

В.97

инв. 2257

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

В Э П П - 4

Рабочие материалы

Выпуск 2

июль 1974 года

Новосибирск

1974

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ

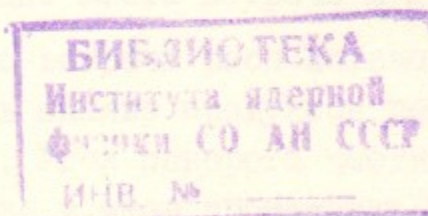
АН С С С Р

В Э П П - 4

июль 1974 года

Рабочие материалы

Выпуск 2



Новосибирск

1974

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	стр.
I. В в е д е н и е.....	3
2. Возможность установки ВЭШ-4 для эксперимента.....	6
3. Магнитная система.....	12
4. Светимость и размеры пучков.....	18
5. ВЧ-система.....	24
6. Позитронная программа.....	30
7. К а н а л ы.....	37
8. И н ж е к ц и я.....	42
9. Вакуумная система.....	45
10. Наблюдение за пучком.....	47
11. Коррекция орбиты.....	49
12. Силовые питания.....	50
13. Детектор МД-I.....	53
14. ВЭШ-4, как источник синхротронного излучения.....	59
15. Строительно-монтажные работы.....	61
16. Трудоемкость и планы.....	62

В В Е Д Е Н И Е

Комплекс ВЭШ-4 - накопитель со встречными электрон-позитронными пучками на энергию до 2×7 ГэВ - предназначен для дальнейших экспериментов по проверке применимости квантовой электродинамики, рождению адронов, поиску новых частиц и изучению некоторых аспектов слабых взаимодействий.

Схема комплекса представлена на рис. I. Электроны и позитроны могут быть инжектированы в ВЭШ-4 непосредственно из Б-4 на энергии 450 МэВ или ВЭШ-3 на энергии 1,8 ГэВ.

Инжекция в первом варианте происходит в малое поле накопителя, при большом времени затухания, что является недостатком этого варианта. При использовании этого варианта запуск, настройка и работа ВЭШ-4 может быть проведена одновременно с работой ВЭШ-3 на эксперимент.

Использование ВЭШ-3 в качестве промежуточного накопителя позволит избавиться от недостатков первого варианта. Однако малая цикличность накопителя и практически невозможность проведения экспериментов на ВЭШ-3 в период запуска и наладки ВЭШ-4 являются большим недостатком этого варианта.

Возможность достижения максимальной энергии 7 ГэВ в большой степени определяется успехом создания ВЧ-питания непрерывной мощностью порядка мегаватт. Накопитель имеет три места встречи в IV промежутке и одно место встречи в II промежутке.

Центральное место встречи расположено в магнитном поле, что позволяет проводить анализ продуктов реакции, вылетающих даже под нулевым углом. Угол поворота частиц в поле $16,5^\circ$. На время запуска накопителя в этом промежутке предполагается установить временный магнит с малой апертурой, который впоследствии будет заменен магнитным детектором с объемом $1,8 \times 2,3 \times 2,3 \text{ м}^3$, заполненным экспериментальной аппаратурой. В этом же промежутке возможно проводить эксперименты с регистрацией γ -квантов, вылетающих под нулевым углом.

Светимость при энергии 7 ГэВ составляет $10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ при токах $2 \times 10 \text{ мА}$ и $4 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ при токах $2 \times 250 \text{ мА}$. Достижение такой светимости в значительной мере зависит от успехов позитронной программы.

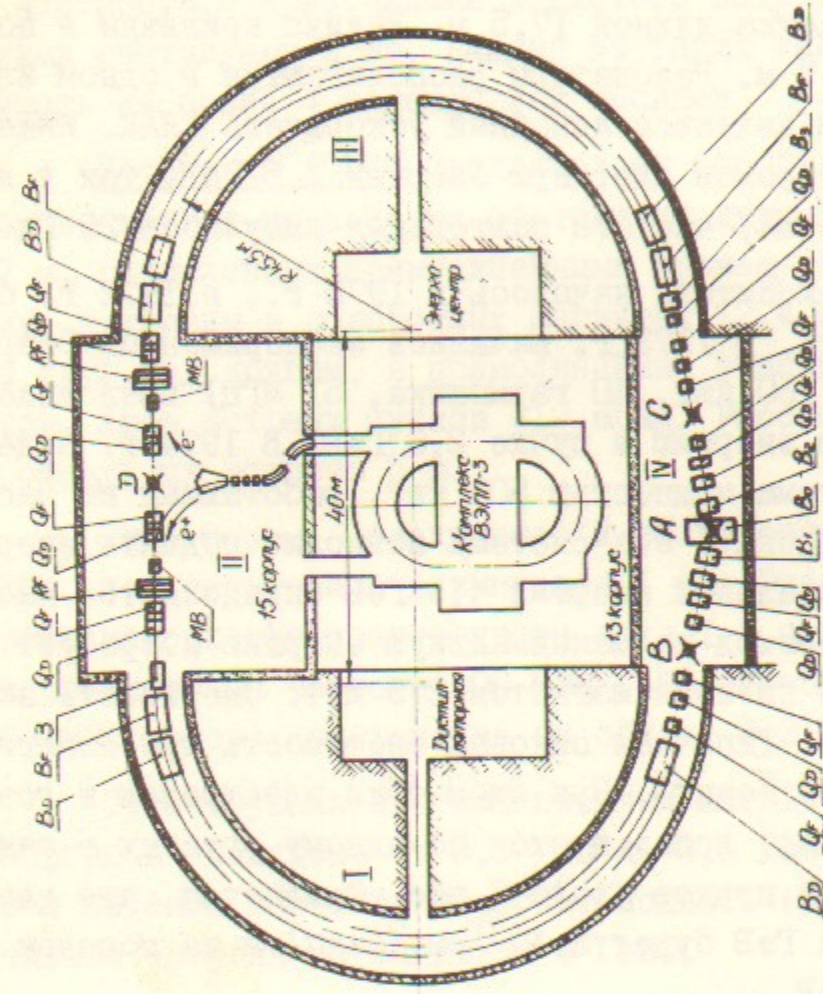


Рис. 1. Схема установки ВЭПП-4: В_ф, В_д - элементы периодичности полюсов; Q_ф, Q_д - квадрупольные линзы; В₁, В₂, В₃ - магниты; В₀ - детектор МД-1; 3 - заглушитель; МВ - впускные магниты; RF - резонаторы; А, В, С, Д - места встречи

2. ВОЗМОЖНОСТИ УСТАНОВКИ ВЭШ-4 ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Возможности установки ВЭШ-4 легче всего представить, сравнивая её со вступившими в строй позитрон-электронными накопителями на максимальную энергию: СНАР (США) и ДОРИС (ФРГ).

Накопитель СНАР имеет два полукольца радиусом 31,5 м и два прямолинейных участка длиной 17,5 м. Радиус кривизны в поворотных магнитах 12,7 м. Резонаторы располагаются в одном из полуколец. Инжектором является линейный ускоритель СЛАК. Инжекция электронов и позитронов идет при энергии 1,5 ГэВ, ток в импульсе составляет 1-5 мА, частота повторения импульсов 20 Гц.

Изготовление накопителя началось в 1970 г., в 1972 г. была получена светимость. В 1973 г. начались эксперименты. Современная в.ч. система (160 кВ, 40 гармоника, 51 МГц) позволила получить максимальную энергию в пучке 2,6 ГэВ. В 1974 г. будет установлена в.ч. система мощностью 500 кВ, работающая на частоте 358 МГц (4 клистрона). Эта система позволит поднять энергию до 4,5 ГэВ. Максимальная энергия 4,5 ГэВ определяется насыщением в магнитах. Переход на максимальную энергию потребует дополнительной мощности питания магнитов 2,5 Мвт. Светимость зависит от энергии как E^4 . Типичная пиковая светимость при энергии 2,5 ГэВ равна $6 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$. При этом токи электронов и позитронов составляют 45 мА, используется по одному ступку в каждом пучке. Время жизни пучков около 2 час. Ожидается, что светимость при энергии 4 ГэВ будет $2 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ и на порядок ниже при энергии 4,5 ГэВ.

Прямолинейные участки используются для экспериментов. В каждом прямолинейном участке организовано по одному месту встречи. Расстояние между квадрупольными линзами, свободное для установки систем регистрации, составляет 5 м.

В одном из промежутков встречи располагается большой магнитный детектор диаметром 3,2 м, длиной 3,6 м. Поле направлено вдоль пучков, напряженность 4 кГс. Система регистрации состоит

из сцинтилляционных счетчиков и сэндвичей, проволочных координатных и мюонных камер. Последние расположены за ярмом магнита толщиной 20 см. Пионы, мюоны и электроны разделяются при импульсах, превышающих 500 МэВ/с.

Предполагается, что на магнитном детекторе будут идти эксперименты непрерывно, а второе место встречи будет использоваться для экспериментов с более простыми системами регистрации, в частности, с кристаллами иодистого натрия, газовыми черенковскими счетчиками и др. Каждый из таких экспериментов должен занимать не более 4 календарных месяцев.

Установка ДОРИС представляет собой две накопительные дорожки, каждая из которых состоит из двух полуколец радиусом 27 м, разделенных прямолинейными промежутками длиной 60 м. Радиус кривизны в поворотных магнитах 12,4 м. Дорожки расположены друг над другом, в прямолинейных участках дорожки пересекаются. Угол встречи пучков ± 12 мрад. Расстояние между линзами в промежутках встречи 5 м.

Инжектором электронов и позитронов является синхротрон ДЭСИ, ток позитронов в импульсе 1 мА. Энергия инжекции 3 ГэВ, время накопления позитронного тока 1 А около 20 сек. В.ч. система работает на частоте 500 МГц (488 гармоника), мощность 1,5 Мвт (6 клистронов), напряжение на обходе 3,2 МВ.

Существующая система питания магнитов позволяет изменять энергию в диапазоне от 0,5 ГэВ до 3,5 ГэВ. Дополнительная система питания магнитов позволит поднять энергию до 4,5 ГэВ. Предельная энергия по магнитам 5 ГэВ.

