



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2000-11

ОЭФ

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

**ВЫВОД ПРОТОННОГО ПУЧКА 70 ГэВ  
НА УСТАНОВКУ РАМПЭКС  
С ПОМОЩЬЮ КРИСТАЛЛА КРЕМНИЯ**

Протвино 2000

### Аннотация

Бугорский А.П. и др. Вывод протонного пучка 70 ГэВ на установку РАМПЭКС с помощью кристалла кремния.: Препринт ИФВЭ 2000-11. – Протвино, 2000. – 14 с., 19 рис., библиогр.: 9.

Для проведения эксперимента РАМПЭКС с 70-ГэВ протонным пучком, выведенным из У-70 с помощью монокристалла кремния, в режиме параллельной работы нескольких установок необходимо иметь на поляризованной мишени установки стабильный пучок следующих параметров: интенсивность  $5 \times 10^6$  протонов за цикл, горизонтальный и вертикальный размеры пучка и угловая расходимость на мишени соответственно  $10 \times 14$  мм<sup>2</sup> и  $\pm 2,5$  мрад. Приведены экспериментальные данные по исследованию и формированию стабильного выведенного пучка на 14-м канале с существующими кристаллами.

### Abstract

Bugorsky A.P. et al. Extraction of 70 GeV Proton Beam to RAMPEX with a bent Si Crystal.: IHEP Preprint 2000-11. – Protvino, 2000. – p. 14, figs. 19, refs.: 9.

For measurements in the experiment RAMPEX with the 70 GeV proton beam, extracted directly from the accelerator U-70 with a bent Si crystal, it is necessary to have stable proton beam on the polarized target of the following parameters: the beam intensity of  $5 \times 10^6$  p/c and the beam size, characterized by values  $\Delta x = \pm 5$  mm,  $\Delta y = \pm 7$  mm with  $\pm 2,5$  mrad angular divergences. The experimental data on investigations and the stable beam shaping with the existing bent Si crystal were carried out.

## Введение

В последние десятилетия одними из наиболее перспективных направлений в физике высоких энергий стали поляризационные исследования. Заметный вклад в развитие этого направления внесли и вносят эксперименты на установках ПРОЗА и РАМПЭКС [1],[2],[3]. На 14-м канале на установке ПРОЗА проводились измерения асимметрии инклюзивно образованных  $\pi$ -мезонов на поляризованной протонной мишени при взаимодействии отрицательных пионов, рождающихся при взаимодействии первичных 70-ГэВ протонов с внутренней бериллиевой или углеродной мишенью, расположенной в 24-м магнитном блоке кольцевого электромагнита 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 существовали три метода вывода пучка, каждый из которых охватывал свой диапазон энергий и интенсивностей выводимых пучков: вывод пучков с внутренних мишеней ускорителя, “быстрый” и “медленный” выводы.

В 1989 г. в целях расширения диапазона исследованных энергий до максимально возможного на ускорителе ИФВЭ энергии 70 ГэВ была впервые в мире реализована схема вывода первичных протонов из вакуумной камеры У-70 (ускорителя с жесткой фокусировкой) на действующую установку с помощью изогнутого монокристалла кремния [4]. Таким образом, появилась возможность проводить измерения при значениях энергии, дополняющих имеющиеся экспериментальные результаты. Принцип протонного вывода с помощью изогнутого кристалла был впервые применен в ОИЯИ (Дубна) в 1984 г. [5],[6]. Этот способ вывода отличается от ранее применявшихся отсутствием сложного технологического оборудования, необходимого для “быстрого” или “медленного” выводов, снижением проблем радиационного облучения оборудования, неизбежных при использовании внутренних мишеней.

Для проведения эксперимента РАМПЭКС интенсивность и размеры протонного пучка на поляризованной мишени установки должны быть соответственно  $5 \times 10^6$  прот/с и  $10 \times 14$  мм<sup>2</sup>, а необходимым условием являются стабильность положения центра тяжести выведенного пучка в центре мишени  $\pm 1$  мм и угловая расходимость на мишени  $\pm 2,5$  мрад. После первых лет (с 1989 по 1995 гг.) исследований вывода 70-ГэВ протонов с помощью

монокристалла кремния весной 1996 г. был проведен сеанс по набору статистики на установке ПРОЗА-М [7]. Следует заметить, что во время сеанса менялась на порядок интенсивность выведенного пучка в течение примерно одного часа измерений.

Обработка данных поведения протонного пучка на поляризованной мишени установки (рис.1 и 2) показала, что примерно в 30% данных по этому сеансу центр тяжести протонного пучка попадал на край 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.

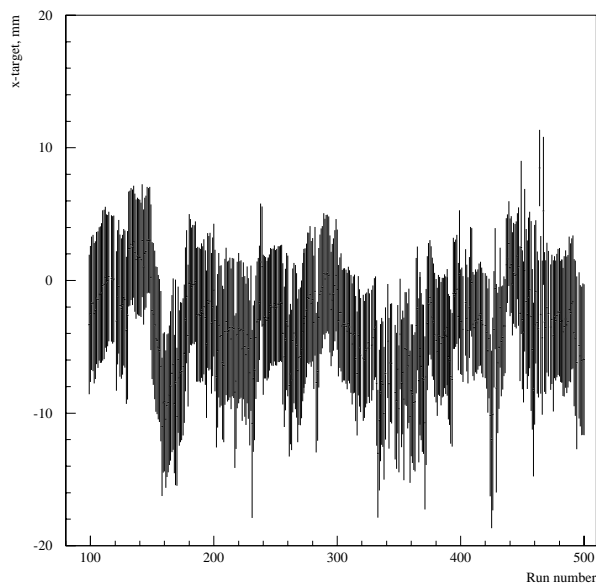


Рис. 1. Зависимость горизонтального размера выведенного протонного пучка на мишени установки ПРОЗА-М от номера Run-а в сеансе 1996 г. Центр мишени расположен при  $X\text{-target} = 0$  мм.

