметный вклад в их развитие внесли и вносят эксперименты на установках ПРОЗА и РАМПЭКС [1] — [3]. На установке ПРОЗА, расположенной на 14-м канале ускорителя У-70, проводились измерения асимметрии инклюзивно образованных π-мезонов на поляризованной протонной мишени при взаимодействии отрицательных пионов, рождаемых первичными протономи с импульсом 70 ГэВ/c на внутренней бериллиевой или углеродной мишени, расположенной в 24-м магнитном блоке кольцевого электромагнита ускорителя У-70. Измерения проводились на пучке отрицательных пионов с импульсом 40 ГэВ/с.

Вывод пучка из ускорителя и формирование его с требуемыми для физического эксперимента параметрами являются важной частью любого эксперимента. До недавнего времени на ускорителе ИФВЭ использовались три способа вывода пучка, каждый из которых охватывал свой диапазон энергий и интенсивностей выводимых пучков. Это вывод пучков с внутренних мишеней ускорителя, а также “быстрый” и “медленный” выводы. В 1989 г. в целях расширения диапазона исследованных энергий до максимально возможной на ускорителе ИФВЭ импульсом 70 ГэВ/c, впервые в мире был реализован вывод первичных протонов из вакуумной камеры ускорителя с жесткой фокусировкой на действующую экспериментальную установку с помощью изогнутого монокристалла кремния [4]. Таким образом, появилась возможность проводить измерения при значениях энергии, дополняющих имеющиеся экспериментальные результаты. Принцип вывода протонов с помощью изогнутого кристалла был впервые применен в ОИЯИ (Дубна) в 1984 г. [5, 6]. Этот способ отличается от ранее применявшихся отсутствием сложного технологического оборудования, необ-

ходимого для “быстрого” или “медленного” выводов, а также снижением радиационного облучения оборудования, неизбежного при использовании внутренних мишеней.

Для проведения эксперимента РАМПЭКС интенсивность протонного пучка на поляризованной мишени установки должна быть равна $5 \cdot 10^6$ протон/с, а его поперечные размеры 10×14 мм^2. Кроме того, необходимым условием является стабильность положения центра тяжести выведенного пучка в центре мишени с точностью ± 1 мм и угловая расходимость на мишени не хуже ± 2.5 мрад. После первых лет (с 1989 по 1995 гг.) исследований вывода с помощью монокристалла кремния протонов с импульсом 70 ГэВ/c весной 1996 года был проведен сеанс по набору статистики на установке ПРОЗА-М [7]. Следует заметить, что во время сеанса интенсивность выведенного пучка менялась на порядок в течение примерно 1 часа измерений. Обработка данных поведения протонного пучка на поляризованной мишени установки (рис.1) показала, что примерно 30% из них соответствуют положению центра тяжести протонного пучка на краю поляризованной мишени, радиус которой равен 9 мм. Также видна и большая нестабильность как центра тяжести протонного пучка в горизонтальной плоскости, так и горизонтального размера пучка на мишени установки.

Таким образом, серьезной задачей для эксперимента РАМПЭКС стало создание стабильного выведенного пучка протонов необходимых размеров на поляризованную мишень установки. Для ее решения были проведены дополнительные расчеты динамики пучка в ускорителе У-70 и фокусировки выведенного пучка в 14-м канале. Кроме того, был изготовлен и установлен в конце 24-го магнитного блока новый кристалл с системой перемещения по углу и радиусу в медианной плоскости ускорителя, а для установленного в 1989 г. в 25-ом блоке кристалла была создана система

диагностики углового перемещения, отъюстирована вся система вывода, проверены угол изгиба этого кристалла и точность установки гониометра в вакуумной камере, откалиброваны системы перемещения, проведены геодезические измерения магнитооптических элементов канала.

Описание канала и кристаллов

Проведение протонного пучка по каналу и фокусировка его на поляризованную мишень установки РАМПЭКС обеспечивались существующим оборудованием 14-го канала (рис.2). На трассе выведенного из У-70 пучка, до первых магнитных элементов канала, расположен коллиматор К2. С его помощью производится сканирование положения центра тяжести и размеров протонного пучка, выведенного из вакуумной камеры У-70, перед входом в первые магнитооптические элементы 14-го канала. В "голове" этого канала расположены 4 квадрупольные линзы, обеспечивающие первоначальную фокусировку выведенного протонного пучка, поворотный магнит 2-5, который раздает пучок во 2-й или в 14-й канал. В последнем случае угол поворота в магните 2-5 равен 13,19 мрад в направлении от ускорителя У-70. Далее по ходу пучка расположены импульсный корректор 14К3 и второй поворотный магнит 14-18, который поворачивает пучок на угол 21,60 мрад в направлении к ускорителю, совмещая его с осью 14-го канала. Длина канала составляет 95,01 м от выхода в середине 25-го прямолинейного промежутка У-70 до центра поляризованной мишени эксперимента. Поток протонов мониторировался телескопом из трех счетчиков: S1 и S2 диаметром 100 мм каждый и расположенными, соответственно, на расстоянии 16,15 м и 9 м от поляризованной мишени и счетчика S3 диаметром 18 мм и на расстоянии 1,9 м от

мишени. Угол входа частиц в мишень измерялся двумя двухкоординатными годоскопами H1 и H2, установленными перед поляризованной мишенью на расстояниях, соответственно, 8.75 м и 3.10 м от нее. Годоскоп H1 состоит из двух плоскостей, содержащих по 16 сцинтилляционных счетчиков длиной 85 мм и шириной 5 мм, а H2 — из двух плоскостей, содержащих по 12 сцинтилляционных счетчиков длиной 40 мм и шириной 2 мм.

Как уже упоминалось, для вывода из ускорителя первичных протонов с импульсом 70 ГэВ/c по тому же направлению, что и отрицательные пионы с импульсом 40 ГэВ/с, в 1989 году в начале 25-го магнитного блока У-70 [8] был установлен монокристалл кремния (далее кристалл-25). В 1998 году в конце 24-го магнитного блока был установлен второй кристалл (далее кристалл-24). Параметры и угол изгиба обоих кристаллов были рассчитаны и оптимизированы для импульса 70 ГэВ/c и геометрии 14-го канала и вакуумной камеры У-70, где расположены кристаллы. Оба кристалла изготовлены на основе монокристалла кремния, вырезанного вдоль плоскости (111).

Кристалл-25 имеет форму параллелепипеда со скошенными краями с размерами $65 \times 15 \times 0.6$ мм^3. Кристалл-25 прижимается тонкой алюминиевой пластиной к изогнутому с помощью винта П-образному держателю. С учетом установки кристалла в вакуумной камере ускорителя для попадания протонов на ось 14-го канала (или, что то же самое, на ось 2-го канала, поскольку до первого магнита 2-5 оси 2-го и 14-го каналов совпадают) угол изгиба кристалла должен составлять 80 мрад. В рабочем положении этот кристалл расположен на расстоянии +55 мм от центральной орбиты пучка в У-70. Для наведения на кристалл первичного пучка протонов использовалось локальное искажение (”бамп”) центральной орбиты, которое формировалось магнит-

ными блоками 20 и 26 в режиме обратной связи по пучку и магнитными блоками 21 и 27 в режиме "подставки" (рис.3). Равномерное наведение пучка на кристалл обеспечивалось, как и при работе с внутренними мишенями, с помощью монитора обратной связи, который располагался на уровне орбиты первичного пучка на расстоянии 10 м за кристаллом. В режимах параллельной работы нескольких установок по ходу первичного пучка до кристалла, а именно — в 24-м магнитном блоке, вводилась тонкая углеродная внутренняя мишень для рассеивания ускоренного пучка протонов, что позволяло улучшить временную структуру выведенного протонного пучка. Кроме того, для точного вывода протонов на ось 14-го канала предусмотрена возможность изменения угла и координаты установки кристалла в вакуумной камере У-70 по отношению к падающему пучку с помощью прецезионного гониометра с двумя степенями свободы. Во-первых, он может вдвигаться и выдвигаться горизонтально в направлении орбиты первичного пучка У-70 с диапазоном перемещений 110 мм с шагом 50 мкм. Во-вторых, возможно изменение угла установки кристалла в горизонтальной плоскости в диапазоне 66 мрад с шагом 65 мкрад.