Проектная светимость имеет максимальное значение $3 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ при энергии 2 ГэВ. При энергии 0,5 ГэВ светимость $\sim 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$. Для получения максимальной светимости при низких энергиях будут использоваться все 480 ступков, при высоких энергиях - меньшее число ступков.

Наличие двух независимых дорожек будет использовано для создания электрон-позитронных, электрон-электронных и протон-электронных пучков. В протон-электронном варианте светимость оценивается $\sim 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

В конце 1973 года на ДОРИС начались работы с пучками, в 1974 году начнутся эксперименты.

К лету 1974 года на установке ДОРИС будет закончено изготовление двух детекторов с использованием магнитного поля. Один из них — ПЛУТО — представляет собой сверхпроводящий магнит с продольным полем напряженностью 20 кГс. Телесный угол детектора 94% от 4π , точность измерения импульса 5% для частиц с импульсом 1 ГэВ/с в телесном угле 0,65 от 4π .

Второй детектор ДАСП (двухплечный спектрометр) имеет немагнитную часть с большим телесным углом и два спектрометра с малым телесным углом и разрешением 0,5% для импульса 2 ГэВ/с.

В дополнение к ПЛУТО и ДАСП рассматриваются другие детекторы, в частности, детекторы на основе иодистого натрия и счетчиков нейтронов.

Большая светимость установок SPEAR и ДОРИС и широкий диапазон энергии обеспечивают возможность проведения первоклассных экспериментов в течение ближайшего десятка лет. Если светимость накопителя ВЭШ-4 будет $\sim 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$, то даже в том же диапазоне энергии, что и у накопителей SPEAR и ДОРИС, на ВЭШ-4 возможно будет проведение весьма интересных экспериментов.

Кроме того, установка ВЭШ-4 имеет две особенности, которых нет ни у одного из сооружаемых накопителей. Первая максимальная энергия пучка 7 ГэВ, вторая — место встречи в перпендикулярном магнитном поле.

Максимальная энергия пучков

Максимально возможная энергия на установках SPEAR и ДОРИС 4,5 ГэВ. В диапазоне энергии от 4,5 до 7 ГэВ ВЭШ-4 пока не имеет конкурентов. Новый диапазон энергии всегда чрезвычайно интересен. В частности, эксперименты на накопителях БАЙПАС и SPEAR показали, что отношение сечения многоадронных процессов к сечению рождения пары мюонов с ростом энергии продолжает расти и при $2E = 5$ ГэВ составляет около 6. Это новое явление вызывает большой интерес. Экспериментальные сечения превышают предска-

ния теоретических моделей. Измерение сечения многоадронных процессов на ВЭШ-4 в новом диапазоне энергии является чрезвычайно важным. Кстати, для измерения этих процессов уже достаточно светимость $10^{29} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

Другим очевидным классом экспериментов являются эксперименты по проверке квантовой электродинамики в области максимально больших передаваемых импульсов.

Большая энергия встречных электрон-позитронных пучков ВЭШ-4 создает возможность начать изучение вклада слабого взаимодействия в процесс рождения пар мюонов. Этот вклад будет проявляться в зарядовой асимметрии, причем асимметрия с ростом энергии растет как E^2 .

Новый диапазон энергии безусловно интересен с точки зрения поиска новых частиц, а также продолжения экспериментов по изучению формфакторов адронов. Последние эксперименты требуют высокой светимости.

Существует несколько проектов позитрон-электронных накопителей на энергию, превышающую энергию ВЭШ-4. Наиболее проработанным из них является американский проект ПЭП (позитрон-электрон-протон). Проект ПЭП разрабатывается совместно Стэнфордским университетом (СЛАК) и Калифорнийским университетом (лаборатория Лоуренса в Брекли). Первая стадия установки — позитрон-электронный накопитель на энергию 2×15 ГэВ. Диаметр кольца 700 м. Инжектором электронов и позитронов будет 20 ГэВ ЛИНАК. В дальнейшем предполагается построить кольцо со сверхпроводящими магнитами для протонов на энергию 200 ГэВ.

Стоимость первой стадии проекта оценивается в 50–60 млн. долларов. Предполагается начать строительство в 1976 г. и закончить его в 1980 году. ПЭП будет национальным центром экспериментов на встречных пучках.

Место встречи в перпендикулярном магнитном поле

Установка ВЭШ-4 дает возможность проводить эксперименты по так называемому двойному электророждению. Это широкий класс

процессов, в котором в конечном состоянии остаются электрон и позитрон и рождаются новые частицы. Причем, в данном случае, новые частицы находятся в состоянии с положительной зарядовой четностью. Два таких процесса уже наблюдались экспериментально: рождение пар электронов (ВЭШ-2) и рождение пар мюонов (АДОНЕ).

Чрезвычайно интересным является эксперимент по рождению пары заряженных пионов в состоянии с положительной зарядовой четностью, в частности, проблема ϵ -мезона (есть он или нет?).

В процессах двойного электророждения могут рождаться π , η , δ , χ^0 и др. Эксперименты по изучению сечений указанных процессов дают возможность измерить время жизни этих частиц.

Отличительной особенностью процессов двойного электророждения является то, что в конечном состоянии остаются электроны и позитроны (их иногда называют рассеянными электронами), причем, эти электроны в основном летят в первоначальном направлении и наиболее вероятно теряют малую долю энергии.

Для изучения процессов двойного электророждения на ВЭШ-4 создается магнитный детектор МД-1. Магнитное поле этого детектора направлено перпендикулярно плоскости орбиты (см. раздел "Магнитный детектор МД-1").

Перпендикулярное магнитное поле, кроме того, что обеспечивает высокую эффективность регистрации рассеянных электронов, позволяет регистрировать продукты реакции в широком диапазоне углов, в том числе и частицы, вылетающие под нулевым углом. Для процессов двойного электророждения это существенно, поскольку продукты реакции в основном летят в узкие конусы по направлению пучков. Не исключено, что регистрация частиц под малыми углами окажется существенной для каких-нибудь других процессов.

Наличие перпендикулярного магнитного поля в месте встречи дает возможность легко организовать регистрацию γ -квантов, вылетающих под нулевым углом. В частности, это дает возможность изучить экспериментально предсказываемый теоретиками эффект изменения сечения однократного тормозного излучения в магнитном поле. В условиях ВЭШ-4 этот эффект составляет около 10%.

На установках СПЕАР и ДОРИС не существует пока проектов детекторов с перпендикулярным магнитным полем. Реализация такого детектора в готовой установке требует довольно большой переделки накопителя.

МАГНИТНАЯ СИСТЕМА

Накопитель ВЭШ-4 (рис.1) имеет два полукольца со средним радиусом 45,5 м, соединенных двумя длинными прямолинейными промежутками по 40 метров. Промежуток, расположенный в I5 корпусе, является "техническим" - в нем размещены резонаторы ВЧ-системы, впуск электронов и позитронов и одно место встречи. Промежуток I3 здания - "экспериментальный" - предназначен для размещения экспериментальной аппаратуры. Здесь находятся 3 места встречи.

Максимальная энергия ВЭШ-4 определяется ВЧ-мощностью, но не может быть более 7 ГэВ. Предельная энергия определяется размерами пучка по квантовым флуктуациям: при энергии 7 ГэВ требуемый размер камеры по радиусу составит около 45 мм, т.е. 3/4 имеющейся радиальной апертуры, часть которой будет занята искажениями равновесной орбиты.

Для получения нормального затухания радиальных бетатронных колебаний (в жесткофокусирующей системе нашего типа оно отсутствует) в техническом промежутке будет установлен специальный магнит (затухатель) длиной 2,5 метра.

Фазовый объем накопителя примерно в 3 раза меньше фазового объема накопителя ВЭШ-3; это связано с тем, что при тех же размерах камеры и небольшом увеличении жесткости системы, ВЭШ-4 имеет значительно больший радиус.

По допустимому энергетическому разбросу ВЭШ-3 и ВЭШ-4 примерно одинаковы. Частоты бетатронных колебаний по обоим направлениям равны 9,1, включая одну волну во II промежутке и две волны в IУ промежутке.

При энергии инжекции 250 МэВ в ВЭШ-3 уже заметно влияние остаточных полей. Эквивалентная по полю энергия в ВЭШ-4 составляет 1,5 ГэВ. Такую энергию инжекции можно получить перепуская электроны и позитроны из ВЭШ-3. Такой режим рассматривается в настоящее время как основной.

Есть желание инжекцию в ВЭШ-4 осуществлять непосредственно из Б-4 при энергии 450 МэВ. Малое поле накопителя при инжек-

ции (около 300 эрстед) потребует специальной системы и техники размагничивания.

Элемент периодичности магнитной системы полукольцев состоит из двух магнитов типа Ф и Д. Две трети каждого магнита имеет однородное поле, одна треть - фокусирующее или дефокусирующее поле, создаваемое гиперболическими полюсами.

В техническом промежутке располагается затухатель и четыре дублета одинаковых ("стандартных") квадрупольных линз

На рис.2 показана схема экспериментального промежутка. Для организации встречи пучков в магнитном поле детектора МД-1 с обеих сторон промежутка убрано в полукольцах по два магнита. Длина промежутка, таким образом, составляет 54,7 метра. Магнитный детектор МД-1 смещен относительно середины промежутка на 2,3 м и находится точно противоположно месту встречи Д в технической промежутке.

С каждой стороны от МД-1 поставлены дополнительные магниты ДМ1 и ДМ2, которые участвуют в измерении энергии электронов и позитронов с малыми углами рассеяния и малыми потерями энергии. Полный угол поворота частиц в МД-1 и дополнительных магнитах $16,5^\circ$. Вертикальная апертура обеспечивает прохождение вторичных частиц в диапазоне углов ± 30 мрад.

Экспериментальный промежуток симметричен относительно МД-1 по магнитным элементам и параметрам пучка, исключая фокусирующую линзу IУ-I3 и линзы IУ-1 и IУ-2 с магнитом М. Эти три линзы осуществляют симметризацию центральной части промежутка а магнит - смещение места встречи. Фокусировку частиц в центральной части промежутка и малый размер пучка в месте встречи осуществляют 10 квадрупольных линз. Четыре линзы, по две с каждой стороны от МД-1, являются специальными, с большой апертурой. Остальные линзы стандартные, такие же, как и в техническом промежутке.