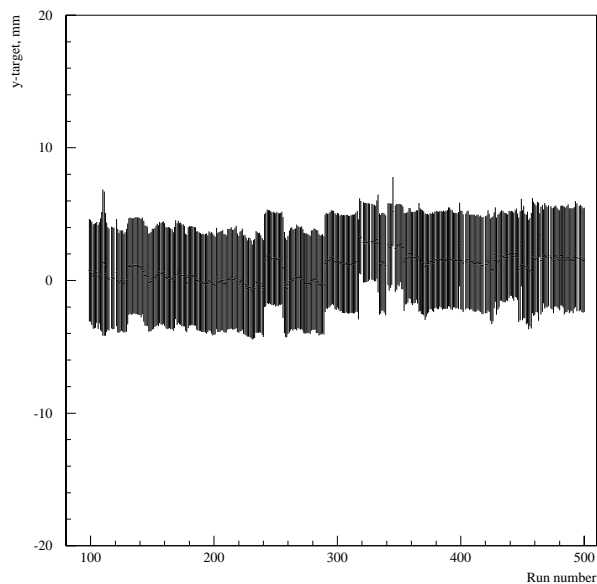


Рис. 2. Зависимость вертикального размера выведенного протонного пучка на мишени установки ПРОЗА-М от номера Run-а в сеансе 1996 г. Центр мишени расположен при  $Y\text{-target} = 0$  мм.

А на рис.3 и 4 показаны характеристики протонного пучка при работе 25-го кристалла и 24-й углеродной внутренней мишени в специальных измерениях по изучению протонного пучка в весеннем сеансе 1999 г. Размер пучка был соответственно по горизонтали и вертикали 12 и 20 мм, что больше необходимого. После этого серьезной задачей для проведения эксперимента РАМПЭКС с 70-ГэВ протонным пучком стало создание стабильного выведенного пучка необходимых размеров на поляризованной мишени установки. Для решения этой задачи были проведены дополнительные расчеты динамики пучка в  $U\text{-70}$ , фокусировки по 14-му каналу, был изготовлен и установлен в конце 24-го блока новый кристалл с системой перемещения по углу и радиусу в медианной плоскости ускорителя, а для установленного с 1989 г. в 25-м блоке кристалла была сделана система диагностики углового перемещения, отъюстирована вся система вывода, в том числе проверен угол изгиба 25-го кристалла, точность установки гониометра в вакуумной камере, откалиброваны системы перемещения, проведены геодезические измерения магнитооптических элементов канала.

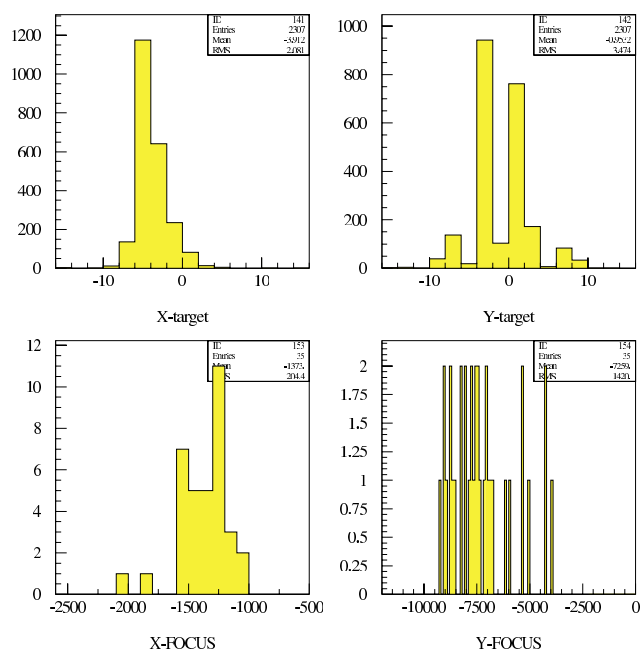


Рис. 3. Профиль протонного пучка и положение фокусов на мишени установки при работе 25-го кристалла и 24-й мишени в специальных измерениях в сеансе весна-99. Расстояние дано в миллиметрах от центра мишени, который по горизонтали расположен при  $X\text{-target}=0$  мм, а по вертикали — при  $Y\text{-target}=-7$  мм, а направление к  $Y-70$  от центра мишени принято за отрицательное.

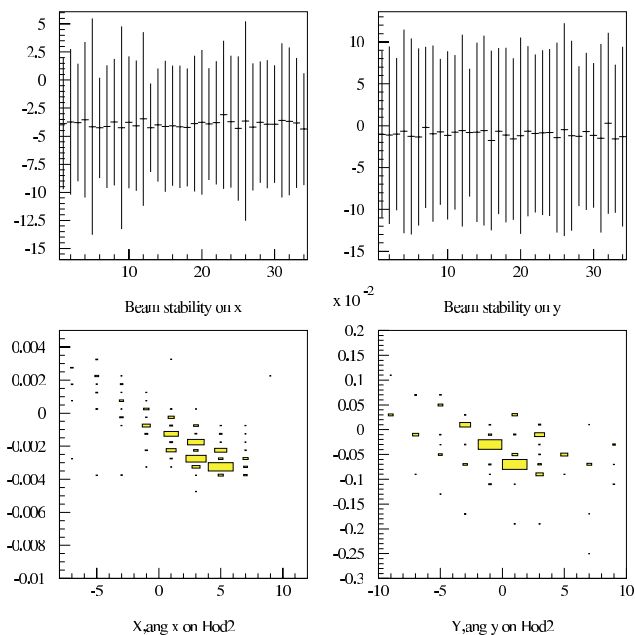


Рис. 4. Стабильность центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка, угловое распределение на Н2 годоскопе при работе 25-го кристалла и 24-й мишени в специальных измерениях в сеансе весна-99. Для верхних рисунков по оси абсцисс отложены “сбросы”, а по оси ординат — расстояние в миллиметрах от центра мишени, причем по горизонтали центр мишени расположен при  $X = 0$  мм, а по вертикали — при  $Y = -7$  мм. Для нижних рисунков по оси абсцисс отложена координата в миллиметрах, а по оси ординат — угол в миллирадианах.

## 1. Описание канала и кристаллов

Проведение протонного пучка по каналу и фокусировка его на поляризованной мишени установки РАМПЭКС обеспечивались существующим оборудованием 14-го канала (рис.5). До первых магнитных элементов на канале расположены вертикальный К1 и горизонтальный К2 коллиматоры. В случае вывода протонного пучка коллиматоры полностью раскрыты, и с их помощью делается коллиматорный скан положения центра тяжести и размеров выведенного протонного пучка из вакуумной камеры У-70 перед входом в первые магнитооптические элементы 14-го канала. В “голове” 14-го канала расположены 4 квадрупольные линзы, обеспечивающие первоначальную фокусировку выведенного протонного пучка, поворотный магнит 2-М5, который раздает пучок во 2-й или в 14-й канал. Для 14-го канала угол поворота в магните 2-М5 равен 13,19 мрад в направлении от ускорителя У-70. Далее по ходу пучка расположены импульсный коллиматор К3 и второй поворотный магнит 14-М18, который поворачивает пучок на 21,60 мрад в направлении к ускорителю, “сажая” его на ось 14-го канала.