Кристалл-24 имеет форму правильного параллелепипеда с размерами $96 \times 23 \times 0.6$ мм^3 и, с учетом установки в 24-м блоке и попадания выводимых протонов на ось 14-го канала, изогнут на угол 65 мрад. Диапазон перемещения по горизонтали внутри вакуумной камеры и минимальный шаг гониометра для управления кристаллом-24 соответственно равны 70 мм и 50 мкм. Диапазон изменения угла установки кристалла-24 и минимальный шаг соответственно равны 20 мрад и 20 мкрад. Протоны, входящие в кристаллическую решетку кристалла с малыми углами по отношению к главной атомной плоскости кристалла, могут быть "каналированы", т.е. захвачены сильным потенциалом, созданным атомами кристаллической решетки, а критиче-

ский угол каналирования для пучка протонов с импульсом 70 ГэВ/c равен 25 мкрад. Использование кристалла кремния обусловлено высоким совершенством получаемых монокристаллов — низким содержанием в них примесей и отсутсвием дислокаций.

Экспериментальные результаты

После нескольких лет экспериментального исследования вывода протонов в 14 канал, показавшего принципиальную возможность работы установки ПРОЗА или РАМПЭКС с пучком протонов импульса 70 ГэВ/c, стало ясно, что при стандартной работе физических установок в сеансе, т.е. параллельной работе двух и более установок в одном ускорительном цикле, выведенный протонный пучок на поляризованной мишени очень нестабилен. Результаты первых лет работы показали, что при сбросе или на углеродную мишень перед кристаллом по ходу первичного пучка, или на сам кристалл меньше $1 \cdot 10^{11}$ прототов за цикл, максимальная интенсивность в канале могла быть и была больше $1 \cdot 10^7$ протонов за цикл. Однако, ни аппаратура экспериментальной установки, ни сам канал не рассчитаны на такие интенсивности. На первый план выходит стабильность интенсивности, размеров и положения центра тяжести выведенного протонного пучка на поляризованной мишени при параллельной работе нескольких установок на ускорительном "столе". В этом режиме происходит их взаимное влияние; это касается динамики пучка при взаимодействии с мишенями и кристаллами разных установок, системы обратной связи, наложения "бампов", остаточного влияния работы "быстрого" вывода. При работе установки на 14-м канале параллельно с ней на ускорительном "столе" работает 4 канал с кристаллом или мишенью, установленными в 27-м магнитном блоке ускорителя, причем эта мишень

может работать как на отрицательных, так и положительных координатах относительно центральной орбиты первичного пучка У-70, или/и "медленный" вывод в разных модах своей работы (стандартный, с кристаллом в 19-м блоке ускорителя, так называемый "дифракционно-рассеянный").

Важной характеристикой работы кристалла в режиме каналирования является так называемая ориентационная кривая — зависимость интенсивности в канале по показаниям мониторов от угла установки кристалла в вакуумной камере У-70 по отношению к наведенному на него первичному пучку протонов. На рис.4 приведены ориентационные кривые для кристаллов 24 и 25, полученные в осеннем сеансе 1999 г. Диапазон изменения угла установки кристалла, при котором интенсивность в канале падает в 2 раза, равен для кристалла-25 $\pm$300 мкрад, а для кристалла-24 равен $\pm$200 мкрад. Разница в угловом диапазоне для этих кристаллов прежде всего объясняется тем, что кристалл-25 имеет форму параллелепипеда со скошенными краями.

Исторически сложилось, и это одна из проблем, что в "голове" 14-го канала недостаточно систем диагностики и контроля выведенного протонного пучка. В прошедших сеансах для определения положения центра тяжести и размеров выведенного из вакуумной камеры У-70 протонного пучка перед входом в первые магнитооптические элементы канала выполнялось коллиматорное сканирование. На рис.5 представлены результаты горизонтального сканирования пучка для кристаллов 24 и 25 в весеннем сеансе 1999 г. Видно, что центр пучка, выведенного с помощью кристалла-25, расположен в 2 мм от оптической оси канала в направлении от У-70, а размер пучка по горизонтали в месте расположения коллиматора равен 12 мм. Пучок, выведенный с использованием кристалла-24, попадал в канал под углом 8 мрад по отношению

к направлению канала, и, кроме того, был смещен в горизонтальной плоскости на 16 мм к ускорителю. В этом случае для коррекции трассы пучка использовался магнит M1A, расположенный по ходу пучка до коллиматоров, совместно с дублетом квадрупольных линз. Во время исследований в весеннем и осеннем сеансах 1999 г. были проверены разные расчетные режимы оптики канала по оптимальному проведению пучка, фокусировки его на поляризованную мишень установки, улучшению радиационной ситуации на 14-м канале.

Поляризованная мишень содержит в качестве рабочего вещества пропандиол, заключенный в тефлоновую ампулу диаметром 20 мм и длиной 200 мм. Условия эксперимента иребуют, чтобы положение центра тяжести выведенного протонного пучка в центре мишени в зависимости от времени было стабильно и не хуже ± 1 мм, размер пучка на входе в мишень был соответственно в горизонтальном и вертикальном направлении 10 и 14 мм, а угловая расходимость в мишени не превышала $\pm 2{,}5$ мрад для того, чтобы пучок по всей длине мишени взаимодействовал только с материалом мишени.

На Рис.6 и 7 показаны полученные в измерениях по изучению протонного пучка в весеннем сеансе 1999 года характеристики протонного пучка при работе кристалла и углеродной внутренней мишени, расположенных, соответственно, в 24-м и в 25-м прямолинейных промежутках магнитной структуры ускорителя У-70. Размеры пучка по горизонтали и вертикали составляли, соответственно, 12 и 20 мм, что больше необходимого. Для сравнения на рис. 8 и 9 показаны характеристики пионного пучка с импульсом 40 ГэВ/c на поляризованной мишени в весеннем сеансе 1999 г.: положение фокусов выведенного пучка в зависимости от центра мишени, профиль и стабильность пучка на поляризованной мишени. Горизонтальный и вертикальный

размер пучка соответственно составили 10 и 14 мм, а положение центра тяжести во времени стабильно, хотя по горизонтали смещено на 3 мм от центра мишени.

В весеннем сеансе 1999 г. основное внимание было уделено формированию стабильного выведенного протонного пучка с помощью кристалла-25, а в осеннем сеансе 1999 г. — с помощью кристалла-24. На рис. 10 и 11 показаны характеристики протонного пучка, выведенного с помощью кристалла-25 в осеннем сеансе 1999 г., где была получена хорошая повторяемость задаваемых параметров систем вывода и, как следствие, характеристик пучка по сравнению с данными весеннего сеанса 1999 г. В осеннем сеансе наведение первичного пучка У-70 осуществлялось "бампами" 20–26 с обратной связью и 21–27 как "подставка" (см. рис.3). Сброс на кристалл составлял $1 \cdot 10^{11}$ протон/с, радиус установки кристалла в вакуумной камере был равен +55 мм от орбиты циркулирующего пучка. Размер пучка на мишени установки по горизонтали и вертикали был соответственно 12 и 16 мм, что больше необходимого, принимая во внимание и большую нестабильность протонного пучка по сравнению с пионным. Интенсивнсть пучка на мишени по показаниям мониторов была $3 \cdot 10^6$ протон/с.

