

ПРОТОННЫЙ СИНХРОТРОН ИФВЭ НА ЭНЕРГИЮ 70 ГЭВ. СОСТОЯНИЕ РАБОТ ПО НАЛАДКЕ, ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

А. А. НАУМОВ

Институт физики высоких энергий, Серпухов, СССР

Введение

Протонный синхротрон на 70 Гэв^{1,3} Института физики высоких энергий Государственного Комитета по использованию атомной энергии был запущен 14 октября 1967 года. В связи с обнадеживающими результатами запуска было решено вести наладку ускорителя параллельно с наладкой каналов и физическими исследованиями. Уже в 1968 году были поставлены опыты по р-р рассеянию, определению сечений рождения мезонов и антипротонов и поиску кварков.

В соответствии с принятой программой работ исследования, связанные с самим ускорителем, велись по плану, обеспечивающему прежде всего выполнение физических экспериментов.

В настоящем сообщении обобщены данные об ускорителе, опубликованные ранее, и приводятся последние результаты работ по его наладке и использованию.

Ускоритель

В качестве инжектора протонного синхротрона ИФВЭ используется линейный ускоритель на энергию 100 Мэв^{2,4}. Линейный ускоритель был запущен в июле 1967 года. В январе 1968 г. ток ускоренных протонов доведен до 100 ма при длительности импульса 15 мксек.

Экспериментально показано, что фокусирующий канал линейного ускорителя позволяет пропустить без потерь ток не менее 120 ма. Однако для обеспечения необходимой длительности и стабильности параметров импульса тока протонов, ускоренных до номинальной энергии, требуется компенсация потерь в. ч. энергии на ускорение. На первом резонаторе в. ч. мощность была удвоена еще в феврале 1968 г.

В настоящее время проводятся работы по удвоению установленной

мощности в. ч. генераторов на остальных резонаторах и изучаются методы компенсации потерь¹³.

При работе кольцевого ускорителя линейный ускоритель пока используется в следующем режиме: импульсный ток 60—80 ма; длительность импульса 15 мкеск; импульсный разброс $\frac{\Delta P}{P} = \pm 0,25\%$ на уровне 0,5; интегральный нормализованный эмиттанс 1,75 см. мрад. При этом обеспечивается интенсивность кольцевого ускорителя около 10^{12} частиц в импульсе.

На рис. 1 и 2 приведены характерные импульсные спектры и фазовые объемы пучка линейного ускорителя.

Согласование эмиттанса линейного ускорителя с аксептансом синхротрона производилось посредством магнитной оптики канала, связывающего линейный и кольцевой ускорители, предварительно по рас-

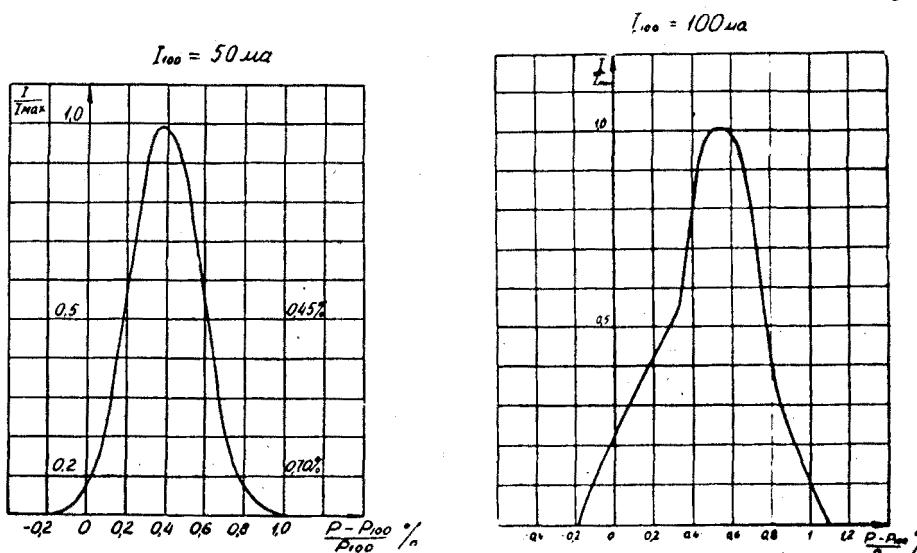


Рис. 1. Импульсные спектры пучка линейного ускорителя при токах 50 и 100 ма.

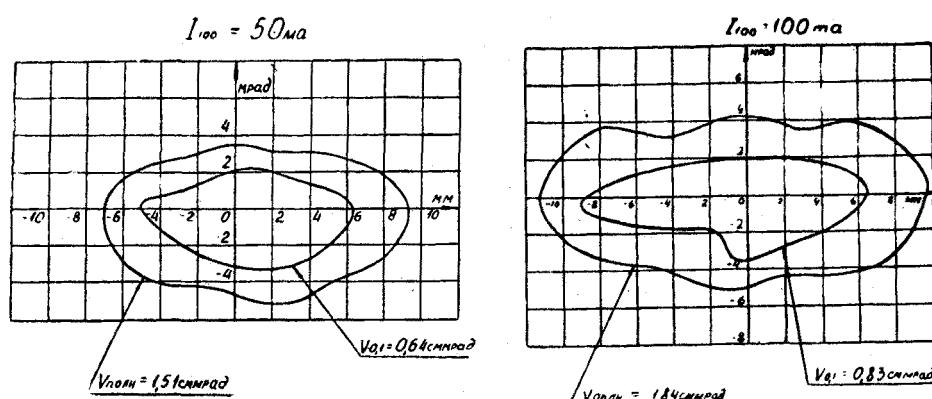


Рис. 2. Фазовые объемы пучка на выходе из линейного ускорителя при токе 50 и 100 ма.