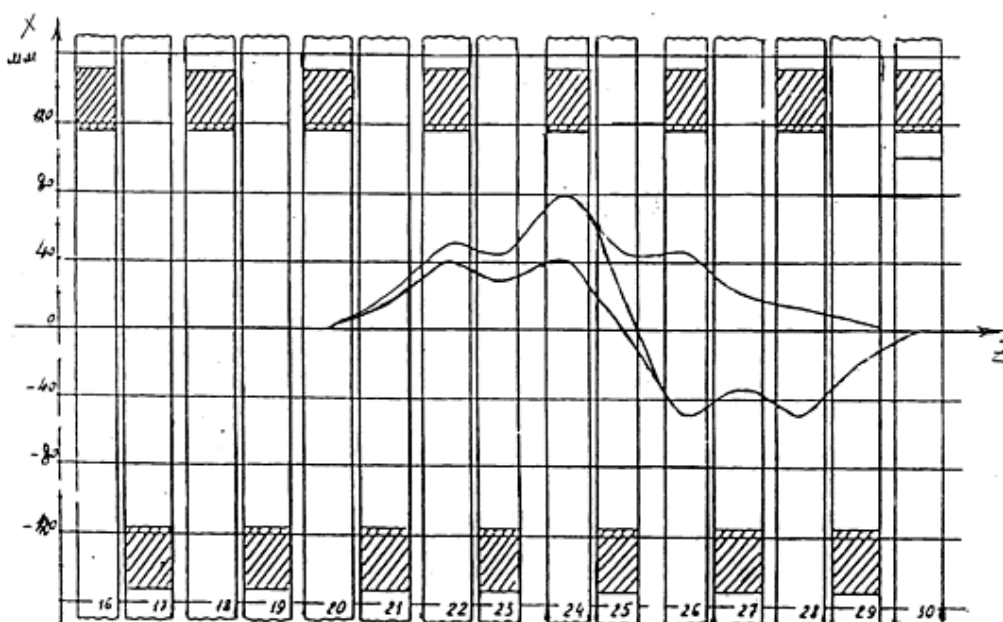


Рис. 5. Локальное искажение орбиты в У-70 для наведения первичного пучка на кристаллы для разных режимов параллельной работы с 27-й мишенью.

На участке 14-го канала в экспериментальном зале 1БВ расположены два дублета линз и два специальных магнита СП-140 для более точной коррекции по вертикали и горизонтали выводимого 70-ГэВ протонного пучка на мишень установки РАМПЭКС. Длина канала составляет 95,010 м от выхода в середине 25-го прямолинейного промежутка У-70 до центра поляризованной мишени эксперимента. Поток 70-ГэВ протонов мониторировался телескопом из трех счетчиков: S1 — диаметром 100 мм и расположенным на расстоянии 16,15 м от поляризованной мишени, S2 — диаметром тоже 100 мм и расположенным в 9 м от мишени и S3 — соответственно диаметром 18 мм и на расстоянии 1,9 м. Угол входа частиц в мишень измерялся двумя двухкоординатными

годоскопами Н1 и Н2, установленными перед поляризованной мишенью на расстоянии 8,75 и 3,10 м соответственно. Н1 состоит из двух плоскостей, содержащих по 16 сцинтилляционных счетчиков длиной 85 мм и шириной 5 мм, а Н2 — из двух плоскостей, содержащих по 12 сцинтилляционных счетчиков длиной 40 мм и шириной 2 мм.

Чтобы вывести первичные протоны с энергией 70 ГэВ из ускорителя по тому же направлению (14-й канал), что и отрицательные пионы с импульсом 40 ГэВ/с, в 1989 г. был установлен монокристалл кремния в начале 25-го магнитного блока У-70 [8]. В 1998 г. был установлен второй кристалл в конце 24-го магнитного блока. Параметры и угол изгиба обоих кристаллов были рассчитаны и оптимизированы для энергии 70 ГэВ, геометрии существующей вакуумной камеры У-70, где расположены кристаллы, и 14-го канала. Оба кристалла были изготовлены на основе монокристалла кремния, вырезанного вдоль плоскости (111). 25-й кристалл имеет форму параллелепипеда со скошенными краями с размерами  $65 \times 15 \times 0.6$  мм<sup>3</sup>. 25-й кристалл прижимается к изогнутому с помощью винта П-образному держателю тонкой алюминиевой пластиной. С учетом установки кристалла в вакуумной камере ускорителя для попадания протонов на ось 14-го канала (до первого магнита 2-М5 оси 2- и 14-го каналов совпадают) требуется угол изгиба 25-го кристалла 80 мрад. 25-й кристалл в рабочем положении 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 блоками 20 и 26 в режиме обратной связи по пучку и блоками 21 и 27 в режиме “подставки” (рис.6). Получение равномерного наведения пучка на кристалл решалось, как и в случае с внутренними мишенями, использованием монитора обратной связи, который располагался на уровне орбиты первичного пучка на расстоянии 10 м за кристаллом. При некоторых режимах параллельной работы нескольких установок до кристалла по ходу первичного пучка вводилась тонкая углеродная внутренняя мишень 24/3, которая рассеивала ускоренный пучок протонов, и для данного режима параллельной работы улучшала временную структуру выведенного протонного пучка. Кроме того, для точного вывода протонов на ось 14-го канала существует возможность менять угол и координату установки кристалла в вакуумной камере У-70 по отношению к падающему пучку с помощью прецизионного гониометра.