Впервые в осеннем сеансе 1999 г. были проведены исследования протонного пучка с импульсом 70 ГэВ/c при выводе с помощью кристалла-24 (рис. 12 и 13). Наведение осуществлялось "бампами" 20–26 с обратной связью и 21–27 как "подставка" с током 160 А, сброс на кристалл составил $6 \cdot 10^{11}$ протон/с, радиус установки кристалла был равен +50 мм от центральной орбиты. Работал магнит М1А, оптическая ось которого была сдвинута на 20 мм к У-70. Размер пучка по горизонтали и вертикали был равен соответственно 16 и 20 мм, что, как и в случае с кристаллом-25, больше необходимого. Также видна и большая временная нестабильность протонного пучка по сравнению с пионным. Интенсивность пучка на мишени установки по показаниям

мониторов составила $3 \cdot 10^6$ протон/с. Как уже отмечалось выше, для проведения эксперимента РАМПЭКС важен стабильный протонный пучок на поляризованной мишени установки при параллельной работе нескольких экспериментальных установок в одном ускорительном цикле. Анализ полученных данных показал, что для каждого режима параллельной работы необходима точная настройка всех элементов вывода, а любая перестройка этих сложных режимов требует дополнительной подстройки.

Во время исследований в весеннем сеансе 2000 г. основное внимание будет уделено формированию стабильного протонного пучка на 14-м канале при параллельной работе физических установок. Исследование одного из таких возможных режимов было сделано и в осеннем сеансе 1999 г. На рис.14 и 15 показаны характеристики протонного пучка на поляризованной мишени эксперимента РАМПЭКС. Вывод пучка осуществлялся с помощью кристалла-24 в режиме параллельной работы с мишенью в 27-м блоке У-70, которая работала на положительной координате +20 мм относительно центральной орбиты пучка в У-70. Размер выведенного пучка на поляризованной мишени по горизонтали и вертикали был равен соответственно 16 и 20 мм, т.е. размер пучка остался таким же, как и при работе одного кристалла на ускорительном “столе”. Однако, временная нестабильность положения центра тяжести протонного пучка стала больше по сравнению с работой одного кристалла. В осеннем сеансе 1999 г. работа проводилась на второй половине ускорительного “стола”.

Кроме геометрических характеристик и стабильности протонного пучка на мишени установки, важна временная структура выведенного пучка. На рис.16 показана временная структура пучка для трех разных режимов вывода в осеннем сеансе 1999 г.: при работе одного кристалла-25 (а), при работе одного кристалла-24 (б) и при

параллельной работе кристалла-24 и мишени в 27-м блоке ускорителя на координате +20 мм (в).

Заключение

Приведенные в данной статье результаты показывают, что выведенный протонный пучок на мишень установки РАМПЭКС стабилен в случае работы одного кристалла (24 или 25) на "столе" У-70, а размеры пучка, особенно вертикальный, при существующих кристаллах 24 и 25, превышают размеры, требуемые экспериментом. Параллельная работа 14-го канала с протонами 70 ГэВ/c и 4-го канала с мишенью в 27-м блоке ускорителя или/и "медленного" вывода в экспериментах по изучению протонного пучка в весеннем и осеннем сеансах 1999 г. показала значительную нестабильность пучка. Изучение причин такой нестабильности продолжается. В связи с этим предполагается замена кристаллов 24 и 25 на кристаллы с такими же характеристиками, но оптимизированные по размерам с целью уменьшения вертикального профиля выведенного пучка, кроме того, предусмотрено изменение угла установки в вакуумной камере У-70 гониометра кристалла-24 и т.д.

Авторы глубоко признательны за помощь и участие на разных этапах данной работы прежде всего В.И.Котову, В.А.Маишееву, Ю.А.Чеснокову и Г.Е.Воронину, а также Е.Ф.Троянову, А.А.Асееву, А.Г.Афонину, Ю.Каршеву и всех сотрудников лабораторий 6 и 7 ОЭФ.

Работа была поддержана грантом РФФИ 99-02-18333.

Литература

[1] Аввакумов И.А., Апокин В.Д., Беликов Н.И. и др. // ПТЭ, 1987, 5, с. 46.

[2] Апокин В.Д., Беликов Н.И., Васильев А.Н. и др. - Препринт ИФВЭ 97-38, Протвино 1997.

[3] Akimenko S., Alekseev G., Arestov Yu. et al. - Препринт ИФВЭ 97-58, Протвино 1997.

[4] Асеев А.А., Базижев М.Д., Вакула И.В. и др. - Препринт ИФВЭ 89-57, Протвино 1989.

[5] Tsyganov E.N. - Fermilab, TM-682, TM-684, Batavia, 1976.

[6] Avdeichikov V.V., Buldakovsky V.N., Bychkov A.V. et al. Preprint FERMILAB-FN-429, Batavia, 1986

[7] Belikov N.I., Belousov V.I., Chujko B.V. et al. - Препринт ИФВЭ 97-51, Протвино 1997.

[8] Асеев А.А., Базижев М.Д., Людмирский Э.А. и др. - Препринт ИФВЭ 91-46, Протвино 1991.

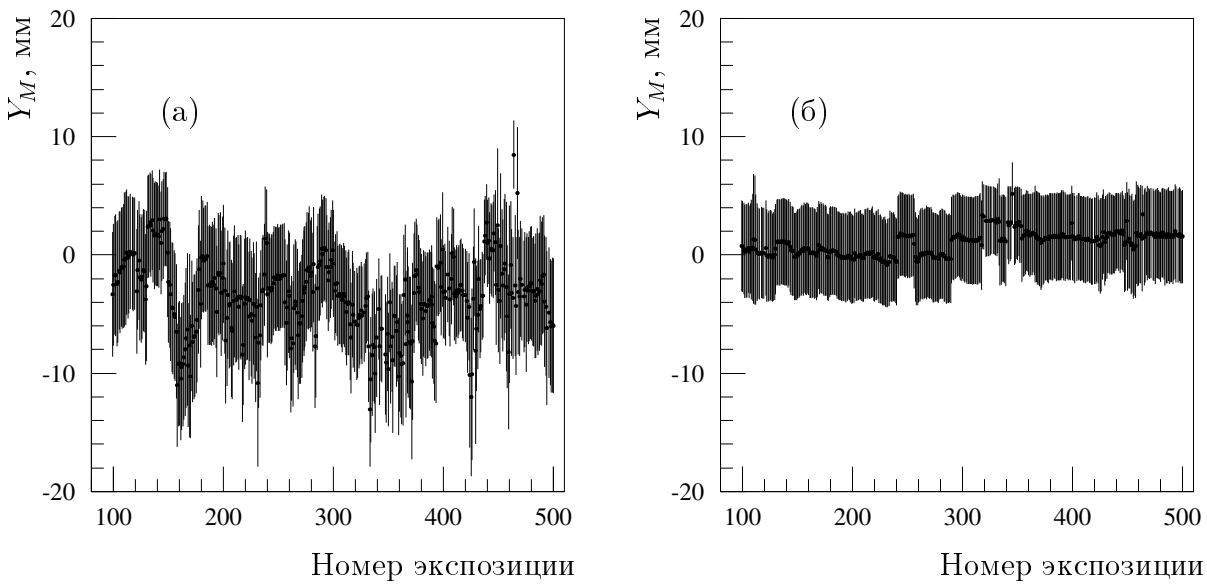

Рис. 1: Зависимость горизонтального X_M (а) и вертикального Y_M (б) размеров выведенного протонного пучка на мишени установки ПРОЗА-М от номера экспозиции в сеансе 1996 г. Центр мишени расположен при $X_M = 0$ мм, $Y_M = 0$ мм.