Расстояние между линзами в центральном месте встречи равно 9,5 метра.

Кроме центрального места встречи (А) возможны два боковых места встречи - справа (В) и слева (С) от центрального, где

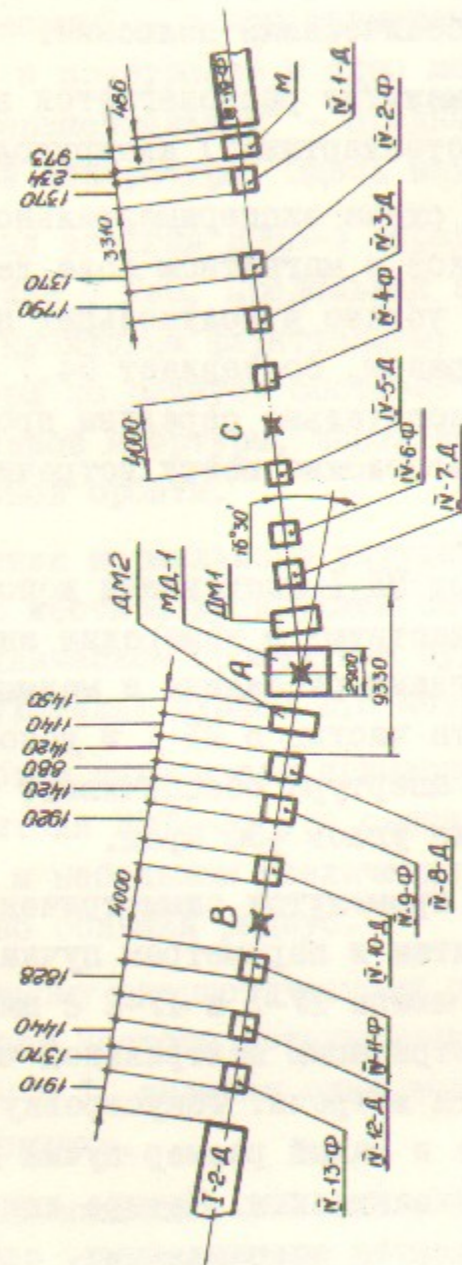


Рис. 2. Схема экспериментального промежутка (IЗ корпус)

ются свободные от линз участки длиной 4 метра.

Основные параметры накопителя приведены в таблице I.

Таблица I

Магнитная система ВЭШ-4

Длина орбиты	- 366,3 метра
Частоты бетатронных колебаний	- 9,1 + 9,2
Радиальный фазовый объем	- 3,2π мрадсм
Вертикальный фазовый объем	- 0,8π мрадсм
Коэффициент уплотнения орбит	- 0,022
Радиус потерь энергии	- 36 метров

Полукольца

Средний радиус	- 45,5 метра
Число элементов периодичности	- 2 x I9
Число магнитов	- 76
Длина магнита	- 3330 мм
Расстояние между магнитами	- 243 мм
Апертура камеры	- 27 x 60 мм ²
$\beta_{z,z}$ - функция: максимум	- 12,3 метра
минимум	- 5,8 метра

Технический промежуток

Длина промежутка	- 40 метров
Число линз	- 8
Длина дублета линз	- 2950 мм
Расстояние между дублетами	- 7050 мм
В месте встречи β_x	- 10 м
β_z	- 5 м
ψ	- 0,9 м

Экспериментальный промежуток

Длина промежутка		- 54,7 метра
Число квадрупольных линз		- 13
Набег фазы бетатронных колебаний	Q_x	- 2,3
	Q_z	- 2,3
В центральном месте встречи	β_x	- 0,62 м
	β_z	- 2,65 м
	ψ	- 0,7 м
В боковых местах встречи	β_x	- 6,5 м
	β_z	- 4,5 м
	ψ	- 0,9 м
Максимальные	β_x	- 40 м
	β_z	- 94 м

В настоящее время изготовление магнитов закончено. После получения из мастерской все магниты прошли специальный контроль, включающий в себя механический контроль всех размеров, контроль изоляции обмоток и магнитные измерения. На каждый магнит составлен паспорт. Все магниты вместе с вакуумной камерой установлены в туннеле накопителя.

Стандартные линзы начинают поступать из мастерской на магнитные измерения. Специальные линзы и дополнительные магниты находятся в настоящее время в разработке.

Желательная точность выставки магнитов и линз $\pm 0,1$ мм относительно центра накопителя. Разработана и опробована методика, созданы приборы для точных геодезических измерений. По всему периметру ВЭШ-4 выставлены геодезические знаки. Предварительно, с точностью ± 1 мм, выставлены в проектное положение магниты в полукольцах.

С июня 1973 года производилось наблюдение за осадками, смещениями и деформациями туннеля. Смещение отдельных частей туннеля составило $\pm 1,5$ мм. Это вызвано недавним завершением строительства дистилляторной и насыпкой осенью 1973 года защитного земляного слоя на полукольца.

Из-за неравномерных осадок частей туннеля образовался ряд трещин. Производство земляных и строительных работ в промежутке 13 корпуса вызовет, вероятно, смещение прилегающих частей туннеля на величину до 2 мм.

Как показывает опыт, смещение прекращается через 1,5-2 года после завершения земляных работ в районе накопителя. В течение этого срока придется часто производить юстировку магнитной

4. СВЕТИМОСТЬ И РАЗМЕРЫ ПУЧКОВ

Естественные среднеквадратичные размеры пучков определяются квантовыми флуктуациями излучения и для разных видов колебаний равны (в см.):

$$\text{радиальные бетатронные } \sigma_{z\beta} \approx 0.9 \cdot 10^{-3} \sqrt{\beta_z E}$$

$$\text{радиальные синхротронные: } \sigma_{zs} \approx 0.2 \cdot 10^{-3} \psi E$$

$$\text{полные радиальные: } \sigma_z = \sqrt{\sigma_{z\beta}^2 + \sigma_{zs}^2}$$

$$\text{продольные } \sigma_s = 40 \sqrt{E^3 V^{-1}}$$

где: E - энергия пучков в ГэВ

β - функция в см

ψ - функция в см

V - напряжение на резонаторе в кв.

Полный радиальный и продольный размеры пучка в центральном месте встречи показан на рисунках 3 и 4.

Вертикальный размер пучка определяется наличием паразитной связи между колебаниями и на участках с $\beta_z = \beta_x$ обычно составляет не менее $1/10 + 1/20$ радиального размера.

Светимость накопителя выражается формулой $L = \int_0^1 \frac{N^+ N^-}{4\pi \sigma_z \sigma_x} dz$

Число частиц N и размеры пучка, входящие в эту формулу, определяются при учете следующих моментов:

- Мощность ВЧ-питания достаточна для компенсации потерь.
- Сдвиг частот бетатронных колебаний вследствие электромагнитного взаимодействия со встречным пучком должен быть меньше $\Delta Q_{\text{пред.}} = 0.03 + 0.07$, т.е.

$$\Delta Q_{z,x} = \frac{ze N \beta_{z,x}}{2\pi \gamma \sigma_{z,x} (\sigma_z + \sigma_x)} \leq \Delta Q_{\text{пред.}}$$

- Размеры пучка ограничены предельным значением, обеспечивающим время жизни пучка при заданных размерах вакуумной камеры.

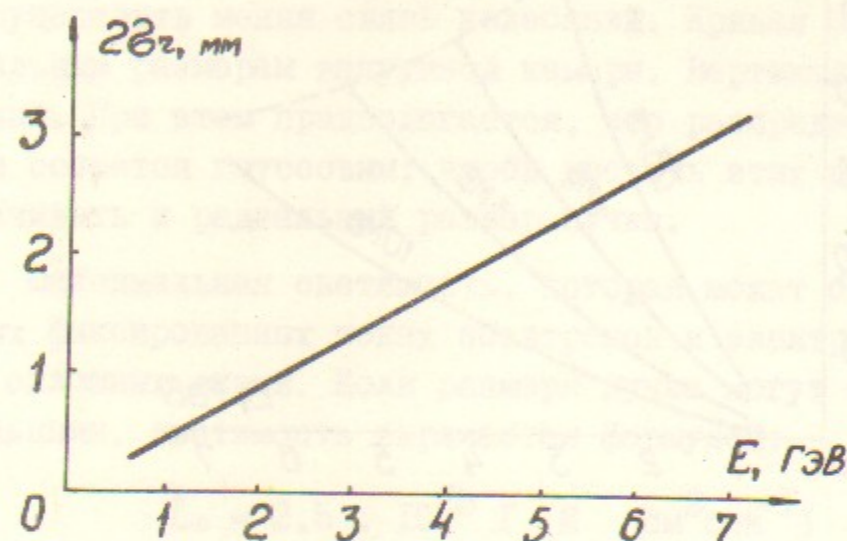


Рис.3. Радиальный размер пучка в центральном месте встречи

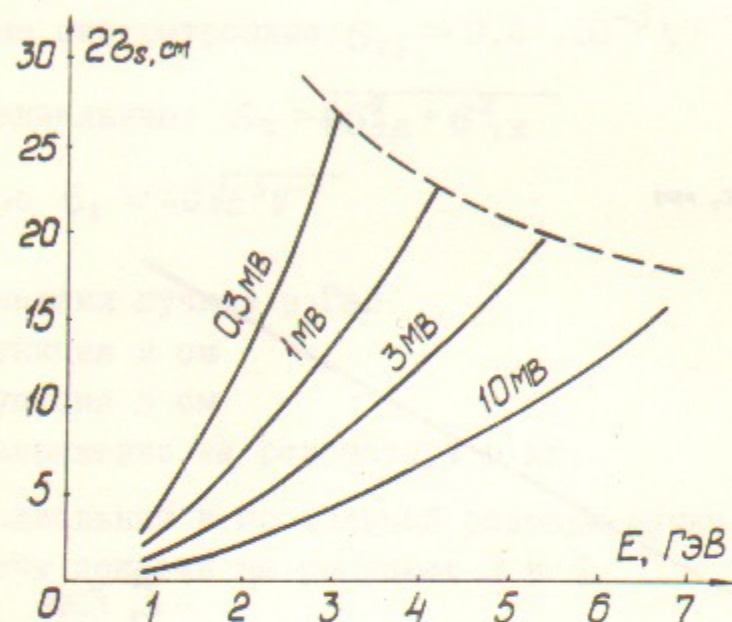


Рис.4. Азимутальный размер пучка для разных напряжений на резонаторе. Пунктир — ограничение по времени жизни

График светимости накопителя в центральном месте встречи А показан на рис.5. При построении графика предполагалось $\Delta Q_{пред} = 0,05$ и $\sigma_x \ll \sigma_z$ (В нашем случае их отношение равно $1/5 + 1/40$).