Гониометр имеет две степени свободы. Во-первых, может двигаться в горизонтальном направлении перпендикулярно орбите первичного пучка У-70 в диапазоне 110 мм с шагом 50 мкм. Во-вторых, в горизонтальной плоскости может менять угол установки кристалла в диапазоне 66 мрад с шагом 65 мкрад. 24-й кристалл расположен в конце 24-го блока У-70, имеет форму правильного параллелепипеда с размерами  $96 \times 23 \times 0.6$  мм<sup>3</sup>, и с учетом установки в 24-м блоке и попадания выводимых протонов на ось 14-го канала, изогнут на угол 65 мрад. Диапазон горизонтального движения внутри вакуумной камеры и мини-

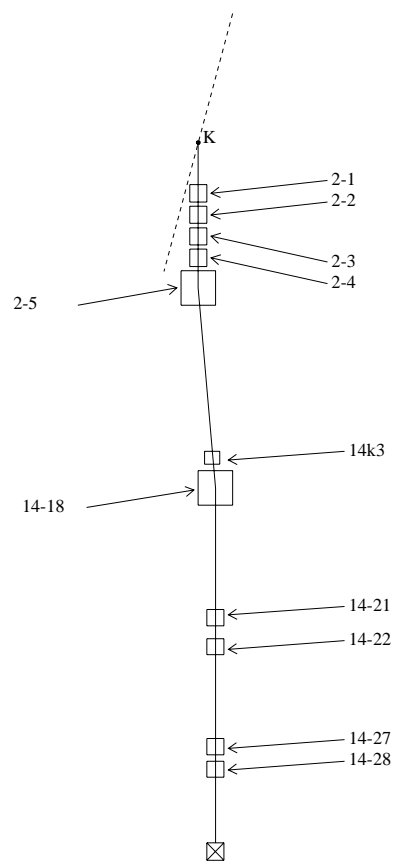


Рис. 6. Схема 14-го канала.

мальный шаг гониометра для управления 24-м кристаллом соответственно равны 70 мм и 50 мкм. А диапазон изменения угла установки 24-го кристалла 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 “каналировать”, т.е. быть захваченными сильным потенциалом, который создан атомами кристаллической решетки, а критический угол каналирования для 70-ГэВ пучка равен 25 мкрад. Использование кристалла кремния объясняется высоким совершенством получаемых монокристаллов – бездислокационных и с низким содержанием примесей.

## 2. Экспериментальные результаты

После нескольких лет экспериментального исследования вывода протонов в 14-й канал, показавших принципиальную возможность работы установки ПРОЗА или РАМПЭКС с 70-ГэВ частицами, стало ясно, что при стандартной работе физических установок в сеансе, т.е. параллельной работе двух и более экспериментов в одном ускорительном цикле, выведенный протонный пучок на поляризованной мишени очень нестабилен. Результаты первых лет работы показали, что при сбросе или на мишень (24/3, углеродная) перед кристаллом по ходу первичного пучка или на сам кристалл меньше  $1 \times 10^{11}$  протонов за цикл, максимальная интенсивность в канале могла быть и была больше  $1 \times 10^7$  протонов за цикл.

Но аппаратура эксперимента и сам канал не рассчитаны на такие интенсивности. На первый план выходит стабильность интенсивности, размеров, положения центра тяжести выведенного протонного пучка на поляризованной мишени эксперимента при параллельной работе нескольких установок на ускорительном “столе”, при которой 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. В случае работы эксперимента на 14-м канале параллельно с ним на ускорительном “столе” работают 4-й канал с 27-м кристаллом или мишенью, причем 27-я мишень может работать как на отрицательных, так и на положительных координатах относительно центральной орбиты первичного пучка У-70, или/и “медленный” вывод в разных модах своей работы (стандартный, с 19-м кристаллом, 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.7 и 8 приведены ориентационные кривые для обоих кристаллов, полученные в сеансе осень-99. Диапазон изменения угла установки кристалла, при котором интенсивность в канале падает в 2 раза, равен для 25-го кристалла  $\pm 300$  мкрад, а для 24-го кристалла —  $\pm 200$  мкрад. Разница в угловом диапазоне для 25- и 24-го кристаллов прежде всего объясняется тем, что 25-й кристалл 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 делался коллиматорный скан.



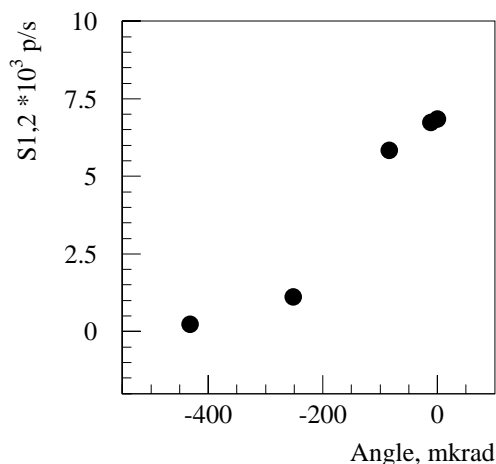


Рис. 7. Ориентационная кривая для 24-го кристалла.

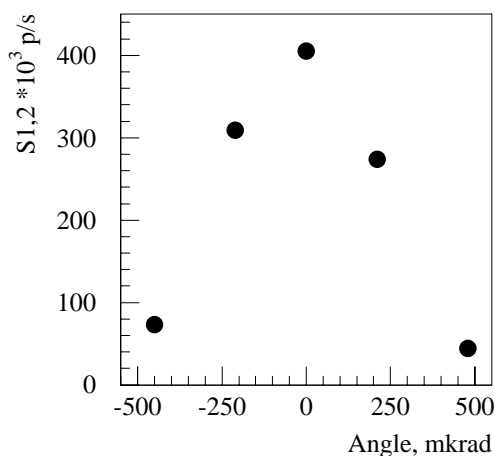


Рис. 8. Ориентационная кривая для 25-го кристалла.

На рис.9 и 10 представлены горизонтальные сканы пучка для 24- и 25-го кристаллов в сеансе весна-99. Видно, что центр выведенного с помощью 25-го кристалла пучка 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 24-го кристалла, попадал в канал под углом 8 мрад по отношению к направлению канала и, кроме того, имел смещение в горизонтальной плоскости 16 мм к ускорителю. В этом случае для коррекции трассы пучка использовался магнит М1А, расположенный по ходу пучка до коллиматоров, совместно с дублетом квадрупольных линз Л2-2 и Л2-4.