четным данным и окончательно на основании данных, полученных при экспериментальном определении эмиттанса линейного ускорителя^{5,6,7}.

Для настройки кольцевого ускорителя предусмотрены сложные системы коррекции магнитного поля, которые обеспечивают подстройку во всем диапазоне энергий. Особенное значение системы коррекции поля имеют в момент инжекции, производящейся при поле 76 эрст. Остальное поле при этом составляет 35 эрстед. На основании данных магнитных измерений для упрощения технических задач было решено на первом этапе работ применить системы, обеспечивающие коррекцию только поля инжекции. Для этих целей была использована коррекция посредством шунтирования корректирующих обмоток специальными со-противлениями, величина которых была определена по данным магнитных измерений. Была осуществлена также коррекция искажений поля, возникающих благодаря нестационарным процессам в электромагните, представляющем собой систему с распределенными постоянными. Более тонкая коррекция осуществлялась посредством питания вспомогательных обмоток постоянными токами. Величина токов в этих обмотках подбиралась по данным исследований движения пучка. В первую очередь были скорректированы искажения орбиты, вызываемые неоднородностью магнитов и токами Фуко на участках ввода и вывода, где камера имеет большие размеры и толщину стенок 2 мм в отличие от остальных участков, где толщина стенок равна 0,4 мм.

В таблице 1 приведены результаты коррекции орбиты в момент инжекции, произведенной по данным магнитных измерений и по данным о положении орбиты, полученным от системы сигнальных электростатических электродов.

Таблица 1

Искажения орбиты (см)	Без коррекции	После коррекции по данным магнитных измерений	После коррекции по пучку
По радиусу	± 5	± 2	$\pm 1,5$
По высоте	± 2	± 2	$\pm 1,0$

По мере роста магнитного поля искажения орбиты уменьшаются. Начиная с полей 300—350 эрст и до 12.000 эрст форма орбиты практически не меняется. На рис. 3 показаны экспериментальные данные о положении и форме орбиты на средних полях.

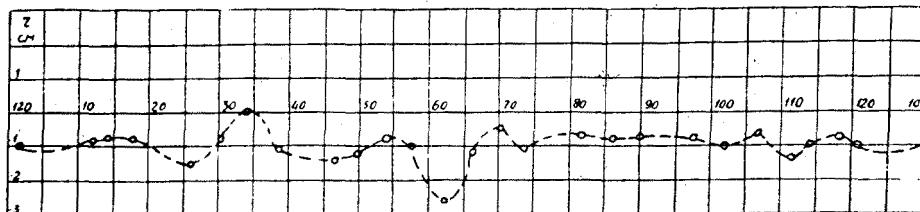


Рис. 3. Экспериментальные данные о форме орбиты на средних полях.

Результаты настройки ускорителя с пучком подтвердили правильность магнитных измерений.

Следующим важным этапом в настройке был выбор программы изменения частоты ускоряющего поля и введение обратной связи по пучку в системе автоподстройки частоты. После введения системы автоподстройки частоты было осуществлено в октябре 1967 года устойчивое ускорение до энергии 76 Гэв. В дальнейшем в качестве предельной была выбрана энергия 70 Гэв.

Удовлетворительные характеристики магнитного поля и большие размеры вакуумной камеры позволили начать физические исследования и работы по дальнейшей настройке ускорителя, не вводя более сложных систем коррекции магнитного поля и не проводя дальнейшей оптимизации частоты ускоряющего поля.

В настоящее время получена интенсивность до $1,2 \cdot 10^{12}$ $\frac{\text{прот.}}{\text{имп.}}$. Рабочая интенсивность составляет $(0,6 \div 1,0) \cdot 10^{12}$ $\frac{\text{прот.}}{\text{имп.}}$. На рис. 4 показана кривая роста интенсивности по годам.