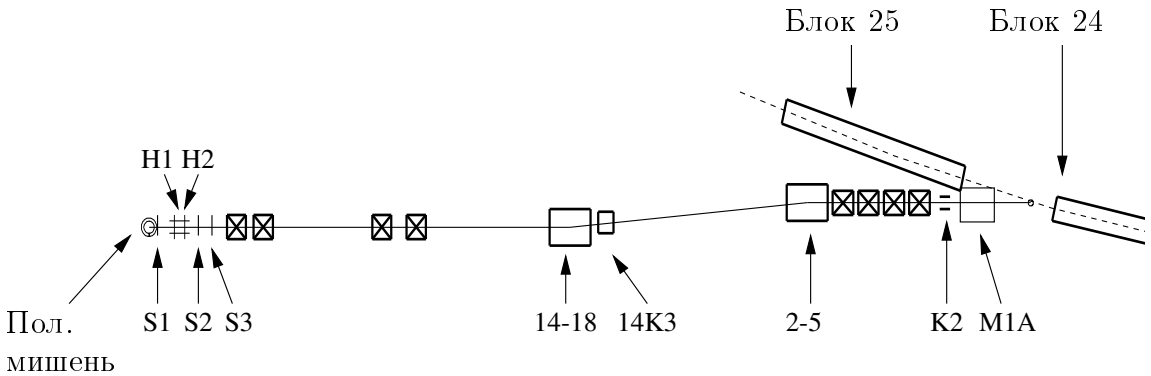

Рис. 2: Схема 14 канала.

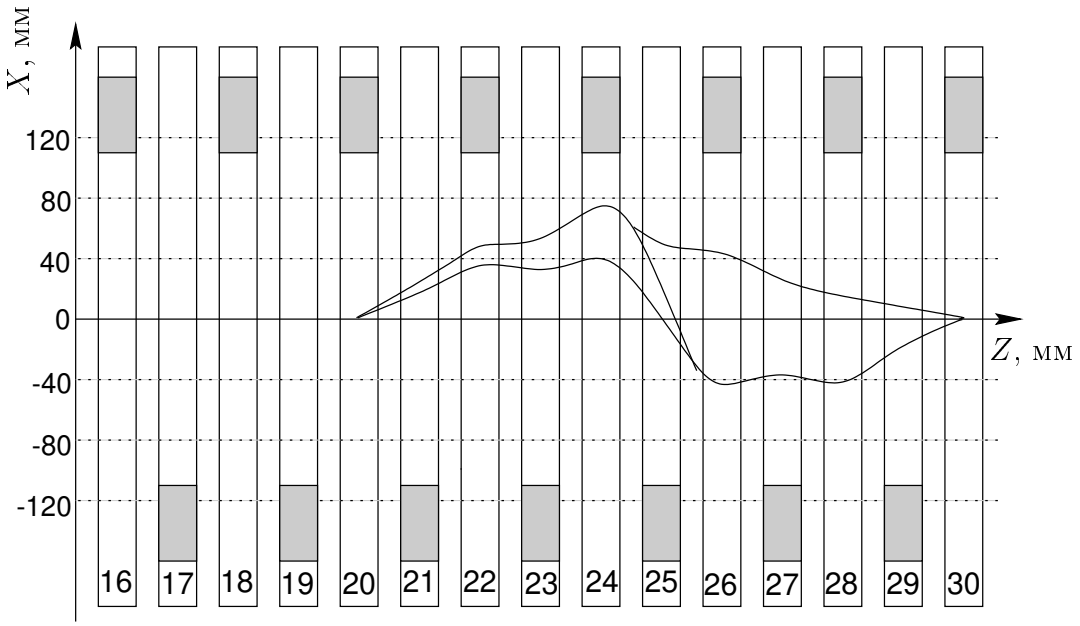

Рис. 3: Локальное искажение орбиты в У-70 для наведения первичного пучка на кристалл для разных режимов параллельной работы с мишенью, установленной в 27-м блоке ускорителя.

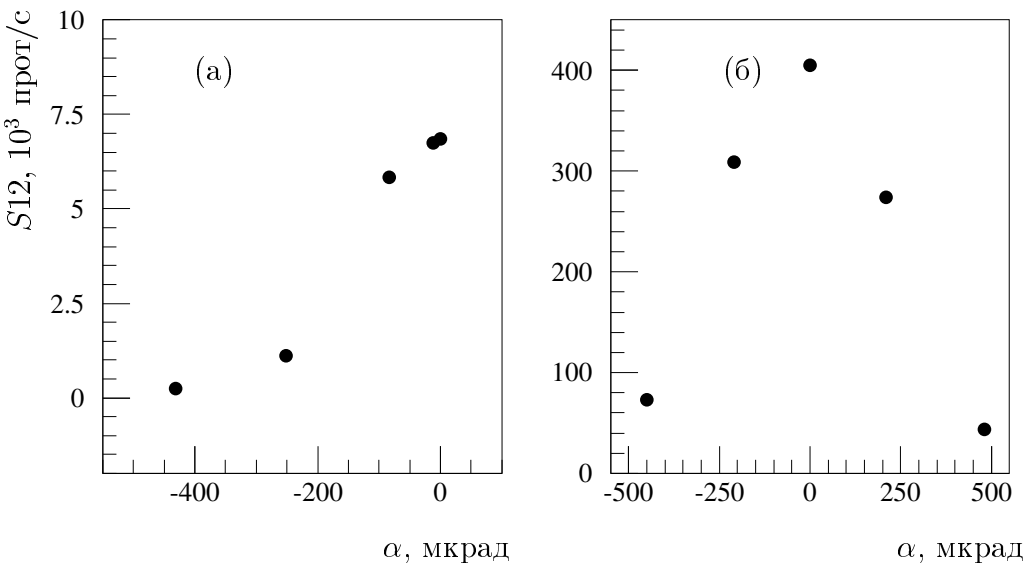

Рис. 4: Ориентационные кривые для кристаллов 24 (а) и 25 (б).

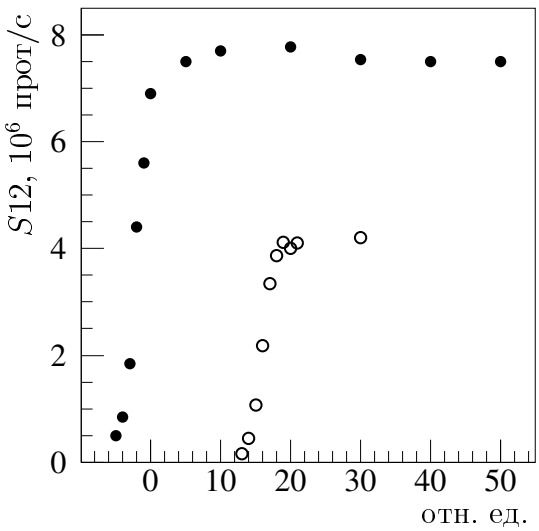

Рис. 5: Результат коллиматорного сканирования для кристалла-25 (черные кружочки) и кристалла-24 (белые кружочки). По оси абсцисс отложено положение правого края коллиматора в относительных единицах, а по оси ординат — интенсивность протонного пучка $S12$. Левый край коллиматора открыт полностью.