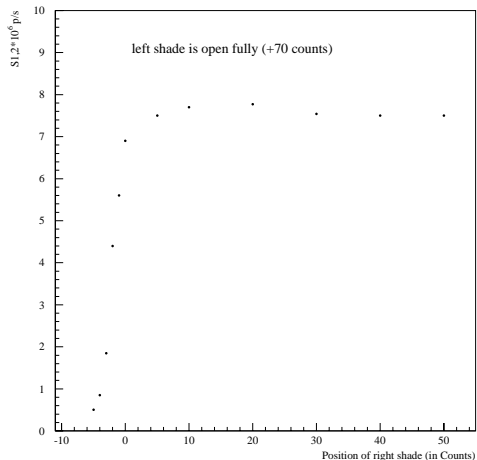


Рис. 9. Коллиматорный скан для 25-го кристалла. По оси абсцисс отложены интенсивность по показаниям монитора  $S_{1,2} \times 10^6$  прот/с, а по оси ординат — расстояние в миллиметрах от оптической оси (и соответствующей на рисунке 0 мм) 14-го канала в месте расположения коллиматора.

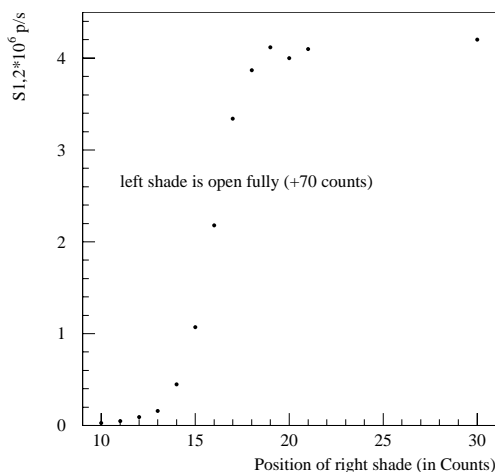


Рис. 10. Коллиматорный скан для 24-го кристалла. По оси абсцисс отложены интенсивность по показаниям монитора  $S_{1,2} \times 10^6$  прот/с, а по оси ординат — расстояние в миллиметрах от оптической оси (и соответствующей на рисунке 0 мм) 14-го канала в месте расположения коллиматора.

Во время исследований в сеансах весна–99 и осень–99 были проверены разные расчетные режимы оптики канала по оптимальному проведению пучка, фокусировки его на поляризованной мишени установки, улучшению радиационной ситуации на 14-м канале. Поляризованная мишень представляет собой в качестве рабочего вещества пропандиол, заключенный в тефлоновую ампулу диаметром 20 мм и длиной 200 мм. Для условия эксперимента необходимо, чтобы положение центра тяжести выведенного протонного пучка в центре мишени в зависимости от времени было стабильно и не хуже  $\pm 1$  мм, размер пучка на входе в мишень был соответственно в горизонтальном и вертикальном направлениях  $10 \times 14$  мм<sup>2</sup>, а угловая расходимость в мишени — не более чем  $\pm 2,5$  мрад (т.е. чтобы весь пучок по всей длине мишени взаимодействовал только с материалом мишени). Для сравнения на рис.11 и 12 показаны характеристики 40-ГэВ пионного пучка на поляризованной мишени в сеансе весна–99: положение фокусов выведенного пучка в зависимости от центра мишени, профиль и стабильность 40-ГэВ пионного пучка на поляризованной мишени. Горизонтальный и вертикальный размеры пучка равны соответственно  $10 \times 14$  мм<sup>2</sup>, а положение центра тяжести во времени стабильно, хотя по горизонтали смещены на 3 мм от центра мишени.

В сеансе весна–99 основное внимание было уделено формированию стабильного выведенного протонного пучка с помощью 25-го кристалла, а в сеансе осень–99 — с помощью 24-го кристалла. На рис. 13 и 14 показаны характеристики 70-ГэВ протонного пучка, выведенного с помощью 25-го кристалла в сеансе осень–99, где мы получили хорошую повторяемость задаваемых параметров систем вывода и как следствие характеристик пучка в сравнении с данными сеанса весна–99. В этом случае наведение первичного пучка У-70 осуществлялось “бампами” 20–26 с обратной связью и бампами 21–27 как “подставка”, сброс на кристалл был  $1 \times 10^{11}$  прот/с, радиус установки кристалла в вакуумной камере был +9,5 В по показаниям вольтметра, что соответствует +55 мм от орбиты циркулирующего пучка. Размер пучка на мишени установки был соответственно по горизонтали и вертикали 12 и 16 мм, что больше необходимого, принимая во внимание и большую нестабильность протонного пучка по сравнению с пионным. Интенсивность пучка на мишени по показаниям мониторов была  $3 \times 10^6$  прот/с.

Впервые в сеансе осень–99 были проведены исследования 70-ГэВ протонного пучка при выводе с помощью 24-го кристалла (рис.15 и 16). Наведение осуществлялось “бампами” 20–26 с обратной связью и 21–27 как “подставка” с током 160 А, сброс на кристалл был  $6 \times 10^{11}$  прот/с, радиус установки кристалла по показаниям вольтметра равен +0,52 В, что соответствует расстоянию от центральной орбиты +50 мм, работал магнит М1А, оптическая ось которого была сдвинута на 20 мм к У-70. Размер пучка был соответственно по горизонтали и вертикали 16 и 20 мм, что, как и в случае с 25-м кристаллом, больше необходимого. Также видна и большая нестабильность в зависимости от времени протонного пучка по сравнению с пионным. Интенсивность пучка на мишени установки по показаниям мониторов была  $3 \times 10^6$  прот/с.

Но как уже отмечалось выше, для проведения эксперимента РАМПЭКС важен стабильный протонный пучок на поляризованной мишени установки при параллельной работе нескольких экспериментов 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.

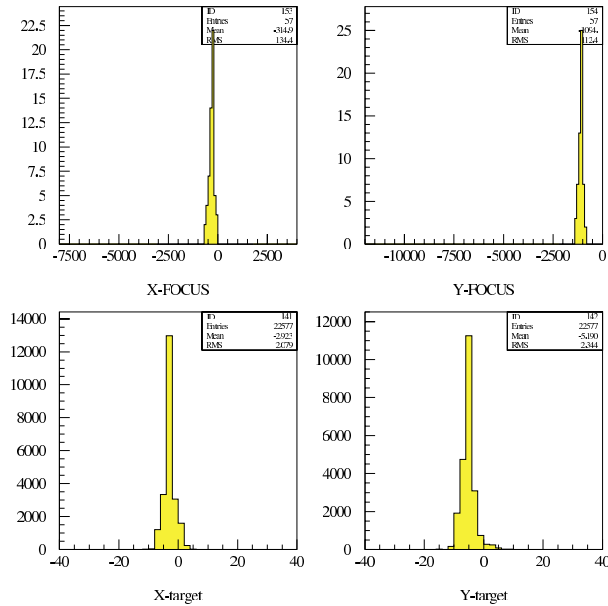


Рис. 11. Профиль пионного 40-ГэВ пучка и положение фокусов на мишени установки при работе 24/3 мишени в сеансе весна-99. Расстояние дано в миллиметрах от центра мишени, который по горизонтали расположен при  $X\text{-target} = 0$  мм, а по вертикали — при  $Y\text{-target} = -7$  мм, а направление к  $Y\text{-70}$  от центра мишени принято за отрицательное.