Кривая I — предельная светимость, которая может быть получена при естественных размерах пучка (принято $\sigma_x/\sigma_z = 1/20$ на круге). Кривая II — предельная светимость, которую можно получить при естественном радиальном размере пучка, увеличивая вертикальный размер до оптимального. Такое изменение размеров можно осуществить меняя связь колебаний. Кривая III — ограничение по радиальным размерам вакуумной камеры. Вертикальный размер оптимальный. При этом предполагается, что распределение плотности в пучке остается гауссовым; чтобы достичь этих цифр, надо уметь увеличивать и радиальный размер пучка.

Максимальная светимость, которая может быть получена при равных фиксированных токах позитронов и электронов, показано серией сплошных линий. Если размеры пучка могут быть сделаны оптимальными, светимость выражается формулой:

$$L_0 = 2,5 \cdot 10^{28} I \cdot E \text{ (см}^2\text{сек}^{-1}\text{)} \cdot I - \text{ в мА, } E - \text{ в ГэВ}$$

С момента, когда естественные размеры больше оптимальных (кривая I), светимость падает как квадрат энергии. Можно поднять светимость до максимальной величины, определяемой той же формулой (пунктир), если увеличить количество электронов до значения, даваемого кривой I. При этом потребуется затратить дополнительную ВЧ. мощность.

Введение противоположного места встречи увеличивает суммарную светимость только в области ограничения светимости естественными размерами.

Повысить светимость можно при встрече многих сгустков в одном месте. Такой вариант предусматривается. Разведение пучков искажением орбиты по вертикали с помощью электрического поля в прямолинейном промежутке можно осуществить при кратности ВЧ $\varphi = 224$ и заполнении каждой 14-й сепаратрисы. Таким способом можно поднять светимость в 16 раз по сравнению с односгустковым

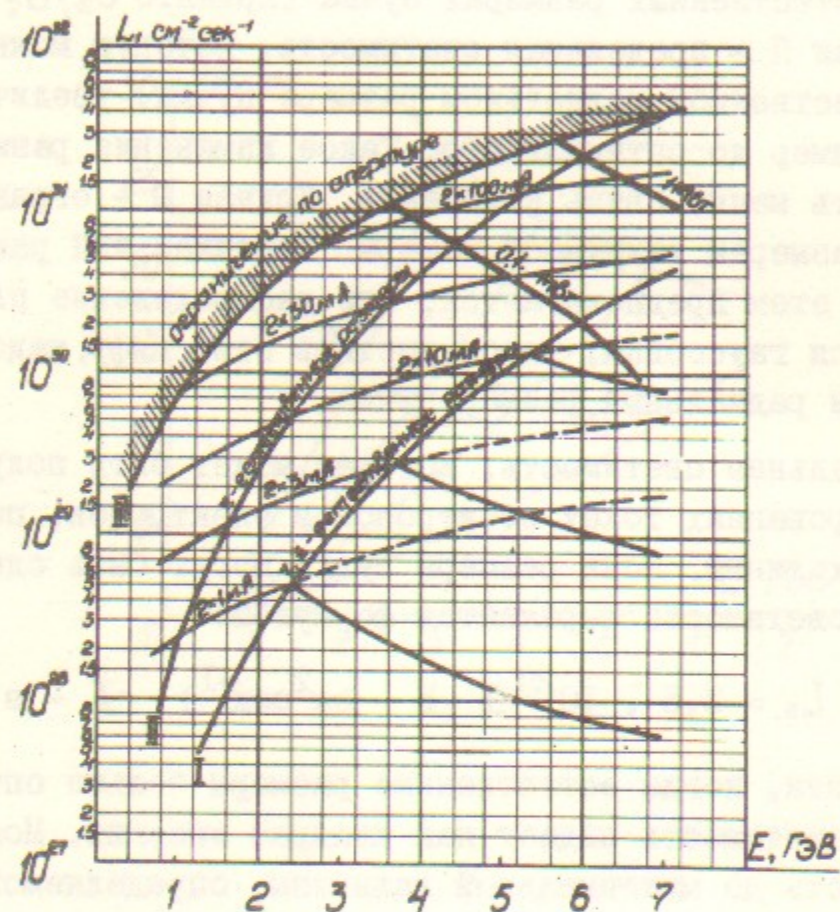


Рис.5. Светимость в центральном месте встречи

режимом. При этом потребуется такое же увеличение токов пучков и мощности ВЧ-питания. Необходимые токи будут порядка 1 ампера.

Этот же метод разведения пучков может быть использован, если возникнут трудности в увеличении радиального размера пучка. Тогда, разбиением того же тока на 16 ступок по азимуту с их разведением, можно будет получить ожидаемую светимость.

Место встречи Д в I5 корпусе при имеющейся магнитной системе имеет в 6 раз меньшую светимость, чем в центральном месте встречи. Перестройкой магнитной системы с пучком (как в ВЭП-3) на энергии до 4-5 ГэВ можно довести светимость до $L_0/2$.

Дополнительные места встречи В и С имеют светимость $L_0/4$. Можно рассматривать повышение светимости в них за счет центрального места встречи.

5. ВЧ-СИСТЕМА

ВЧ-система накопителя будет работать на 224 гармонике частоты обращения (184 МГц).*

Пределная энергия частиц ВЭШ-4 принимается равной 7 ГэВ. Для обеспечения этого режима необходима компенсация радиационных потерь — 6 МэВ на оборот — с превышением ускоряющего напряжения над уровнем компенсации в 1,6 раза. Полное ускоряющее напряжение 10 МВ предполагается получить на шести резонаторах, аналогичных резонаторам мощной ВЧ-системы ВЭШ-3. Амплитуда напряжения на зазоре каждого резонатора должна составить 2 МВ. Предусматривается возможность установки восьми резонаторов, если рабочее напряжение каждого окажется ниже 2 МВ.

В настоящее время 2 резонатора изготовлены и испытаны в непрерывном режиме на уровне в.ч. напряжения 1,3 МВ. Ведутся испытания на уровне 1,6 МВ. Имеющийся ВЧ-генератор позволит в текущем году провести длительные испытания резонаторов при амплитуде 1,8 МВ. Для получения больших напряжений в настоящее время отсутствуют источники в.ч. мощности 200 + 300 квт.

Для работы на предельной энергии 7 ГэВ с током 2×250 мА необходима в.ч. мощность 4300 квт (1300 квт будет теряться в 6 резонаторах при амплитуде напряжения 12 МВ, 3000 квт — в пучке).

Обсуждается вопрос о проектировании ВЧ-системы в одном из следующих вариантов:

1. На мощных триодах типа ГИ-54А или аналогичных.
2. На основе источника ВЧ-мощности собственной разработки-гирокона.

Первый вариант (на мощных триодах)

Для питания шести резонаторов предлагается установить 6 мощных ВЧ-станций, каждая из которых собрана на триоде ГИ-54А или аналогичном приборе с проектной выходной мощностью 300+350 квт. Для раскачки каждого из этих триодов установить предвыходной кас-

х) В стадии запуска будет использована 221 гармоника частоты обращения (181 МГц), которая близка к 45 гармонике частоты обращения в ВЭШ-3.

кад на приборе ГИ-50А мощностью 40 + 50 квт.

Предлагаемая параллельная (шестиканальная) схема в.ч. питания резонаторов на стандартных лампах предпочтительна с точки зрения простоты управления системой, а также в связи с отсутствием риска в возможности решения поставленной задачи. Система, однако, обладает значительной громоздкостью, низким к.п.д. ($\leq 50\%$) и требует значительного числа дефицитных выходных ламп. При этом рассмотренный вариант обеспечит работу на уровне 7 ГэВ (2×70 мА).

Разработка выходных каскадов может быть начата в 1975 году, когда станут известны условия поставки мощных выходных триодов.

По первому варианту разработан предвыходной каскад на приборе ГИ-50А. Из 4-х таких каскадов, включенных параллельно, создан усилитель выходной мощностью 125 + 160 квт, предназначенный для питания дополнительного резонатора (181 МГц) ВЭШ-3. Этот усилитель ("Базальт-200") вместе с системой сложения мощности используется в настоящее время для испытания двух резонаторов, один из которых предполагается установить на ВЭШ-3, а другой на ВЭШ-4. Остальные резонаторы заказаны на Опытном заводе СО АН в 1973 году. Поступление первой партии ожидается в 1975 году.

В первой половине 1975 года предполагается оборудовать в I3 корпусе защищенный бетонными кубами испытательный стенд для наладки и прогона получаемых резонаторов.

Разработка и изготовление одного выходного каскада на мощном триоде с питанием, управлением и необходимыми предварительными каскадами могут быть выполнены в 1975-1976 гг. Этот каскад может быть применен для испытания резонаторов ВЭШ-4 на уровне 2 МВ. Он сможет обеспечить также первый этап работы ВЭШ-4 с двумя резонаторами, временно располагаемыми в промежутке I3 корпуса (при этом длина фидеров минимальна, а расположение каскадов не затрагивает действующих участков в I3 и I5 корпусах). При таком в.ч. питании возможен режим 5 ГэВ (2×10 мА).

Какие-либо прогнозы по реализации варианта на триодах в полном объеме в настоящее время затруднительны из-за неопределенности сроков получения мощных триодов.

Если не рассчитывать на эти приборы в ближайшее время, то наибольшую мощность на первом этапе работы ВЭП-4 можно получить переключив "Базальт-200" с дополнительного резонатора ВЭП-3 на 2 резонатора ВЭП-4 4,5 ГэВ (2 x 10 МА).

Второй вариант (на основе гирокона)

Для питания резонаторов ВЭП-4 предлагается применить гирокон-мощный в.ч. усилитель с несгруппированным релятивистским пучком.