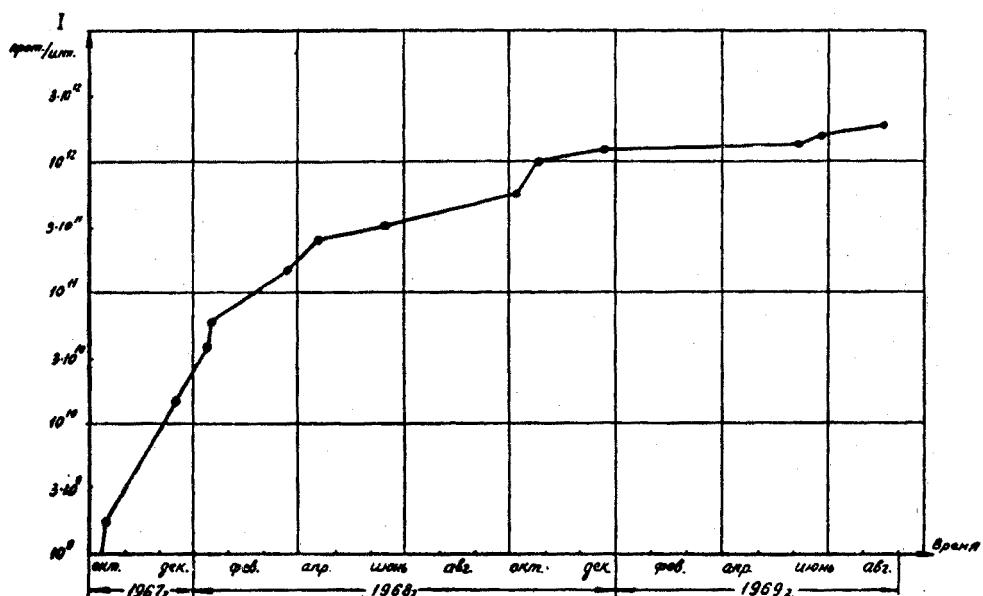


Рис. 4. Рост интенсивности пучка по годам.

Эти результаты были достигнуты после проведения следующих работ:

1. Тщательной настройки линейного ускорителя.
2. Настройки согласующего канала между линейным ускорителем и синхротроном.
3. Введения дебанчера.
4. Настройки системы ввода.
5. Снижения на 30% скорости нарастания магнитного поля в начале цикла.

6. Коррекции орбиты, а также коррекций частот бетатронных колебаний во время инжекции с учетом сдвига частоты бетатронных колебаний во время инжекции, обусловленного объемным зарядом пучка^{12,14}

Оптимальные результаты по интенсивности получены при числах бетатронных колебаний в момент инжекции около 9,8. На рис. 5 показана зависимость интенсивности ускоренного пучка от числа частиц, заполняющих камеру при первом обороте¹⁴. Уменьшение крутизны кривой при большой интенсивности связано с увеличением потерь в начале цикла, обусловленных объемным зарядом пучка.

Изучение динамики частиц в условиях больших объемных зарядов на ускорителе ИФВЭ находится в начальной стадии. Есть основания считать, что в настоящее время интенсивность ограничивается кулоновским сдвигом частот бетатронных колебаний. Мы надеемся, что с введением дополнительных систем коррекций, и оптимизации условий ускорения интенсивность пучка в ускорителе удастся повысить еще в 2—3 раза.

Плотность пучка является одним из основных параметров, определяющих эффективность использования ускорителя. Как показали эксперименты, проведенные без динамической коррекции поля, поперечные размеры пучка в конце ускорения пока больше ожидавшихся и сильно зависят от радиуса равновесной орбиты. При оптимальных радиусах равновесной орбиты они лежат в пределах от 1 до 2 см, в то время как из условий адиабатического сжатия без учета возмущающих факторов радиальный и вертикальный размеры пучка должны быть менее 1 см. На рис. 6 показана зависимость поперечных размеров пучка от радиуса равновесной орбиты, снятая без коррекции поля в процессе ускорения¹⁵. Из кривых видно, что размеры пучка существенно изменяются при смещении орбиты всего лишь на 2 мм от оптимального положения. Есть основания считать, что увеличенные размеры пучка связаны с резонансной раскачкой поперечных колебаний.

В настоящее время готовятся к вводу системы динамической коррекции поля. Мы надеемся, что при их использовании во всем диапазоне

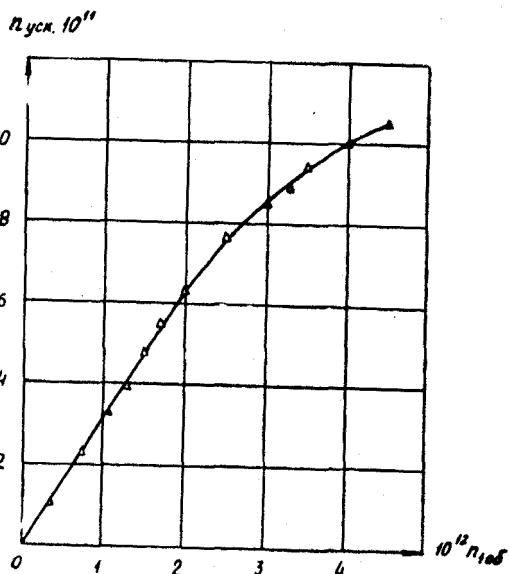


Рис. 5. Зависимость интенсивности ускоренного пучка от числа частиц, заполняющих камеру при первом обороте.