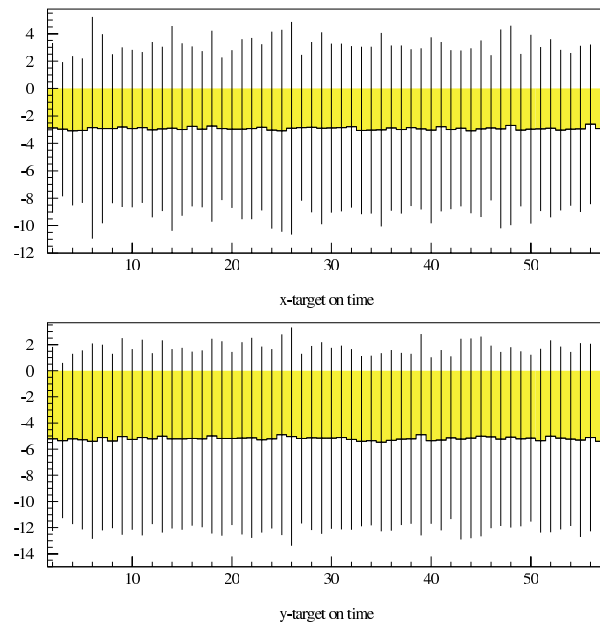


Рис. 12. Стабильность размеров и центра тяжести пионного 40-ГэВ пучка в сеансе весна-99. По оси абсцисс отложены “сбросы”, а по оси ординат — расстояние в миллиметрах от центра мишени, причем по горизонтали центр мишени расположен в 0 мм, а по вертикали — в  $-7$  мм.

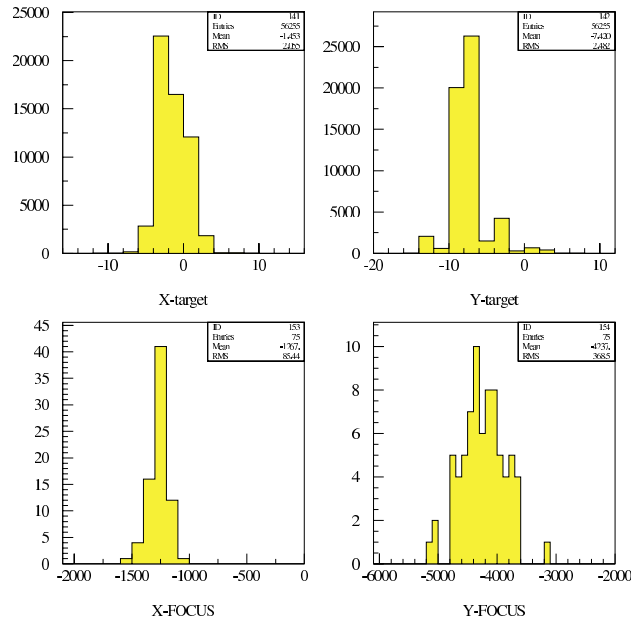


Рис. 13. Профиль пучка и положение фокусов на мишени установки при работе 25-го кристалла в специальных измерениях в сеансе осень-99. Расстояние дано в миллиметрах от центра мишени, который по горизонтали расположен при  $X\text{-target} = 0$  мм, а по вертикали — при  $Y\text{-target} = -7$  мм, а направление к  $Y-70$  от центра мишени принято за отрицательное.

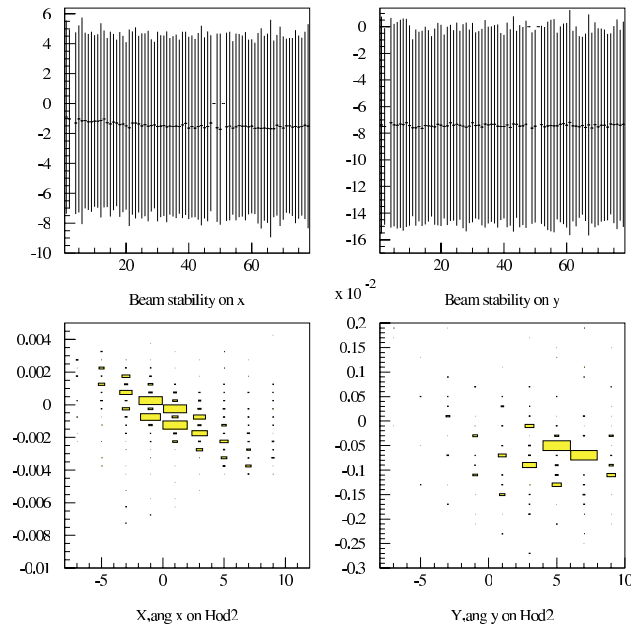


Рис. 14. Стабильность центра тяжести выведенного протонного пучка и угловое распределение на Н2 годоскопе при работе 25-го кристалла в специальных измерениях в сеансе осень-99. Для верхних рисунков по оси абсцисс отложены “сбросы”, а по оси ординат — расстояние в миллиметрах от центра мишени, причем по горизонтали центр мишени расположен в  $X=0$  мм, а по вертикали — в  $Y=-7$  мм. Для нижних рисунков по оси абсцисс отложена координата в миллиметрах, а по оси ординат — угол в миллирадианах.