В настоящее время спроектирован и почти полностью изготовлен гирокон со следующими проектными характеристиками: режим работы - непрерывный; наибольшая выходная мощность - 5000 кВт; коэффициент усиления - 23 дБ; наибольшая энергия электронного пучка - 500 КэВ, наибольший ток пучка - 12А, к.п.д. - 80%.

Перед проектированием были проведены исследования импульсной (20 + 30 мксек, 0,1 Гц) модели гирокона на частоте 430 МГц. Были подтверждены расчетные соображения о возможности получения к.п.д. взаимодействия луча с выходным резонатором близкого к 100% при импульсной мощности около 1000 кВт. Эти опыты показали работоспособность нового прибора в режиме коротких одиночных импульсов.

Имеется ряд принципиальных вопросов, от решения которых зависит осуществимость гирокон непрерывного генерирования в обозримые сроки и возможность применения его для ВЭП-4:

1. Создание источника питания гирокон и получение электронного луча с энергией 500 кэВ, мощностью несколько мегаватт в непрерывном режиме.

Такой источник (ЭСУ-2) спроектирован и его изготовление, начатое в 1971 г., предполагается завершить в конце 1974 года. Прототип этого источника, ЭСУ-1, рассчитанный на работу в квазинепрерывном режиме (10 сек) отдавал при испытаниях на активное сопротивление мощность 3300 кВт в течение 8 сек. На нем было получено напряжение холостого хода 500 ± 25 кВ в течение 10 сек. С помощью ЭСУ-1 был получен электронный луч в ускорительной труб-

ке с магнитным сопровождением: 1000 кВт в пучке в течение 10 секунд при энергии электронов 200 - 250 кэВ. Ограничение - пробой ускоряющего промежутка при повышении тока пучка. Данные носят предварительный характер. Эксперименты будут продолжены. С помощью ЭСУ-1 был испытан высоковольтный промежуток гирокон без пучка. При напряжении 270 кВ в течение 2-х часов не наблюдалось предпробойных явлений. Дальнейший подъем напряжения и длительная выдержка ограничивались источником питания ЭСУ-1.

2. Проводка электронного луча 500 кэВ мощностью несколько мегаватт через электронно-оптическую систему гирокон.

Испытания электронно-оптической системы проведены в импульсном (10 мксек) режиме (прямой пучок) при напряжении 210 кВ. Ток и границы электронного пучка близки к расчетным.

Для испытаний оптики гирокон в непрерывном режиме был изготовлен вспомогательный источник питания гирокон напряжением до 80 кВ. При изменении энергии и тока пучка, развертываемого в.ч. сигналом, границы пучка оставались в допустимых пределах, и пучок выходил на коллектор гирокон с коэффициентом токопрохождения выше 99%. Параметры непрерывного электронного луча: энергия - 15 + 80 кэВ, мощность до 40 кВт, ток 0,1 + 0,5 А.

3. Разработка резонаторной системы гирокон.

Входной (развертывающий) резонатор гирокон и 25 кВт задающий генератор изготовлены, испытаны и обеспечивают удовлетворительное качество развертки пучка при энергии 80 кэВ.

Испытания резонатора развертки на предельной мощности показали незначительные отклонения развертки от круговой вследствие неравномерного прогрева резонатора. Дефект может быть устранен изменением распайки охлаждающих трубок во время очередной переборки гирокон.

Выходной резонатор находится в производстве и будет закончен в III квартале 1974 года.

4. Создание системы управления и быстродействующей защиты. Первые варианты этих систем созданы и проходят испытания.

В 1974 году предполагается полностью закончить монтаж гирокона и до конца года начать в.ч. испытания гирокона на малом уровне мощности (при питании от вспомогательного - 80 кВ - источника). Выбор варианта в.ч. системы предполагается провести на основании результатов экспериментов по получению мегаваттного пучка с энергией электронов несколько сот кэВ в непрерывном режиме при питании от ЭСУ-2 в 1975 году.

В настоящее время в энергоцентре установлено силовое оборудование (разделительные трансформаторы, индукционный регулятор напряжения), рассчитанное на 2500 квт проходящей мощности, так что испытания ЭСУ-2 и гирокона в 1975 году могут быть проведены на уровне мощности в два - три раза ниже проектной. Предполагается, что результаты испытаний на уровне в.ч. мощности $I \div 2$ Мвт смогут служить достаточным основанием для выбора варианта в.ч. системы.

В качестве в.ч. нагрузки гирокона при этих испытаниях предполагается применить 2 резонатора ВЭШ-4.

При положительных результатах испытаний в 1976 г. может быть начата работа на кольце ВЭШ-4 с двумя резонаторами, питаемыми от гирокона. При в.ч. мощности 2000 квт в схеме с двумя резонаторами возможен режим 5,3 ГэВ (ограничение - электрическая прочность резонатора - 2 МВ). В схеме с 6-ю резонаторами при этой в.ч. мощности возможен режим 7 ГэВ 2×50 мА.

При достижении проектных (5000 квт) параметров гирокона будет возможен режим работы ВЭШ-4 на уровне энергии 7 ГэВ при токах 2×250 мА.

Хотя вариант в.ч. питания на основе гирокона менее громоздок и более перспективен в научно-техническом плане, чем на триодах, при его осуществлении имеется значительная степень риска в возможности решения поставленной задачи в обозримые сроки.

Ориентировочная оценка трудоемкости и сроков осуществления двух вариантов в.ч. системы

Этапы	Вариант I			Вариант II	
	4xГИ-50 2резон.	1xГИ-54А 2резон.	6xГИ-54А 6 резон.	Гирокоп 2 Мвт 2 резонатора	Гирокоп 2 Мвт 6 резонат.
Достижимая энергия (ГэВ) при токах					
2x10 мА	4,5	5,0	7	5,3	7
2x100мА	-	-	6,9	5,3	6,9
Трудоемкость по ПТО тыс.н/час. (без резонаторов)	10	40	200 ^{xxx)}	200 ^{xxx)}	200 ^{xxx)}
Возможный срок изготовления	1975 ^{x)}	1976 ^{xx)}	?	1976 ^{xxxx)}	1977 ^{xxxx)}

x) Предполагается, что "Базальт-200" (4xГИ-50) переключается с ВЭШ-3.

xx) Срок указан в предположении, что необходимое количество ламп будет поставляться, начиная с 1975 г.

xxx) На 160 тыс. н/час гирокоп и ЭСУ-2 уже изготовлены.

xxxx) Сроки указаны в предположении, что в 1975 году будут получены положительные результаты испытаний.

6. ПОЗИТРОННАЯ ПРОГРАММА

Для достижения предельной светимости на ВЭШ-4 необходимо решить проблему получения позитронного тока. В случае работы с большим числом ступок на орбите возможны условия, когда требуется позитронный ток около 1А. Получение таких токов представляет собой чрезвычайно трудную проблему.

В настоящее время рассматриваются два варианта решения этой проблемы.

1. Напенок

Электроны, ускоренные в Б-4 до максимальной энергии 430 МэВ, выпускаются в существующий канал, затем через канал Б-4-ВЭШ-3 и Σ -канал отводятся в зал РИУС и фокусируются на конвертор. Позитроны с энергией 50 МэВ в энергетическом интервале 10% собираются короткофокусной светосильной X-линзой и вводятся (с нужным согласованием и корреляцией энергия-орбита) в промежуточный позитронный накопитель "Напенок". После инъекции позитронов энергия поддерживается на постоянном уровне 50 МэВ в течение 1 сек, радиационные потери компенсируются бетатронным сердечником. За это время энергетический разброс в пучке затухает до $\pm 1,5\%$. Затем включается ВЧ-напряжение, происходит адиабатический захват пучка в синхротронный режим и энергия поднимается до 350 МэВ; одновременно рабочая точка сдвигается на резонанс связи $\nu_x = \nu_z$ для получения быстрого затухания радиальных бетатронных колебаний. За время ускорения (0,5 сек) амплитуда бетатронных колебаний затухает до 1-2 мм, а энергетический разброс в пучке - до величины 0,1%. Выпущенный при максимальной энергии позитронный пучок инжектируется в ВЭШ-3 через существующий Σ -канал.

Для получения позитронного тока в ВЭШ-4 предполагается вести накопление ускоренных в Напенке позитронов в существующий накопитель НАП-М при энергии 350 МэВ с последующим ускорением накопленного тока до 1 ГэВ и инъекцией в ВЭШ-4. В этой связи необходимы некоторые модификации магнитной системы НАП-М: увеличение сечения магнитопроводов и установка в длинных промежутках НАП-М радиально-фокусирующих квадрупольных секций с фокусным расстоянием 5 м.

Имеющийся запас по апертуре дает допуск на нескомпенсированные искажения орбиты $\pm 0,5$ см по вертикали и ± 1 см по радиусу. Ожидаемые в такой магнитной системе с краевой фокусировкой и подобием орбит величины квадратичной и кубической нелинейностей малы, что позволяет надеяться на реализацию динамического подобия для орбит, соответствующих довольно большому разбросу по энергии и частиц с большим фазовым объемом бетатронных колебаний.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЗИТРОННОГО НАКОПИТЕЛЯ "НАПЕНОК"

Радиус поворота в магнитах	- 73,0 см
Длина прямолинейных промежутков	- 151,0 см
Средний радиус	- 169,15 см
Частота обращения	- 28,21 МГц
Вертикальная апертура	- 38 мм
Радиальная апертура	- 200 мм
Адмиттанс при полной вертикальной апертуре	- 22 μ см.град.
Принимаемый энергетический разброс	- 10%
Рабочая точка	- $\nu_x = 1,27$
	- $\nu_z = 1,17$
Энергия инъекции	- 50 МэВ
Максимальная энергия	- 350 МэВ
Напряжение ВЧ резонатора	- 100 кВ
Энергия, принимаемая от бетатронного сердечника	- 22 МэВ
Напряжение на обходе, индуцируемое бетатронным сердечником	- 0,75 В
Напряжение на инфлекторных пластинах	- 200 кВ
Общий вес магнитной системы	- ок. 20 т
Максимальная мощность питания магнитов	- 400 кВт
Средняя мощность питания магнитов	- 160 кВт
Частота повторения циклов ускорения	- 0,5 Гц

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЗИТРОННОГО ПУЧКА

Оптимальная толщина конвертора	- 2 рад.дл.
Относительный выход позитронов при энергии 50 МэВ	- 0,3
Ср. кв. поперечный фазовый объем	- 4,4 μ см.рад.
Ср. кв. угол расходимости	- 14°
Ср. кв. диаметр пучка на выходе конвертора	- 1 мм
Коэффициент конверсии	- 2%

Схема получения позитронов с промежуточным позитронным накопителем за счет наращивания ускорительного комплекса дает возможность увеличить расчетную эффективность конверсии до 2%.