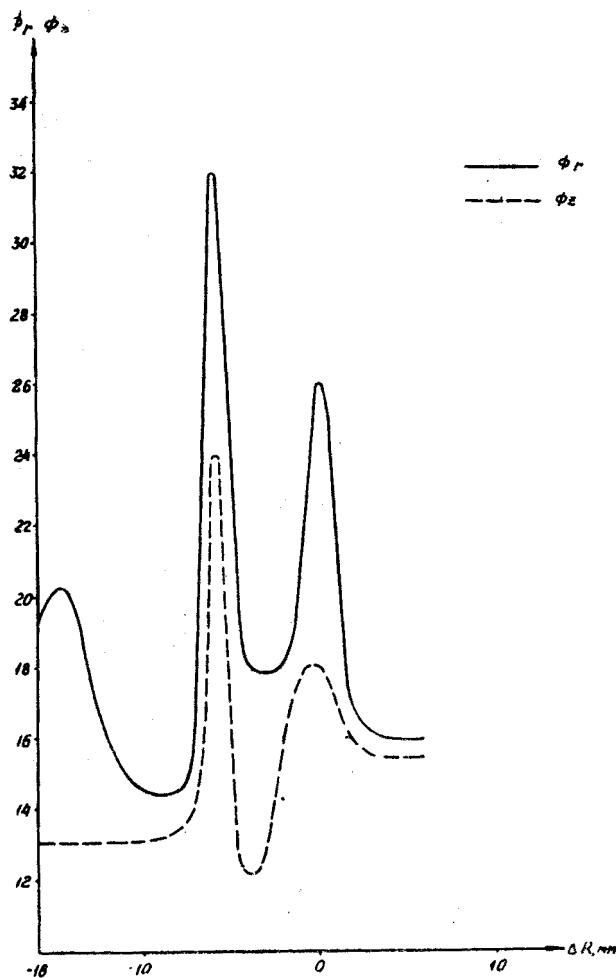


Рис. 6. Зависимость поперечных размеров пучка от радиуса равновесной орбиты.

не ускорения удастся ослабить влияние резонансов и снизить поперечные размеры пучка.

Пока на ускорителе осуществляется вывод только вторичных частиц. Для этих целей используются подвижные мишени, пучок на которые наводится посредством локальных искажений орбиты. Осуществлена растяжка времени вывода до 1,3 сек. Для этих целей создана аппаратура, обеспечивающая стабилизацию магнитного поля на уровне 1200 эрст в конце каждого цикла в течение времени 1,5 сек с точностью $(3-4) \cdot 10^{-4}$. Относительная амплитуда пульсаций преобладающих частот от 50 до 600 герц составляет соответственно от $2 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-6}$.

Для повышения устойчивости выпуска введена стабилизирующая обратная связь по току вторичных частиц, играющая решающую роль в обеспечении стабильности пучка вторичных частиц. Посредством обратной связи удастся подавить пульсации интенсивности, обусловленные

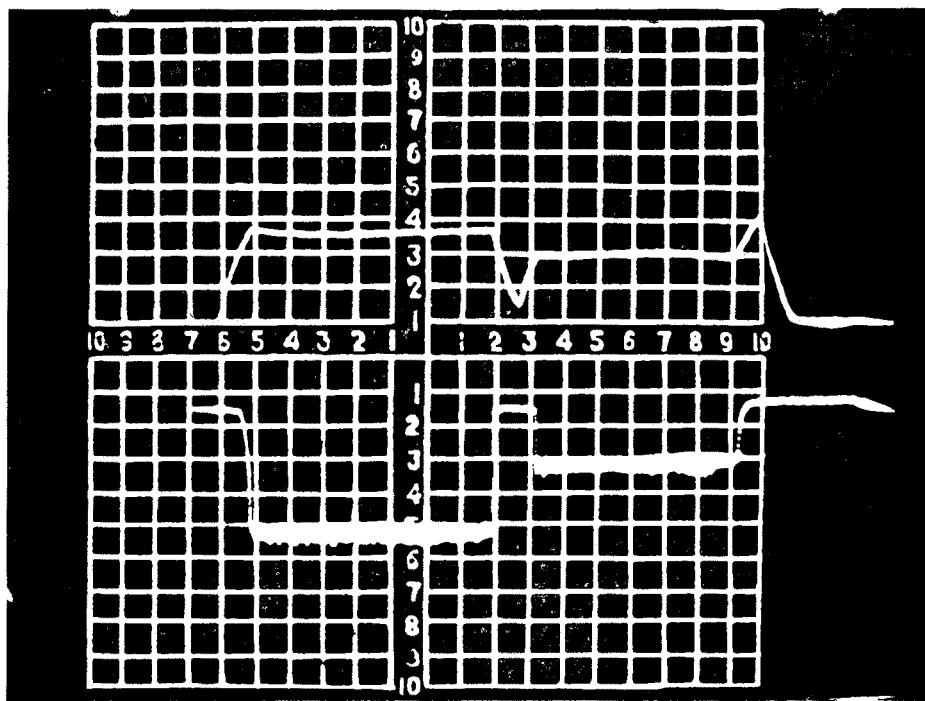


Рис. 7. Зависимость интенсивности пучка вторичных частиц при наличии обратной связи (длительность импульса 400 мсек).

пульсациями источников питания и нестабильности, связанные с неравномерной плотностью протонного пучка. На рис. 7 показана зависимость интенсивности пучка вторичных частиц от времени при наличии обратной связи¹⁵. Длительность импульса 400 мсек.