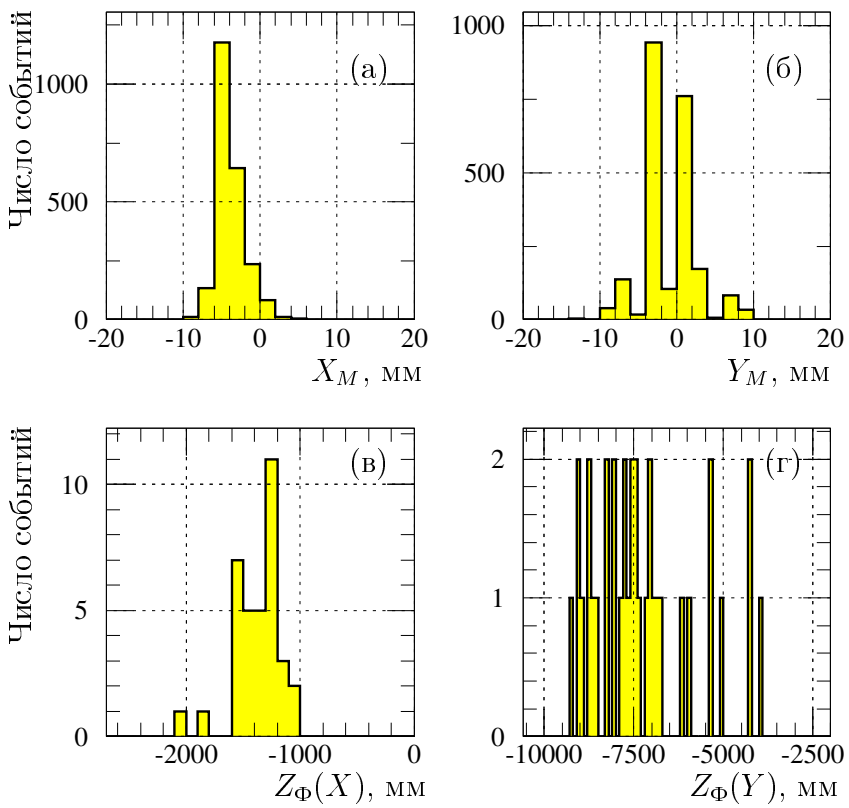

Рис. 6: Профиль протонного пучка (а,б) и продольное положение фокусов по осям X и Y (в,г) на мишени установки при работе кристалла-25 и мишени-24 по результатам измерений в весеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\rm M} = 0$ мм, $Y_{\rm M} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное.

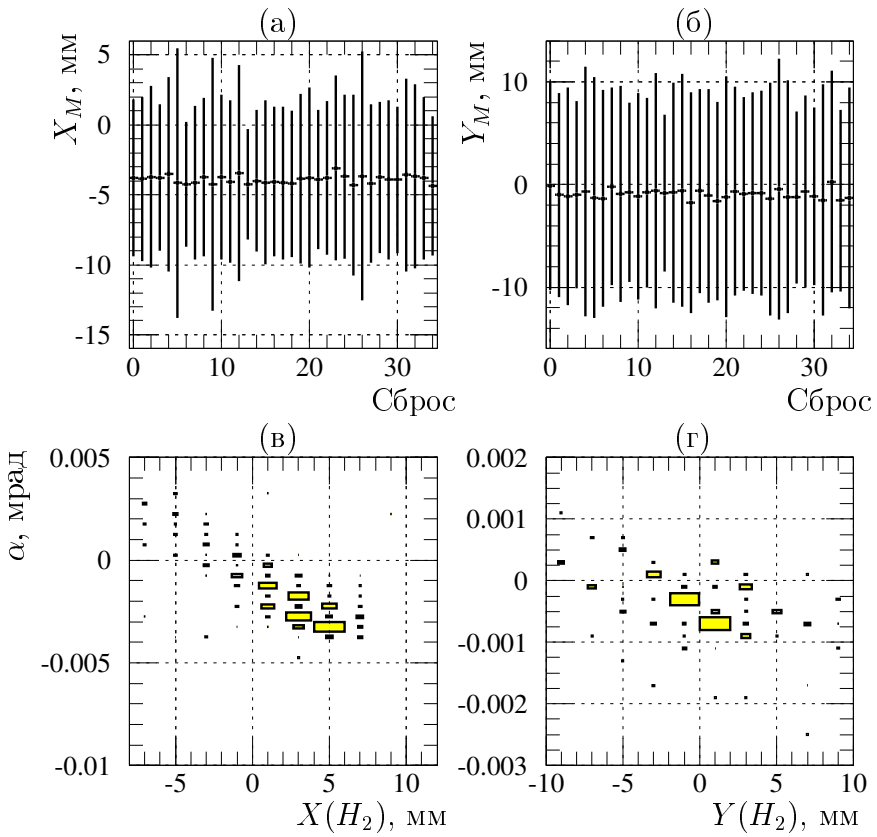

Рис. 7: Стабильность центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка (а,б), угловое распределение на годоскопе H2 (в,г) при работе кристалла-25 и мишени-24 по результатам измерений в весеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм.

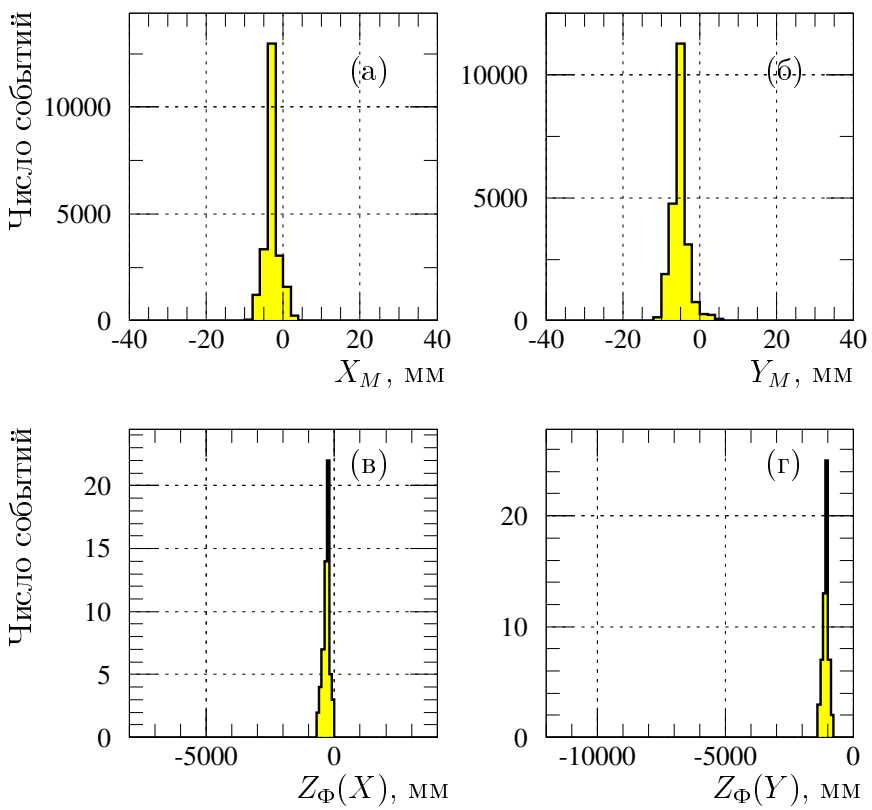

Рис. 8: Профиль пионного пучка с импульсом 40 ГэВ/c (а,б) и продольное положение фокусов по осям X и Y (в,г) на мишени установки при работе мишени в 24-м блоке ускорителя по результатам измерений в весеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\rm M} = 0$ мм, $Y_{\rm M} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное.