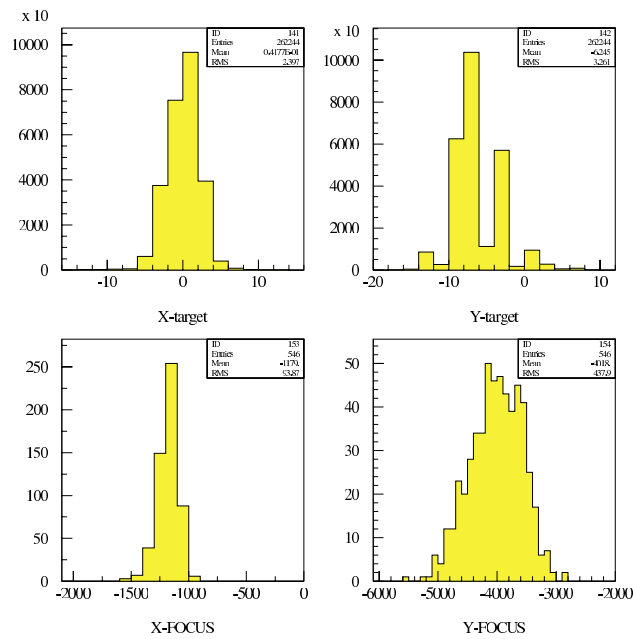


Рис. 15. Профиль пучка и положение фокусов на мишени установки при работе 24-го кристалла в специальных измерениях в сеансе осень–99. Расстояние дано в миллиметрах от центра мишени, который по горизонтали расположен при  $X\text{-target}=0$  мм, а по вертикали — при  $Y\text{-target}=-7$  мм, а направление к  $Y\text{-70}$  от центра мишени принято за отрицательное.

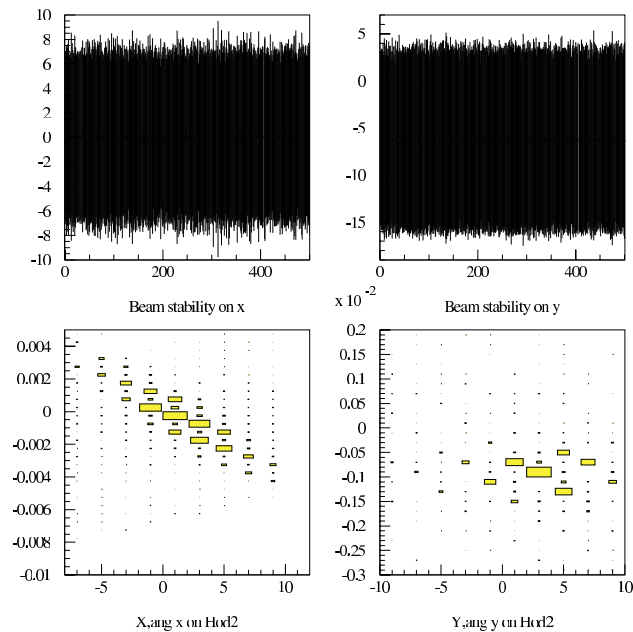


Рис. 16. Стабильность центра тяжести выведенного протонного пучка и угловое распределение на H2 годоскопе при работе 24-го кристалла в специальных измерениях в сеансе осень–99. Для верхних рисунков по оси абсцисс отложены “сбросы”, а по оси ординат — расстояние в миллиметрах от центра мишени, причем по горизонтали центр мишени расположен при  $X=0$  мм, а по вертикали — при  $Y=-7$  мм. Для нижних рисунков по оси абсцисс отложена координата в миллиметрах, а по оси ординат — угол в миллирадианах.

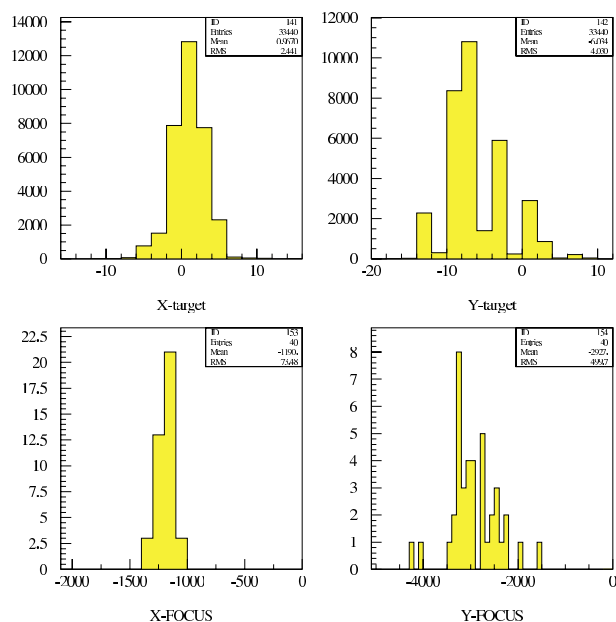


Рис. 17. Профиль протонного пучка и положение фокусов на мишени установки при работе 24-го кристалла и 27-й мишени в специальных измерениях в сеансе осень-99. Расстояние дано в миллиметрах от центра мишени, который по горизонтали расположен при  $X\text{-target}=0$  мм, а по вертикали — при  $Y\text{-target}=-7$  мм, а направление к  $Y-70$  от центра мишени принято за отрицательное.

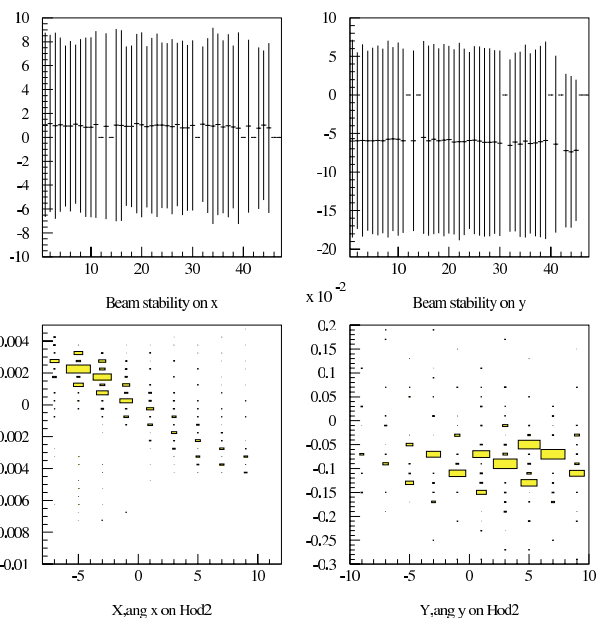


Рис. 18. Стабильность центра тяжести выведенного протонного пучка и угловое распределение на Н2 годоскопе при работе 24-го кристалла и 27-й мишени в специальных измерениях в сеансе осень-99. Для верхних рисунков по оси абсцисс отложены “сбросы”, а по оси ординат — расстояние в миллиметрах от центра мишени, причем по горизонтали центр мишени расположен при  $X=0$  мм, а по вертикали — при  $Y=-7$  мм. Для нижних рисунков по оси абсцисс отложена координата в миллиметрах, а по оси ординат — угол в миллирадианах.