В настоящее время в одном цикле могут работать две мишени, обеспечивающие выпуск вторичных частиц соответственно в два канала. В ближайшее время в таком режиме будет осуществлена работа трех мишеней.

В ряде экспериментов используется также система наведения пучка протонов на мишень посредством изменения частоты ускоряющего напряжения и соответствующего изменения радиуса равновесной орбиты. Кроме того, подготовлена к работе система быстрого сброса на мишень со временем сброса порядка нескольких сотен микросекунд, осуществляемая с помощью двух магнитных дефлекторов. Два дефлектора обеспечивают наведение пучка на мишени, стоящие на любом азимуте ускорителя. Для облегчения режима работы быстрого дефлектора пучок к мишеням предварительно подводится посредством систем медленного наведения.

На ускорителе в каждом цикле проводилось до четырех экспериментов с использованием высокочастотного и электромагнитного методов наведения пучка на мишень.

ИФВЭ совместно с НИИЭФА разрабатывается система медленного вывода протонов.

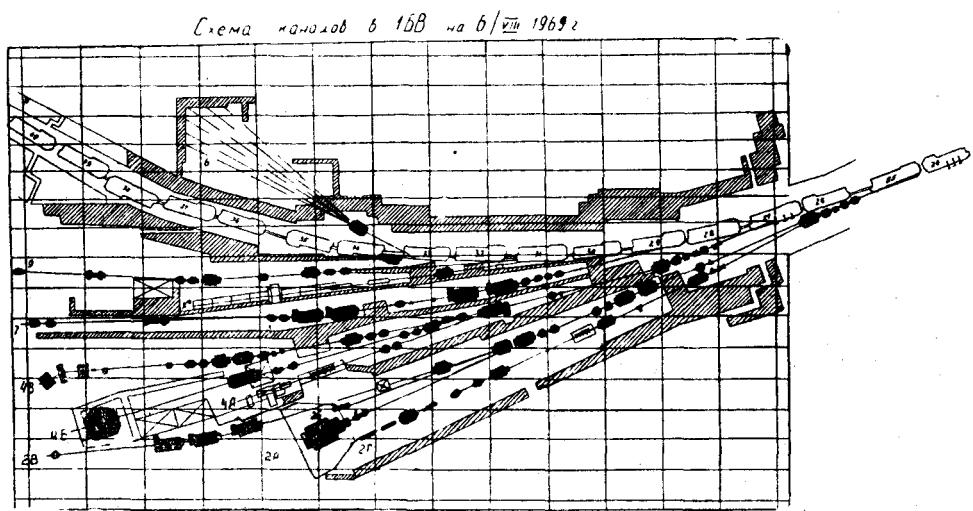


Рис. 8. Схема расположения каналов.

Каналы

Схема расположения в экспериментальном зале каналов и основного оборудования показана на рис. 8. Размеры зала 90×156 м². На схеме обозначены:

- 2(А; Б; В; Г) — канал отрицательных частиц с импульсом до 60 Гэв/с.
- 4(А; Б; В) — канал отрицательных частиц с импульсом до 40 Гэв/с.
- 6 — канал положительных частиц с импульсом 6 Гэв/с.
- 7 — канал формирования сепарированных пучков с импульсами до 70 Гэв/с.
- 9 — канал отрицательных частиц с импульсом до 40 Гэв/с.

На рис. 8 показаны только головные части каналов 7 и 9. Остальная часть этих каналов размещается в галерее длиной 350 м, являющейся продолжением экспериментального зала. Строительство галереи заканчивается. К галерее примыкают помещения, в которых размещаются жидкокристаллическая камера ОИЯИ, французская жидкокристаллическая камера «Мирабель» и пропан-фреоновая камера ИФВЭ «Скат». Высокочастотный сепаратор и оборудование для канала № 7 (быстрый вывод протонов) поставляются ЦЕРНом.

Первым был введен в действие канал № 2, формирующий пучки отрицательно заряженных частиц в интервале импульсов 40—60 Гэв/с при энергии ускоренного протонного пучка 70 Гэв. Нижний предел по импульсам вторичных частиц этого канала соответствует энергии ускоренного протонного пучка 20 Гэв и равен 11,4 Гэв/с. Интенсивность частиц в канале за цикл в импульсном интервале 1 Гэв/с при интенсивности протонного пучка 10^{12} протонов/цикл составляет 10^4 для 60 Гэв/с и $7 \cdot 10^5$ для 40 Гэв/с. В конце канала сформированный пучок может отклоняться на три экспериментальных установки с

помощью дополнительных магнитов: шестиметровый магнитный спектрометр с искровыми камерами, установки для изучения полных сечений и процессов упругого рассеяния.

Постановка эксперимента по поиску кварков с зарядом 1/3 осуществлялась на специально созданном канале. Для этого канала была выбрана такая оптическая схема, которая, во-первых, позволяла работать в области импульсов, соответствующих ожидаемому максимальному выходу кварков и, во-вторых, допускала формирование пучков со сравнительно большим аксептансом. Максимум выхода кварков с зарядом 1/3 по кварковой модели ожидался в области импульсов 27 Гэв/с, что соответствует импульсу 80 Гэв/с для частиц с единичным зарядом. В данном случае в канале должны отсутствовать частицы с единичным зарядом, так как максимальная энергия ускоренных протонов составляет 70 Гэв. Это обстоятельство существенно облегчало постановку эксперимента с точки зрения фоновых условий, но настройка канала была усложнена. Отладка канала проводилась на пучке частиц с импульсами 60—65 Гэв/с с последующей экстраполяцией на импульс 80 Гэв/с.