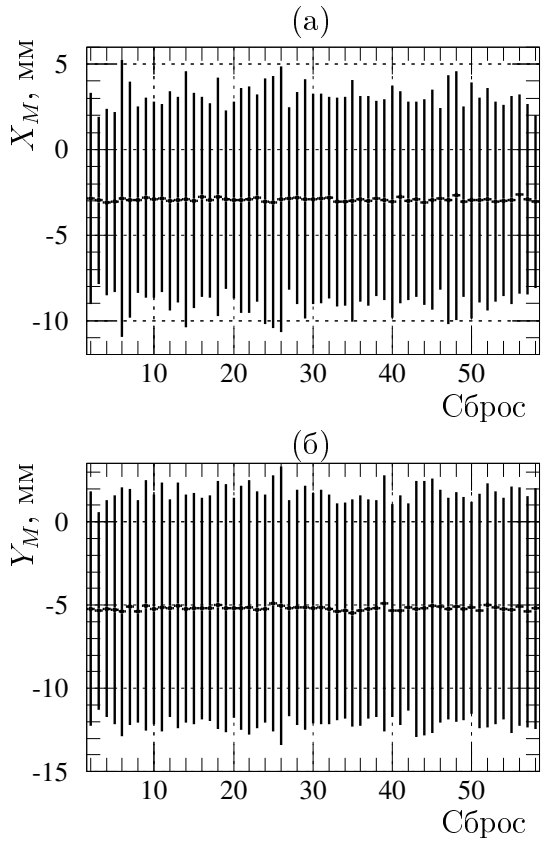

Рис. 9: Стабильность размеров и центра тяжести пионного пучка в весеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм.

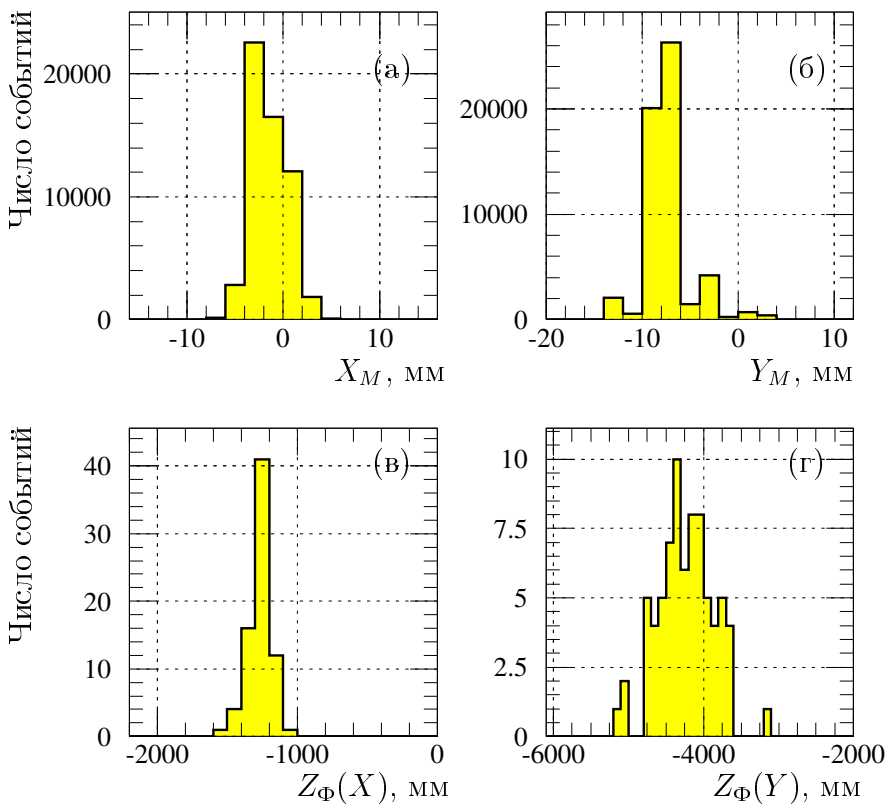

Рис. 10: Профиль протонного пучка (а,б) и положение фокусов (в,г) на мишени установки при работе кристалла-25 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_\mathrm{M} = 0$ мм, $Y_\mathrm{M} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное.

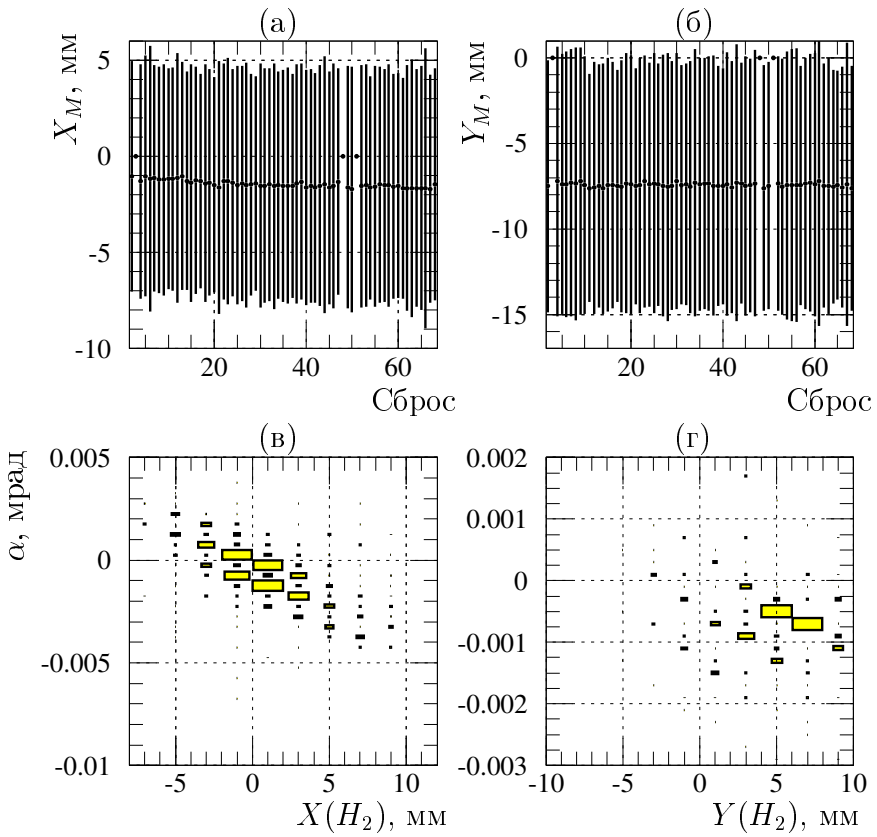

Рис. 11: Стабильность центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка (а,б), угловое распределение на годоскопе H2 (в,г) при работе кристалла-25 и мишени-24 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм.