Выигрыш по сравнению с предельными возможностями существующей на ВЭШ-3 системы конверсии складывается, в основном, из следующих факторов:

- 1) увеличение спектральной плотности позитронов при энергии инжекции 50 МэВ (по сравнению с 220 МэВ) - в 5 раз;
- 2) увеличение принимаемого в накопитель энергетического разброса - 5 раз;
- 3) увеличение коэффициента захвата в поперечный фазовый объем накопителя - 4 раза.

Реализация расчетного коэффициента конверсии 2% при достижении тока в Б-4 1А дает ток позитронов за импульс 20 мА в единицах тока в Б4 или 0,5 мА в ВЭШ-4. Это означает, что за час работы можно накопить около 0,5А позитронов в ВЭШ-4.

Помимо этого, в такой системе в накопитель (ВЭШ-3, ИАП-М, ВЭШ-4) будет инжектироваться хорошо охлажденный позитронный пучок, что даст возможность без потерь вести инжекцию с предударом накопленного сгустка (при этом может использоваться неполная апертура) для укладки позитронного сгустка в одну сепаратрису высокой гармоники ВЧ напряжения.

Состояние работ (на 10 мая 1974 г.). Проведены магнитные измерения на модели квадранта I : 3. Разработана принципиальная схема системы стабилизированного силового питания, испытаны на макетах её основные узлы. Проведена эскизная проработка общего вида накопителя. Конструирование основных узлов приостановлено в стадии, близкой к окончанию, в связи с рассмотрением другого варианта позитронной программы (см. ниже).

Проектирование систем накопителя может быть закончено в течение 1974 года. Трудоемкость работ оценивается в 80 тыс. н/час ПТО и 15 тыс. н/час электромонтажа. Проектные параметры могут быть получены к концу 1975 года.

2. Сильноточный линейный ускоритель

Электроны, ускоренные в линейном ускорителе до энергии 20 + 70 МэВ при токе пучка 25 + 80А в среднем за импульс длительностью 30 нсек при частоте повторения 1 Гц, фокусируются на конверторе в пятно диаметром около 1 мм. При оптимальной толщине конвертора относительный выход позитронов может составить $(0,6 - 4) \cdot 10^{-2}$ по расчетным оценкам, приведенным в работе Чирикова Б.В. и Тажурского В.А. Позитроны вводятся в синхротрон Б-4, откуда инжектируются в ВЭШ-3 и далее в ВЭШ-4.

Электроны с указанными выше параметрами предполагается получать с помощью линейного ускорителя, составленного из 2-х секций по шесть связанных резонаторов в каждой.

Таблица 3

Импульсная мощность пучка, возбуждающего резонатор гирокон	Мвт	30	50	150
Длительность импульса возбуждающего тока	мксек	6	6	10
Энергия электронов на выходе линейного ускорителя	МэВ	20	30	70
Ток линейного ускорителя в среднем за импульс 30 нсек	А	25	35	80
Относительный выход позитронов		$0,6 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Расчетный позитронный ток в Б-4 в среднем за импульс	мА	1	7	20

В качестве источника в.ч. питания линейного ускорителя предполагается применить импульсный гирокон на 430 Мгц, разработанный в институте, а для возбуждения резонатора гирокон - усовершенствованный ускоритель ЭЛИТ-2, на котором предполагается получить электронный пучок с энергией 1,5+1,8 МэВ и током 20+90 А

в импульсе длительностью $6 + 10$ мксек, пригодный для возбуждения гирокон. В настоящее время пучок в ЭЛИТ-2 имеет следующие параметры: ток до 30А в импульсе длительностью 2,5 мксек при энергии электронов $1,5 + 1,7$ МэВ.

В зависимости от параметров пучка, возбуждающего резонатор, гирокон, можно рассчитывать на получение величин позитронного тока, указанных в таблице.

При расчетах, которые являются предварительными, предполагалось, что толщина конвертора выбрана так, чтобы позитроны с угловым разбросом по радиусу захватывались в Б-4 полностью, при этом заметного расширения пятна на выходе из конвертора не происходит, а захват позитронов в Б-4 по вертикали составит 25%.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЗИТРОННОГО ПУЧКА
(для первого столбца таблицы)

Оптимальная толщина конвертора	- $1/3$ рад.дл.
Относительный выход позитронов при энергии 7 МэВ	- $0,6 \cdot 10^{-2}$
Среднеквадратичный диаметр на выходе конвертора	- 1,2 мм
Эмиттанс пучка	- 0,06 см.радиан

ПРИНЯТЫЕ ПАРАМЕТРЫ

а) синхротрон Б-4	
Акцептанс	$\omega_z = 0,3$ см.радиан $\omega_x = 0,015$ см.радиан
Принимаемый энергетический разброс	- 7%
б) гирокон:	
Электронный КПД	- 90%
Потери тока пучка	- 10%
Запас энергии в выходном резонаторе	- 25 дж

Собственное время резонансной системы гирокон-ускоритель на рабочем виде колебаний	- 25 мксек
Напряженность электрического поля в выходном резонаторе	- $130 + 160$ кВ/см

в) линейный ускоритель:

Число резонаторов	- 12
Характеристическое сопротивление одного резонатора	- 200 ом
Максимальная напряженность электрического поля в резонаторе	- $150 + 500$ кВ/см
Пролетный коэффициент	- 0,84
Уменьшение запаса энергии резонатора при пролете пучка	- 30%

Состояние разработки и ближайшие перспективы

а) Ведутся расчеты и проектирование резонаторов линейного ускорителя, рассматриваются варианты системы транспортировки пучка, инжекционной и конверсионной систем;

б) Ведется подготовка гирокон и задающего в.ч. генератора к монтажу и наладке в экспериментальном блоке I-го корпуса.

Ведется проектирование новой электронно-оптической системы гирокон, которая должна обеспечить улучшение токопрохождения с 60% до 90% и повышение коэффициента усиления гирокон с 6 до 2,4 дб.

в) Ведется монтаж ЭЛИТ-2 в экспериментальном блоке I-го корпуса, а также проектирование новой схемы питания, обеспечивающей удлинение импульса тока с 2,5 до 6 мксек.

В качестве первого этапа предполагается осуществить запуск ЭЛИТ-2 с гироконом и линейным ускорителем и получить параметры, соответствующие первому столбцу таблицы 3. Ориентировочные затраты на первый этап составят 40 тыс. н/час ПТО и 5 тыс. н/час. электромонтажа. Затраты на переделку Б-4 не учитываются. Ориентировочный срок готовности I-го этапа - 1975 г., испытания на Б-4-1976г.

Последующие этапы этого варианта, включающие в себя разработку импульсного источника питания на $1,5 - 2$ МВ с ускорительной

трубкой, рассчитанных на длительность импульса $10 + 20$ мксек, усовершенствование гироконатора с целью получения 200 - 400 Мвт в.ч. мощности в импульсе, а также удвоение числа секций сильноточного линейного ускорителя возможно позволят существенно увеличить позитронный ток по сравнению с величиной, указанной в третьем столбце таблицы I. Эти этапы находятся в стадии предварительного рассмотрения.

7. КАНАЛЫ

Схема электронно-оптических каналов комплекса ВЭШ-4 (рис.6) предусматривает следующие режимы инъекции в накопитель:

1. Инъекция электронов и позитронов из синхротрона Б-4 с энергией до 450 МэВ при частоте следования импульсов до нескольких герц.

2. Инъекция электронов и позитронов из накопителя ВЭШ-3 с энергией до 1,8 ГэВ.

Максимальная частота повторения при инъекции частиц с импульсом 1,8 ГэВ/с определяется временем подъема поля в накопителе ВЭШ-3 и не превышает 1 раза в минуту.

В общей для всех режимов части каналов пучки подводятся к накопителю перпендикулярно прямолинейному промежутку и разводятся в противоположные стороны двумя 90° -градусными поворотами в горизонтальной плоскости с одновременным разворотом по вертикали на угол 10° . Впуск в накопительное кольцо осуществляется по вертикали снизу на расстоянии 7 м от центра импульсного инфлектора. Ось канала проходит над промежутком НАПа на расстоянии 1,5 м от его медианной плоскости. Далее ось канала параллельно переносится на 5,5 м с одновременным поворотом на 10° к горизонту и выходит на ось существующего ξ -канала.

Для проводки электронов и позитронов из синхротрона Б-4 после существующего 90° -ного магнита электронного канала ВЭШ-3 пучок поворачивается по вертикали вниз на 18° , пропускается через отверстие в резонаторе под магнитами накопителя ВЭШ-3 и 12° -ным поворотным магнитом ПМ10 выводится на ось участка параллельного переноса.