Канал № 4 позволяет формировать пучки отрицательно заряженных частиц с импульсами 25—40 Гэв/с при энергии ускоренных протонов 70 Гэв. После проведения импульсного анализа пучок вторичных частиц может отклоняться по трем направлениям. На первом направлении располагается аппаратура по изучению процессов перезарядки, на втором направлении — пузырьковая камера и установка для исследования процессов рассеяния назад и, наконец, на третьем направлении магнитный спектрометр с искровыми камерами и аппаратура для поиска тяжелых частиц. Этот канал также функционирует. Интенсивность сформированных пучков превышает 10^6 частиц за цикл при интенсивности ускоренного пучка 10^{12} протонов/цикл и энергии 70 Гэв; при этом в канале удается получить до 10^4 антипротонов/цикл.

Кроме каналов заряженных частиц на ускорителе создан канал нейтральных вторичных частиц: K^0 -мезонов и нейтронов. Угол образования нейтральных частиц на мишени составляет 1° , интенсивность пучка нейтронов составляет 10^8 частиц за импульс при интенсивности ускоренного пучка 10^{12} протонов/цикл и энергии 70 Гэв.

Для наладки физической аппаратуры на ускорителе создан простой канал положительных частиц. Пучки вторичных частиц соответствующих импульсов с помощью поворотного магнита направляются на 6 коллиматоров диаметром 10 см, расположенных в бетонной защите толщиной от 5 до 7 м. Таким образом, на канале обеспечиваются условия для одновременной наладки 6 физических установок. Диапазон импульсов частиц, выводимых в канал, составляет от 0,8 до 20 Гэв/с. Интенсивность частиц в пучке с импульсом 2 Гэв/с приблизительно равна 10^6 при энергии протонов 70 Гэв и интенсивности ускоренного протонного пучка 10^{12} протонов/цикл.

Каналы сепарированных частиц для работы с жидковородными камерами находятся в стадии создания. Для проведения экспериментов на французской водородной камере «Мирабель» в содружестве с ЦЕРН

разрабатывается канал № 7, который даст возможность получать чистые пучки К-мезонов и антипротонов с импульсами до 35 Гэв/с, пучки π -мезонов с импульсами до 65 Гэв/с и протонные пучки с импульсами до 70 Гэв/с. Протяженность этого канала равна 510 м. Пучки частиц будут образовываться на внешней мишени, размещенной в экспериментальном зале за металлической защитой. Ускоренный протонный пучок с помощью специальной аппаратуры, разрабатываемой совместно с ЦЕРН, будет выводиться из ускорителя за время до 5 мксек. Сформированные пучки вторичных частиц разделяются по массам в высокочастотном сепараторе, разрабатываемом в ЦЕРН. В настоящее время полностью завершен проект этого канала и его оборудование будет монтироваться в конце 1969 г. Все принципиальные вопросы, связанные с высокочастотным сепаратором, решены и его отдельные узлы находятся в стадии изготовления. Разработана принципиальная схема быстрого вывода и ведутся работы по макетированию и наладке основных узлов системы. На этом канале предполагается начать работы с дифракционно рассеянным протонным пучком во второй половине 1970 г. Канал сепарированных частиц предполагается ввести в действие в 1971 г.

В настоящее время изучается окончательная трасса канала медленного вывода протонов.

Экспериментальные работы

В проведении физических экспериментов на ускорителе ИФВЭ кроме ученых ИФВЭ принимают участие ученые ведущих институтов Советского Союза: Института теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ); Физического института им. П. Н. Лебедева (ФИАН); Института атомной энергии им. И. В. Курчатова (ИАЭ) и др. Большая программа исследований намечена Объединенным институтом ядерных исследований (ОИЯИ). В соответствии с соглашениями, заключенными между Государственным Комитетом по использованию атомной энергии СССР и Комиссионатом атомной энергии Франции и Европейским центром ядерных исследований (ЦЕРН), в экспериментальных работах на ускорителе принимают участие ученые Сакле и ЦЕРН.

В настоящее время ряд экспериментов на ускорителе завершен.

На ответвлениях канала 2Г проведены поиски частиц с дробными зарядами—1/3, и—2/3, рождение которых предсказывалось квarkовой моделью при протон-нуклонных взаимодействиях при энергии 70 Гэв (ИФВЭ)¹⁰. Получены следующие значения верхних границ для дифференциальных сечений генерации квarkов:

$$q = -2/3; \frac{d^2\sigma_0}{dpd\Omega} = (4.8 - 3.5) \cdot 10^{-38} \text{ см}^2/\text{стэр. Гэв/с}$$

$$q = -1/3; \frac{d^2\sigma_0}{dpd\Omega} = (8.2 - 6) \cdot 10^{-38} \text{ см}^2/\text{стэр. Гэв/с}$$

Достоверность 90%.