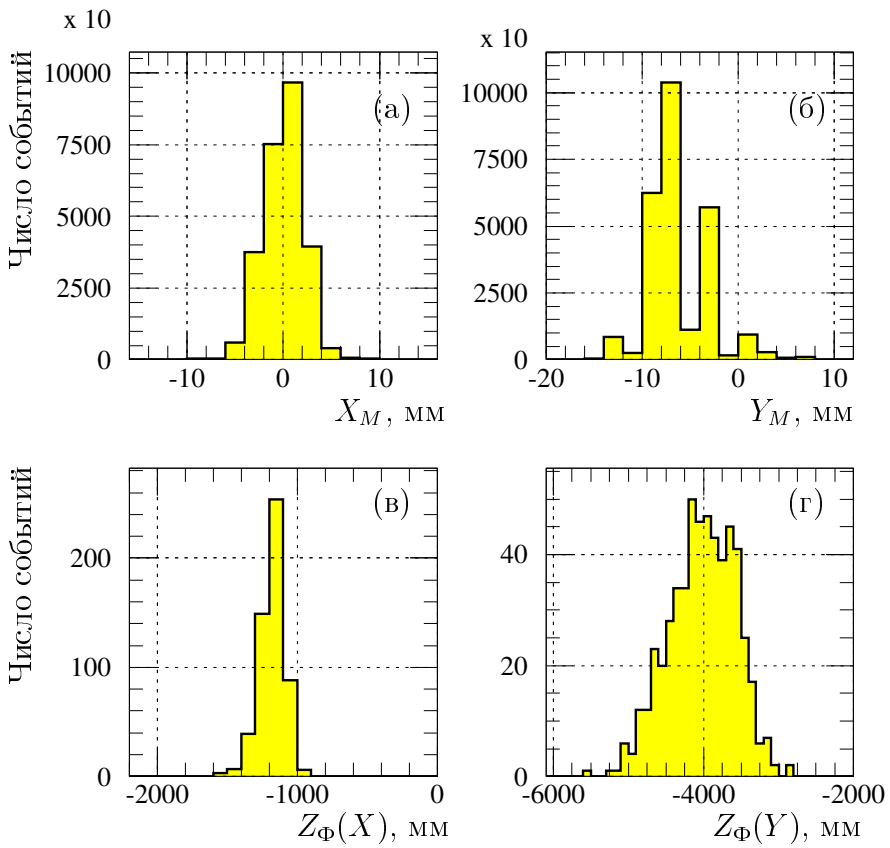

Рис. 12: Профиль протонного пучка (а,б) и положение фокусов (в,г) на мишени установки при работе кристалла-24 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_\mathrm{M} = 0$ мм, $Y_\mathrm{M} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное.

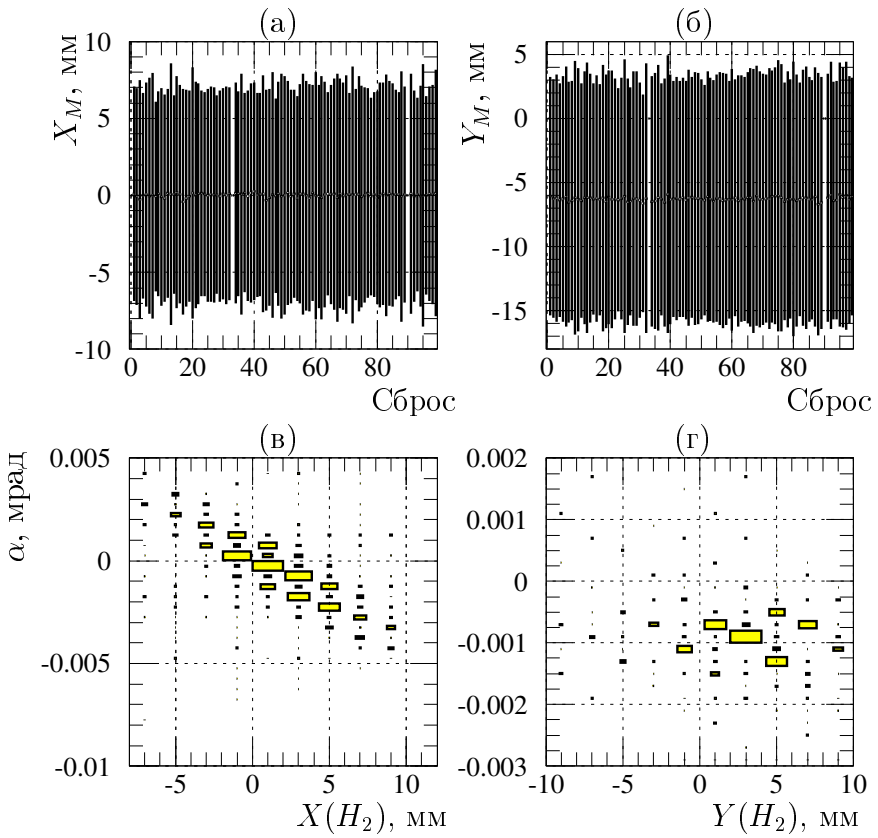

Рис. 13: Стабильность центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка (а,б), угловое распределение на годоскопе Н2 (в,г) при работе кристалла-25 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм.

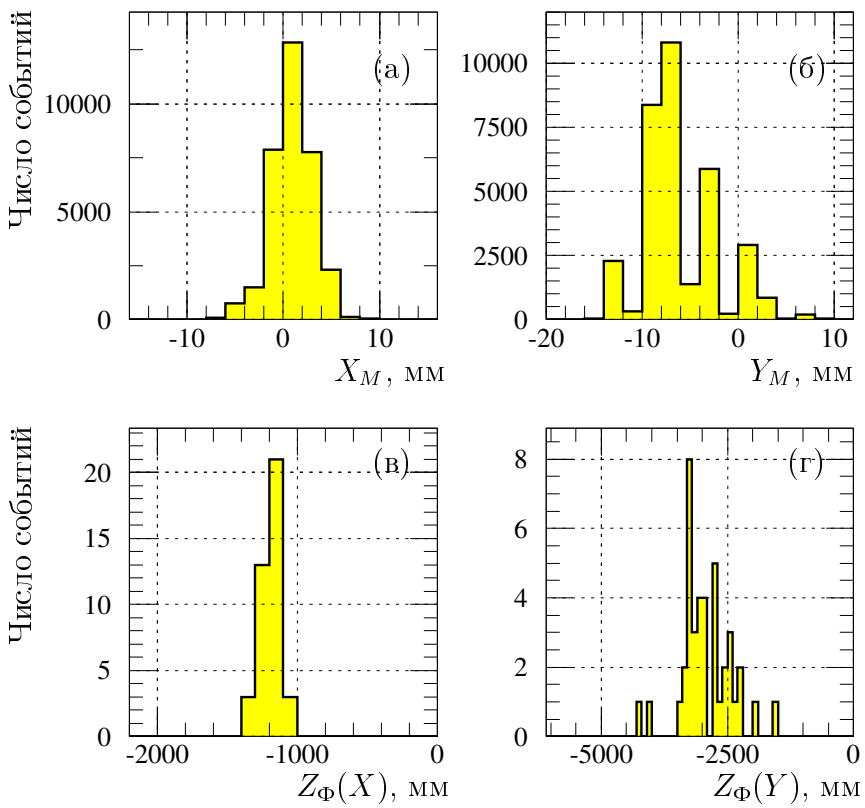

Рис. 14: Профиль протонного пучка (а,б) и положение фокусов (в,г) на мишени установки при работе кристалла-24 и мишени-27 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_\mathrm{M} = 0$ мм, $Y_\mathrm{M} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное.