Инъекция в накопитель с малой апертурой и большим средним радиусом, каким является накопитель ВЭШ-4, требует высокой точности и стабильности согласования эмитанса впускаемого пучка с акцептансом накопителя. Ввиду этого, параллельный перенос и поворот частиц на большой угол перед впуском в накопитель должны быть выполнены ахроматически, т.к. хроматическая аберрация в

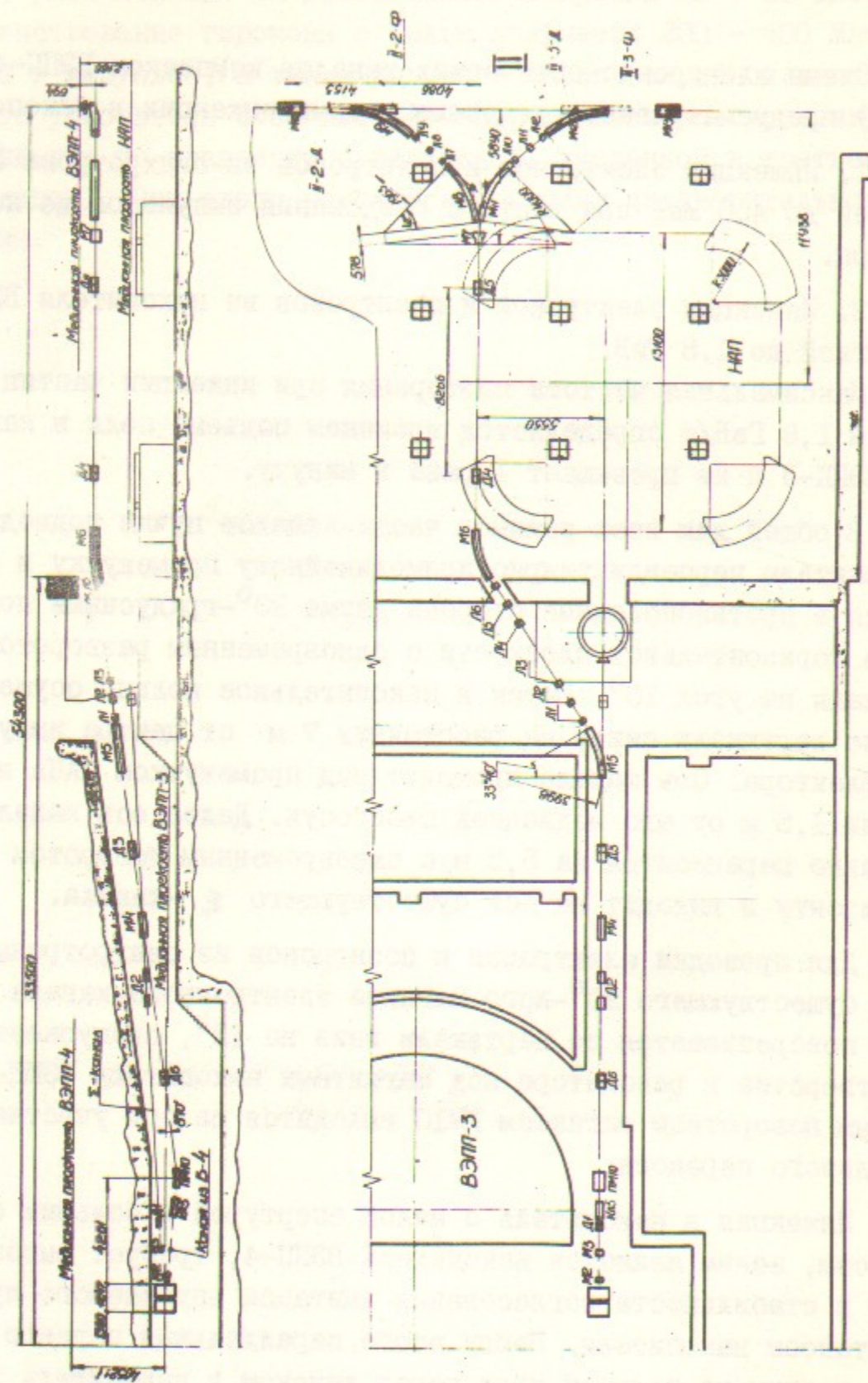


Рис. 6. Схема электронно-оптических каналов

90° -ном магните даже при разбросе по энергии $\pm 1 \cdot 10^{-3}$ привела бы к бетатронным колебаниям пучка в накопителе, уменьшающим акцептанс накопителя для частиц с отклоненной энергией примерно в 4 раза.

Каждый поворот осуществляется двумя магнитами с углами поворота 45° , между которыми помещены три квадрупольные линзы Л7-Л9, обеспечивающие ахроматичность поворота, а также достаточно большое фокусное расстояние его по сравнению с фокусным расстоянием накопителя. Это последнее обстоятельство существенно для согласования формы эмитанса пучка с акцептансом накопителя.

Ахроматичность параллельного переноса достигается с помощью шести одиночных квадрупольных секций Л1-Л6, которые совместно с дублетами линз Д4 и Д5 служат для согласования эмитанса пучка с акцептансом накопителя во всех трех режимах инжекции.

Ахроматичность 90° -поворота и параллельного переноса делает их нечувствительным к одновременному уходу параметров элементов, что при последовательном питании пар магнитов (М5, М6, М8 и М9) позволяет снизить требование на стабильность поля в 2 раза, а именно до $1 \cdot 10^{-3}$. Уровень стабильности поля во впускном магните $6 \cdot 10^{-4}$, квадрупольные линзы допускают нестабильность до $5 \cdot 10^{-3}$.

Проектный вакуум в каналах 10^{-6} тор обеспечивается 12-ю магнито-разрядными насосами НОРД-100, распределенными по длине каналов.

Нержавеющая камера с толщиной стенки 1,5 мм помещена внутри апертур магнитных элементов и при среднем сечении ± 2.5 см позволяет пропустить полный акцептанс ВЭП-4, начиная с участка параллельного переноса до участка позитронного впуска.

По электронной части полный фазовый объем ВЭП-4 пропускается при апертуре в М12 $A_z = \pm 2.8$ см, что несколько превышает проектные значения рабочей апертуры.

Все элементы каналов выполнены импульсными. Для того, чтобы удовлетворить требованиям на однородность поля $(\Delta H/H) \leq 10^{-3}$ в больших поворотных магнитах были проведены экспериментальные исследования на модели по шиммированию токонесущих шин и изуче-

нию экранирующего и искажающего действия вакуумной камеры при различных длительностях питающего импульса тока. Введение шимм позволило увеличить область однородности поля (с точностью до $(\Delta H/H) < 10^{-3}$) вплоть до стенок вакуумной камеры при выбранной длительности полупериода импульса тока 6 мсек.

Для впускных магнитов М10, М13 с толщиной внешней стенки ножа - 3 мм и полем до 15 кэ с использованием электромагнитного экрана ($\alpha = 0.35$ мм) выбрана длительность полупериода импульса тока около 300 мсек (толщина вакуумной камеры 0.6 мм). При этом поля впускных магнитов не приведут к заметному искажению равновесной орбиты неопитателя.

После получения из мастерской все магниты и линзы пройдут механический контроль и магнитные измерения. Для этой цели разработана многоканальная система автоматического измерения магнитных полей с выводом результатов на перфоленту и последующей их обработкой на ЭВМ.

Питание элементов каналов предполагается от автономных генераторов, совмещенных со стабилизированными источниками питания (фазово-регулируемый выпрямитель, управляемый по первичной стороне трансформатора). Управление элементами будет осуществляться от ЭВМ "ОДРА 1325". Предусмотрена возможность ручного управления.

Для наблюдения за равновесной траекторией на каналах предполагается разместить около 20 проводочных эмиссионных датчиков, дающих распределение плотности частиц и смещения центра тяжести пучка. Информация с датчиков вводится или непосредственно на осциллограф или на ЭВМ с целью коррекции питания элементов по пучку. Конструкция блока эмиссионных датчиков разработана и заказаны два пробных экземпляра.

Всего на данный момент в цех сдано деталей на 22 тыс. н/час. Из этого объема выполнено 25%. Для завершения изготовления и монтажа канала необходимо еще 20 тыс. н/часов ПТО.

Предполагаемые сроки выполнения работ:

I. Завершение основных конструкторских разработок - конец 1974 года.

2. Получение элементов из мастерской, их испытание и начало монтажа каналов - декабрь 1974 года.

3. Настройка канала и проводка пучка из Б-4 - лето 1975г.

4. Работа канала на энергии 1.8 ГэВ и управление от ЭВМ - конец 1975 года.

8. И Н Ж Е К Ц И Я

Инжекция позитронов производится против часовой стрелки (на виде накопителя в плане) в техническом промежутке здания I5 по вертикали снизу. Позитронный инфлектор размещается в линзе П-ИФ, электронный - линзе П-4Д.

Пластины инфлекторов образуют вместе с камерой накопителя симметричные полосковые линии. Механически они крепятся на центральных проводниках коаксиальных высоковольтных вводов с керамическими изоляторами, имеют длину около 155 см и работают в согласованном режиме. Для компенсации удлинения при прогреве каждая пластина на одном из концов крепится через гибкий элемент. Вводы располагаются в вертикальной плоскости, конструкция их позволяет производить регулировку положения пластин в камере по вертикали.

В принятом варианте пластины инфлекторов и генераторы для их питания имеют волновое сопротивление $2 \times 50 \text{ Ом}$. При этом радиальная апертура инфлекторов с неоднородностью поля на краях $\pm 20\%$ такова, что обеспечивает выпуск частиц приблизительно в 50% радиального акцептанса накопителя для позитронов и для электронов (при радиальной апертуре накопителя в полукольцах $\pm 2 \text{ см}$ и радиальном акцептансе $3,2 \pi \cdot 10^{-3} \text{ рад.см}$). Пластины размещаются за пределами огибающей бетатронных колебаний по η и по ξ .

Окончательно режим многократного накопления в настоящее время не выбран. Если инжекция будет производиться через ВЭШ-3, данный вариант позволит производить выпуск практически со стопроцентной эффективностью. Из Б-4 может инжектироваться пучок с эффективностью, близкой к единице, если его эмитанс составляет $1,5 \pi \cdot 10^{-3} \text{ рад.см}$, что обеспечивается в настоящее время при энергии инжекции в Б-4 около 3 МэВ. Если же в дальнейшем возникнет необходимость инжектировать частицы в полный радиальный фазовый объем накопителя, потребуется замена пластин инфлекторов со вскрытием вакуумной камеры, замена высоковольтных кабелей генератора и согласующих нагрузок практически без изменения схем питания и управления

Ниже приведены расчетные параметры инжекции электронов и позитронов из центра впускных магнитов на медианную плоскость накопителя при энергии 2 ГэВ.

	α_z инфл., см.	Толщина ножа впускного магнита, см	Заброс, см	Угол впуска	U зар. генератора, кВ
Электроны	$\pm 1,25$	0,8	2,58	$4,18 \cdot 10^{-3}$	85
Позитроны	$\pm (1,1+1,65)^*$	0,8	2,66	$4,39 \cdot 10^{-3}$	75

*) Пластины позитронного инфлектора устанавливаются под углом к медианной плоскости накопителя и их апертура уменьшается по ходу пучка позитронов в соответствии с изменением огибающей вертикальных бетатронных колебаний.