При этом полное сечение образования кварков с массой от 2 до 4,7 Гэв/с² для заряда—1/3 лежит в пределах от $1,3 \cdot 10^{-37}$ до $9,1 \cdot 10^{-40}$, а для кварков с зарядом —2/3 от $3,2 \cdot 10^{-37}$ до $1,7 \cdot 10^{-37}$.

Окончательный эксперимент проводился с каналами, настроенными на 64,5 и 80 Гэв/с. Низшая граница в оценке сечений получена на практически бесфоновом канале 80 Гэв/с.

Во время этих опытов с мишенью проводилось около $4 \cdot 10^{16}$ протонов. При работе с импульсом 64,5 Гэв/с через установку прошло около $10^9 \pi^-$ мезонов.

Закончен первый этап работ по рассеянию протонов на протонах на малые углы в области кулоновской интерференции (ОИЯИ). Взаимодействие пучка протонов с тонкой мишенью происходит во время цикла ускорения, начиная с энергии 12 Гэв.

На канале 2Б закончено изучение энергетических спектров и полных сечений рождения π^- -мезонов, K^- мезонов и антипротонов, образующихся при соударении протонов с ядрами алюминия внутренней мишени (ИФВЭ, ЦЕРН). Выходы сняты для энергий протонов в ускорителе 20, 43 и 70 Гэв^{9,11}.

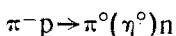
Эксперименты по определению полных сечений проводились в диапазоне импульсов от 20 до 60 Гэв/с на газовой мишени. Эти работы будут продолжены на жидкводородной мишени.

На канале 2А с помощью сцинтилляционного гаммоскопа, работающего в линии с вычислительной машиной, начато изучение процессов упругого рассеяния π^- , K^- и \bar{p} на протонах (ИФВЭ). Программа этих экспериментов была уточнена на основании результатов изучения полного выхода антипротонов при энергиях протонов 70 Гэв, проведенного на канале 2Б.

На канале 2В ИТЭФ (совместно с ИФВЭ) готовится эксперимент с магнитным спектрометром.

На канале 4А проведены опыты по определению выхода антидейtronов при взаимодействии протонов с алюминиевой мишенью (ИФВЭ, ЦЕРН). Достигнута интенсивность 1 антидейtron в 2—3 мин. В этих экспериментах зарегистрировано более трех тысяч антидейtronов. При этом было измерено полное сечение поглощения антидейtronов на ядрах лития, меди и свинца получена с точностью несколько Мэв масса антидейtrона.

На этом же канале готовятся опыты по перезарядке (ИФВЭ):



На канале 4Б готовятся опыты по рассеянию π^- -мезонов на протонах назад (ИТЭФ), а также подготавливается к работе пропановая камера ОИЯИ.

На канале 4В подготавливаются эксперименты по поиску тяжелых частиц (ИФВЭ, ОИЯИ).

На канале 1К ведутся эксперименты по интерференции $K_{01}K_{02}$ -мезонов. Изучается распад K_0 мезона на π^+ , π^- -мезоны (ОИЯИ).