Во время исследований в сеансе весна–2000 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 сеансе осень–99. На рис.17 и 18 показаны характеристики 70-ГэВ протонного пучка на поляризованной мишени эксперимента РАМПЭКС при выводе с помощью 24-го кристалла в режиме параллельной работы с 27-й мишенью, которая работала на положительной координате +20 мм относительно центральной орбиты пучка в У-70. Размер выведенного пучка на поляризованной мишени был равен соответственно по горизонтали и вертикали 16 и 20 мм, т.е. размер пучка остался таким же, как и при работе одного кристалла на ускорительном “столе”, но нестабильность в зависимости от времени положения центра тяжести протонного пучка стала больше по сравнению с работой одного кристалла.

В сеансе осень–99 работы велись на второй половине ускорительного “стола”. Кроме геометрических характеристик и стабильности протонного пучка на мишени установки важна временная структура выведенного пучка. А на рис.19 показана временная структура пучка для трех разных режимов вывода в сеансе осень–99: а) при работе одного 25-го кристалла, б) при работе одного 24-го кристалла, в) при параллельной работе 24-го кристалла и 27-й мишени на координате +20 мм.

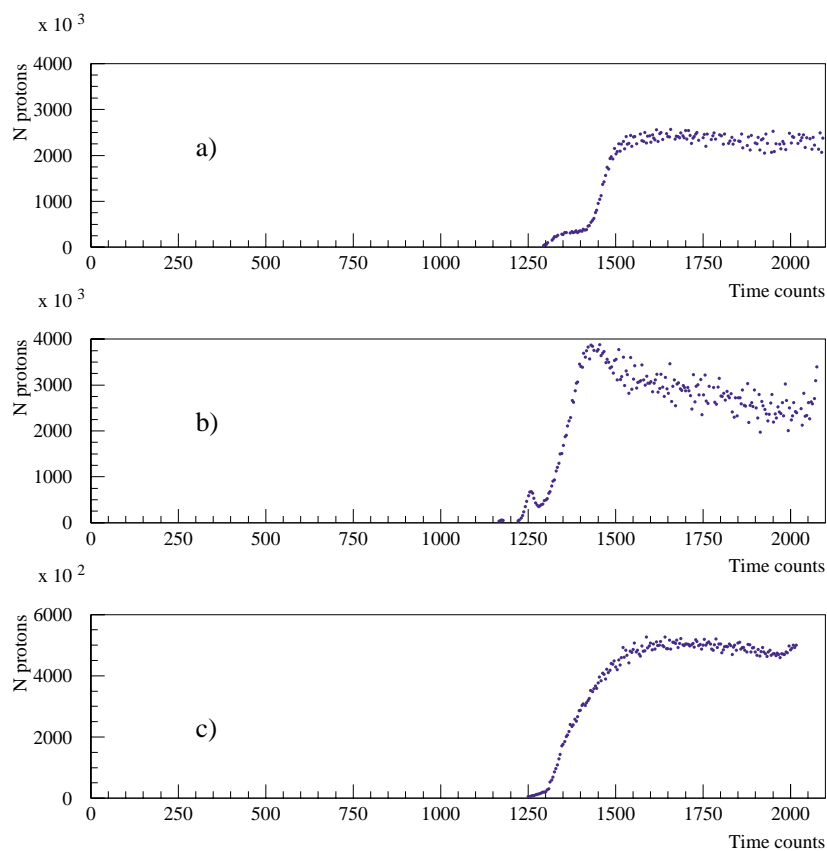


Рис. 19. Временная структура выведенного протонного пучка для 3 разных режимов в специальных измерениях в сеансе осень–99: а) при работе 25-го кристалла; б) при работе 24-го кристалла; в) при параллельной работе 24-го кристалла и 27-й мишени на координате +20 мм. По оси ординат отложена интенсивность выведенного пучка на мишени установки, а по абсцисс — время в микросекундах на ускорительном плато.

## Заключение

Приведенные в данной статье результаты показывают, что выведенный протонный пучок на мишени установки РАМПЭКС стабилен в случае работы одного кристалла (24- или 25-го) на “столе” У-70, а размеры пучка, особенно вертикальный, при существующих 24- и 25-м кристаллах больше требуемых параметров для эксперимента. Параллельная работа 14-го канала с 70-ГэВ протонами и 4-го канала с 27-й мишенью или/и “медленного” вывода в специальных измерениях по изучению протонного пучка в сеансах весна-99 и осень-99 показала значительную нестабильность пучка. Изучение причин такой нестабильности продолжается. В связи с этим предполагаются замена обоих (24- и 25-го) кристаллов на кристаллы с такими же характеристиками, но оптимизированными по размерам с целью уменьшения вертикального профиля выведенного пучка, изменение угла установки в вакуумной камере У-70 гониометра 24-го кристалла и т.д.

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

Работа была поддержана грантом РФФИ 99-02-18333.

## Список литературы

- [1] Аввакумов И.А. и др. // ПТЭ, 1987, 5, с. 46.
- [2] Апокин В.Д. и др. – Препринт ИФВЭ 97-38, Протвино, 1997.
- [3] Akimenko S. et al. – Препринт ИФВЭ 97-58, Протвино, 1997.
- [4] Асеев А.А. и др. – Препринт ИФВЭ 89-57, Протвино, 1989.
- [5] Tsyganov E.N. Fermilab, ТМ-682, ТМ-684, Batavia, 1976.
- [6] Авдейчиков В.В. и др. Краткое сообщение ОИЯИ, 1, Дубна, 1989.
- [7] Belikov N.I. et al. – Препринт ИФВЭ 97-51, Протвино, 1997.
- [8] Асеев А.А. и др. – Препринт ИФВЭ 91-46, Протвино, 1999.
- [9] K.Elsener et al. – CERN SL/95-88(AP).

*Рукопись поступила 27 апреля 2000 г.*



А.П.Бугорский и др.

Вывод протонного пучка 70 ГэВ на установку РАМПЭКС с помощью кристалла кремния.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

---

Подписано к печати 27.04.2000. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.

Печ.л. 1,75. Уч.-изд.л. 1,4. Тираж 130. Заказ 132. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий  
142284, Протвино Московской обл.