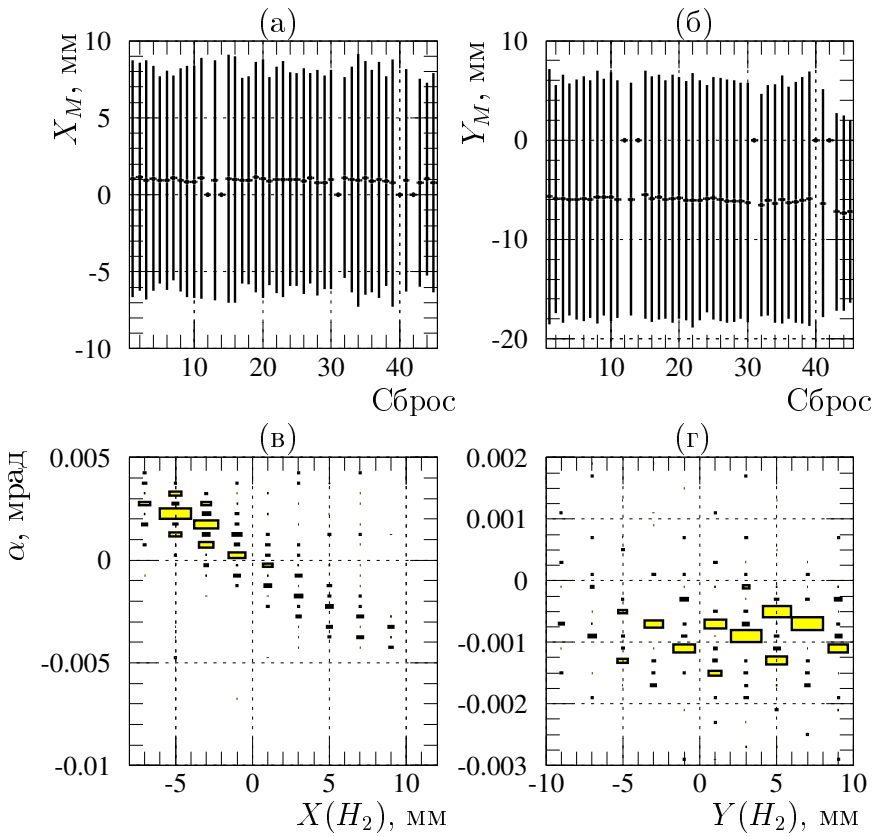

Рис. 15: Стабильность центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка (а,б), угловое распределение на годоскопе Н2 (в,г) при работе кристалла-24 и мишени-27 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\rm M} = 0$ мм, $Y_{\rm M} = -7$ мм.

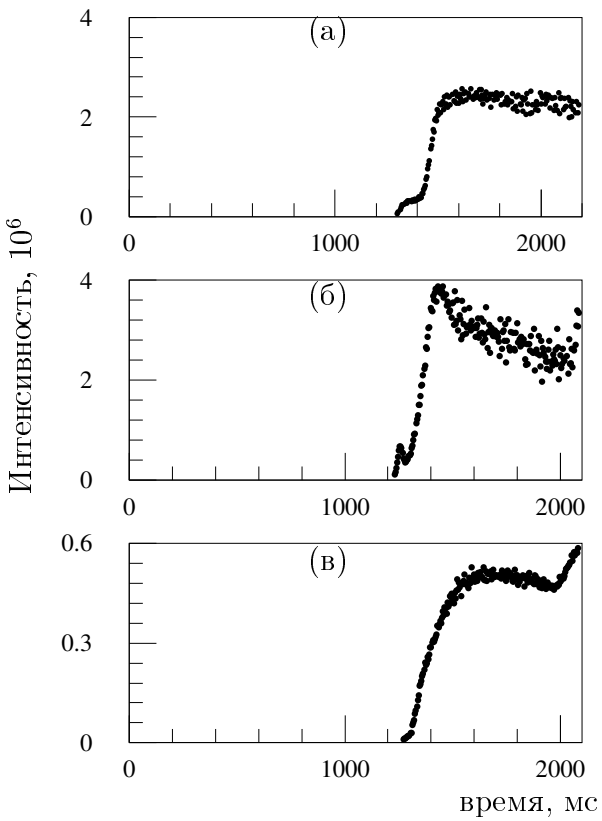

Рис. 16: Временная структура выведенного протонного пучка для 3 разных режимов в специальных измерениях в сеансе осень99: а) при работе кристалла-25; б) при работе кристалла-24; в) при параллельной работе кристалла-24 и мишени-27 на координате +20 мм.

Список рисунков

1 Зависимость горизонтального X_M (а) и вертикального Y_M (б) размеров выведенного протонного пучка на мишени установки ПРОЗА-М от номера экспозиции в сеансе 1996 г. Центр мишени расположен при $X_M = 0$ мм, $Y_M = 0$ мм. 14

2 Схема 14 канала. 14

3 Локальное искажение орбиты в У-70 для наведения первичного пучка на кристалл для разных режимов параллельной работы с мишенью, установленной в 27-м блоке ускорителя. 15

4 Ориентационные кривые для кристаллов 24 (а) и 25 (б). 15

5 Результат коллиматорного сканирования для кристалла-25 (черные кружочки) и кристалла-24 (белые кружочки). По оси абсцисс отложено положение правого края коллиматора в относительных единицах, а по оси ординат — интенсивность протонного пучка $S12$. Левый край коллиматора открыт полностью. 16

6 Профиль протонного пучка (а,б) и продольное положение фокусов по осям X и Y (в,г) на мишени установки при работе кристалла-25 и мишени-24 по результатам измерений в весеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\rm M} = 0$ мм, $Y_{\rm M} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное. 17

7 Стабильность центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка (а,б), угловое распределение на годоскопе Н2 (в,г) при работе кристалла-25 и мишени-24 по результатам измерений в весеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\rm M} = 0$ мм, $Y_{\rm M} = -7$ мм. 18

8 Профиль пионного пучка с импульсом 40 ГэВ/c (а,б) и продольное положение фокусов по осям X и Y (в,г) на мишени установки при работе мишени в 24-м блоке ускорителя по результатам измерений в весеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное. 19

9 Стабильность размеров и центра тяжести пионного пучка в весеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм. . . 20

10 Профиль протонного пучка (а,б) и положение фокусов (в,г) на мишени установки при работе кристалла-25 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное. . . . 21

11 Стабильность центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка (а,б), угловое распределение на годоскопе Н2 (в,г) при работе кристалла-25 и мишени-24 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм. 22

12 Профиль протонного пучка (а,б) и положение фокусов (в,г) на мишени установки при работе кристалла-24 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное. . . . 23

13 Стабильность центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка (а,б), угловое распределение на годоскопе Н2 (в,г) при работе кристалла-25 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм. 24

14 Профиль протонного пучка (а,б) и положение фокусов (в,г) на мишени установки при работе кристалла-24 и мишени-27 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм. Направление к У-70 от центра мишени принято за отрицательное. 25

15 Стабильность центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка (а,б), угловое распределение на годоскопе Н2 (в,г) при работе кристалла-24 и мишени-27 по результатам измерений в осеннем сеансе 1999 г. Положение центра мишени: $X_{\text{М}} = 0$ мм, $Y_{\text{М}} = -7$ мм. 26

16 Временная структура выведенного протонного пучка для 3 разных режимов в специальных измерениях в сеансе осень99: а) при работе кристалла-25; б) при работе кристалла-24; в) при параллельной работе кристалла-24 и мишени-27 на координате +20 мм. 27