В 1970 г. ИФВЭ в сотрудничестве с ЦЕРН на канале 4В будет начато систематическое изучение тяжелых бозонных резонансов в неисследованной области масс $4 \text{ Гэв} < M_x c^2 < 8 \text{ Гэв}$ при помощи спектрометра недостающей массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Владимирский, Д. Г. Кошкарев, Е. К. Тарасов. Протонный синхротрон на энергию 60—70 Гэв. Труды Международной конференции по ускорителям. Дубна. Атомиздат. 1964 г.
2. И. И. Капчинский, В. К. Кульман, Н. В. Лазарев, Б. П. Мурин, И. Х. Невяжский, В. К. Плотников. О проекте инжектора для протонного синхротрона на энергию 70 Гэв. Труды Международной конференции по ускорителям. Дубна. Атомиздат. 1964 г.
3. 70 миллиардный протонный синхронетрон в Серпухове. Вестник АН СССР, № 8, 1968 г.
А. Л. Минц. Линейный ускоритель — инжектор. А. А. Наумов. Запуск и наладка ускорителя. Р. М. Суляев. Программа экспериментальных исследований на новом ускорителе.
4. С. А. Ильевский, И. М. Капчинский, Б. И. Поляков, Л. М. Попиненкова, В. А. Тепляков, В. Г. Тишин. Параметры линейного ускорителя И-100 при ускорении пучков высокой интенсивности. Препринт ИФВЭ 68—63, 1968 г.
5. Э. А. Мяэ, Е. Ф. Троянов. Расчет фокусирующей системы тракта ввода пучка протонного синхротрона ИФВЭ на энергию 70 Гэв. Препринт ИФВЭ 68—74. 1968 г.
6. Д. А. Демиховский, К. П. Ломов, Э. А. Мяэ, М. Ф. Овчинников, Е. Ф. Троянов. Наладка канала ввода пучка протонного синхротрона ИФВЭ на энергию 70 Гэв. Препринт ИФВЭ 68—76. 1968 г.
7. С. Н. Бойко, В. И. Зайцев, Э. А. Мяэ, И. М. Ройфе, Б. А. Стекольников. Система инъекции частиц протонного синхротрона ИФВЭ на энергию 70 Гэв. Препринт ИФВЭ. 68—48—К. 1968 г.
8. Ю. М. Адо, Э. А. Мяэ. Некоторые результаты исследования динамики частиц в протонном синхротроне ИФВЭ на энергию 70 Гэв. Препринт ИФВЭ. 68—38—К. 1968 г.
9. И. А. Александров, М. И. Грачев, К. И. Губриенко, Е. В. Еременко, В. И. Котов, А. Н. Некрасов, А. А. Прилепин, В. А. Пичугин, Р. А. Рзаев, В. А. Самойлов, В. С. Селезнев, Б. А. Серебряков, А. Е. Ханамирян, Ю. С. Ходырев. Канал отрицательных частиц с импульсом 60 Гэв/с. Препринт ИФВЭ 69—36. 1969 г.
10. Ю. М. Антипов, В. Н. Болотов, Н. К. Вишневский, М. И. Девищев, М. Н. Девищева, Ф. Н. Еч, А. М. Зайцев, В. В. Исаков, И. И. Карпов, В. А. Крендлев, Л. Г. Ландсберг, В. Г. Лапшин, А. А. Лебедев, А. Г. Морозов, Ю. Д. Прокошкин, В. Г. Рыбаков, В. И. Рыкалин, А. В. Самойлов, В. А. Сенько, Ю. С. Ходырев. Дальнейший поиск кварков на 70 Гэв протонном синхротроне ИФВЭ. Препринт ИФВЭ 69—49. 1969 г.
11. Ю. Б. Бушмин, Ю. П. Горин, С. П. Денисов, С. В. Донсков, А. Ф. Дунайцев, В. А. Качанов, В. И. Котов, В. М. Кутынин, А. И. Петрухин, Ю. Д. Прокошкин, Е. А. Разуваев, Д. А. Стоянов, Ю. С. Ходырев, Р. С. Шувалов, Д. Ж. Аллаби, Ф. Бинон, А. М. Везерелл, Дж. Джакомелли, А. Н. Дидденс, П. Дютейль, Р. Менье, Ж.-П. Пенье, М. Шпигель, К. А. Столъбрант, Ж.-П. Строот, К. Шлюпман. Образование отрицательных частиц протонами с энергией до 70 Гэв. Препринт ИФВЭ 69—18. 1969 г.
12. Ю. М. Адо. Протонный синхротрон на энергию 70 Гэв. Информационное сообщение о состоянии дел на ускорителе. Американская национальная конференция по ускорителям 1968 г.
13. С. А. Ильевский, И. М. Капчинский, В. Г. Кульман, Л. Г. Ломизе, Б. П. Мурин,

- Б. И. Поляков, Л. М. Попиненкова, В. А. Тепляков, В. Г. Тишин.** Ускорение протонных пучков высокой интенсивности в инжекторе Серпуховского синхротрона, доклад на VII Международной конференции по ускорителям. Ереван. 1969 г. (в этом томе).
- 14. Ю. М. Адо, Э. А. Мяэ.** Особенности динамики частиц в протонном синхротроне ИФВЭ при интенсивности 10^{12} протонов в импульсе. Доклад на VII Международной конференции по ускорителям Ереван, 1969 г. (в этом томе).
- 15. В. И. Гридасов, А. А. Кардаш, О. В. Курнаев, Э. А. Меркер, Л. Л. Мойжес, К. П. Мызников, Н. М. Тараканов.** Методы генерации вторичных частиц на внутренних мишениях ускорителя ИФВЭ. Доклад на VII Международной конференции по ускорителям. Ереван 1969 г. (в этом томе).

Д И С К У С С И Я

Agoritsas: Can you, please, repeat in detail the conditions of machine under which you could not obtain more than 1.2×10^{12} accelerated protons per cycle?

Наумов: Ток инжектора в импульсе 60—80 ма. Длительность импульса 15 мксек. Производилась коррекция магнитного поля только в момент инжекции, а также коррекция частот бетатронных колебаний. Указанная величина тока не является пределом, так как отсутствует динамическая коррекция поля, а сама камера используется по длине примерно на 50 %. Используя все возможные виды коррекции, можно увеличить интенсивность в несколько раз.

Agoritsas: What circulating proton intensity corresponds the 35% injection you mentioned?

Наумов: Я не называл цифру 35 %. Этот вопрос касается использования протонного тока линейного ускорителя. В настоящее время эта цифра для нашей машины от 25 % до 30 %. В дальнейшем коэффициент использования будет существенно увеличен. Подробнее этот вопрос следует обсудить в рабочем порядке.

Казанский: Каким образом осуществляется точность энергетической привязки «стола» магнитного поля 10^{-4} и что имеется в виду под «воспроизводимостью уровня стола» поля — повторяемость от цикла к циклу или привязка к абсолютному значению магнитного поля?

Наумов: Как точность привязки, так и повторяемость от цикла к циклу составляют $(2-3) \cdot 10^{-4}$. Такая точность обеспечивается системой В-таймеров и системой стабилизации.