В процессе настройки можно увеличить вертикальную апертуру позитронного инфлектора, чтобы можно было инжектировать электроны и позитроны при помощи одного генератора без перестройки, подключая его поочередно к разным инфлекторам при помощи оперативно управляемых коммутаторов.

Переходной процесс воздействия инфлектора на пучок определяется удвоенным временем пробега волны по пластинам инфлектора и длительностью фронта импульса на их входе составит 12-15 нсек.

Система инжекции ВЭШ-4 органически связана с аналогичной системой ВЭШ-3 и будет иметь общие с ней цепи силового питания, управления и контроля. Высоковольтный блок с генератором разместится в здании I3, импульсы к инфлекторам будут передаваться по кабелям в здание I5. Во вводы инфлекторов, высоковольтные передающие кабели и согласующие нагрузки будет подан элегаз под давлением до 10 атм. Для монтажа, подключения к действующей установке и наладки потребуется остановка системы инжекции ВЭШ-3 на время порядка одного месяца.

В настоящее время произведены все необходимые расчеты и моделирование, имеются данные для проектирования системы. Окончено конструирование инфлекторов и их вводов. Схема генератора аналогична схемам генераторов системы инъекции ВЭШ-3. Часть элементов после модернизации успешно испытана в лабораторных условиях.

Изготовленные к настоящему времени элементы системы составляют по трудоемкости порядка 20% требуемых затрат. Система инъекции может быть изготовлена и передана в эксплуатацию в середине 1975 года.

9. ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА

Проектный вакуум с пучком $1 \cdot 10^{-8}$ торр. Вакуум обеспечивается 120 сосредоточенными МРН со скоростью откачки 100 л/сек и 80 распределенными МРН со скоростью откачки 1 л/см.сек. Кроме того, в каждом полукольце имеется по 10 сосредоточенных испарительных титановых насосов, что позволит получить более низкое предельное давление по водороду, а также поддерживать вакуум при полных отключениях электроэнергии. Распределенные насосы в камерах смогут работать при поле в зазоре магнита не менее 1,5кэ и будут эффективны только при большой энергии пучка и большом числе частиц.

Для съема мощности синхротронного излучения в камерах полуколец по внешнему радиусу вмонтированы протяженные приемники излучения из медной позолоченной трубки с водяным охлаждением.

Для черновой откачки и откачки при обезгаживающем прогреве вакуумной системы используются 35 шт МРН со скоростью откачки 100 л/сек. После черновой откачки и обезгаживающего прогрева черновые насосы отсекаются от сверхвысоковакуумной системы прогреваемыми металлическими вентилями.

В настоящее время полукольца ВЭШ-4 собраны, прогреты и находятся под вакуумом с непрерывной круглосуточной откачкой. Предельный вакуум $(1 + 3) \cdot 10^{-10}$ тор в промежутках между магнитами и $(5 + 7) \cdot 10^{-10}$ в средней части магнита.

Каждое полукольцо разделено на три секции проходными прогреваемыми клапанами с проходным диаметром 80 мм, что позволяет при необходимости вскрытия сохранить вакуум в остальной части полукольца. Секционирование облегчает производство обезгаживающего прогрева после вскрытия. Прогрев может производиться без размонтирования вакуумной системы при разведенных половинках магнитов ленточным нагревателем, который после прогрева снимается. Температура прогрева $250 + 300^{\circ}\text{C}$. В каждом полукольце имеется по 3 датчика вакуума типа МИ-27 и ММ-14 и по 3 датчика масс-спектрометра для анализа остаточных газов и поиска течей. Пред-

ставление о вакууме в каждом промежутке может быть получено по току сосредоточенного МРН, который градуирован по манометру.

Вакуумная система промежутка в I5 здании спроектирована и будет построена на основе комбинации МРН и испарительных титановых насосов.

Для откачки резонаторов будет использована уже имеющаяся вакуумная система для резонаторов на 182 МГц, позволяющая получить после прогрева резонатора вакуум $(1 \pm 3) 10^{-10}$ торр.

Вакуумная система промежутка в I3 зд. находится в стадии уточнения и проектирования. Здесь тоже будет использоваться комбинация МРН с испарительными титановыми насосами — сосредоточенными и распределенными.

Прямолинейные промежутки в I5 и I3 зд. будут разделены на секции проходными клапанами. Обезгаживающий прогрев будет производиться по секциям ленточными нагревателями. Для черновой откачки и обезгаживания будут использоваться черновые МРН. Каждая секция будет иметь датчики вакуума и датчики спектрометра. Для измерения вакуума будут также использоваться сосредоточенные МРН.

Для получения вакуума $1 \cdot 10^{-11}$ торр в месте встречи, возможно, будут использованы гелиевые криогенные насосы в комбинации с МРН и испарительными титановыми насосами.

Наличие большого магнитного поля в месте встречи в детекторе МД-I приведет к интенсивному синхротронному излучению, которое может затруднить получение сверхвысокого вакуума. Приемник излучения будет заменен бериллиевым окном, выпускающим излучение в промежуточный вакуум с обычным, охлаждаемым водой, медным приемником излучения.

10. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ПУЧКОМ

Пикап-станции. Для наблюдения за равновесной орбитой предполагается разместить на кольце 55 пикап-станций — по одной на элементе периодичности и I5 на прямолинейных промежутках.

Датчик пикап-станции электростатический, имеющий 2 пары пластин, измеряющих смещение пучка по η и ξ координатам в рабочей области ± 25 мм по η ± 12 мм по ξ (для датчиков полуколец). Предполагается, что погрешность измерения по радиусу и вертикали не превысит $\Delta X = 0,1 \pm 0,5$ мм, включая погрешности установки и калибровки, при токах пучка более I мА.

В настоящее время узлы пикап-электродов полуколец изготовлены, обмерены и смонтированы в вакуумную камеру. Изготовлены шкафы для размещения электроники полуколец, сконструированы датчики для прямолинейных промежутков.

Разработку электроники измерительной системы предполагается провести в III-IV кварталах 1974 года с последующим изготовлением в радиомастерской ИЯФ и настройкой в лаборатории (1975г.)

Измерение тока. Для измерения тока пучка предполагается использовать электростатический пикап и феррозондовый измеритель. Погрешность измерения тока составит около $\pm 5\%$ при токе более 0,1 мА.

Планируется установка широкополосного датчика тока пучка ($\tau_{ФФ} \approx 0,5$ нсек); датчиков впускаемого числа частиц, подобных датчикам каналов, для определения эффективности впуска; апертурных пробников и "вакуумных карманов" для размещения различных датчиков при наблюдении первого оборота. Перечисленные датчики и устройства в основном спроектированы.

Запланирована разработка аппаратуры для наблюдения синхротронных и когерентных бетатронных колебаний, но из-за нехватки людей системы не проектируются.

Оптические наблюдения. Предполагается измерение токов, поперечных и фазовых размеров, наблюдение за пучком на экране телевизора на основе использования видимой области синхротронного

излучения. Выбраны места установки и разработана конструкция зеркал для вывода света из накопителя.

Внешние устройства достаточно хорошо отработаны на существующих накопителях и не потребуют больших затрат времени на их разработку.

В связи с тем, что наблюдается интенсивное потемнение зеркал под действием синхротронного излучения, следует рассмотреть возможные наблюдения за некоторыми параметрами с помощью рентгена. Такая методика сейчас отработывается на ВЭШ-3. Для этих целей необходима разработка специального канала вывода рентгеновского излучения.

II. КОРРЕКЦИЯ ОРБИТЫ

В магнитной системе элемента периодичности заложены следующие коррекции, рассчитанные на индивидуальное управление:

$H_x, H_z, \nabla H_r, \nabla H_z$. Каждая обмотка рассчитана на ток до 10 А при напряжении 15 В. Общее количество каналов с учетом коррекций в прямолинейных промежутках составляет около 350.

Блоки электроники для питания корректирующих обмоток полуколец предполагается разместить в шкафах над магнитами накопителя. На прямолинейных промежутках - в стойках под линзами.

В настоящее время закончено проектирование электроники, размещаемой в шкафах. Блоки переданы для производства в радиомастерскую ИЯФ. Намеченный срок окончания работ по изготовлению блоков - IV квартал 1974 г. - I кв. 1975 г. В III квартале 1974 г. закончится поставка из г. Нарвы усилителей мощности, предназначенных для питания обмоток коррекции. Получено 220 блоков. Необходимо 250.

Закончено проектирование электромонтажных схем системы коррекции полуколец. Шкафы коррекции изготовлены Опытным заводом. В августе 1973 г. проведено испытание опытного шкафа с полным электромонтажом.

Объем электромонтажных работ на полукольцах составляет около 15 тысяч н/часов. Примерно такой же объем электромонтажных работ на прямолинейных промежутках. Проектирование электромонтажных схем для электроники промежутков планируется на III-IV кварталы 1974 года.

К разработке электроники системы коррекции, размещаемой в пультовой, предполагается приступить в IV кв. 1974 года.

Помимо блоков системы коррекции в шкафах полуколец предполагается разместить блоки системы измерения вакуума (контроль токов магниторазрядных насосов), систему контроля температуры шин питания и блоки для дистанционного управления пробниками. Названные системы в настоящее время проектируются, блоки изготавливаются в радиомастерской.

12. СИЛОВЫЕ ПИТАНИЯ

Электромагнитная система комплекса ВЭП-4 состоит из нескольких электромагнитов, которые одиночно или группами подключены к отдельным стабилизированным источникам питания. Общее количество электромагнитов и их характеристики по питанию приведены в табл.2.

Состояние проектирования:

1. Источником питания электромагнитов полуколец является электромашинный генератор постоянного тока ГПН-1650, который установлен и запущен. Шинопровод на 25 кА монтируется. Система стабилизации тока частично спроектирована. Для электрического монтажа необходимо установить развязывающий дроссель "Фрос", изготовить и установить шунт на 10 кА, конденсаторную батарею, провести электрический монтаж шкафа управления.

2. Источниками питания квадрупольных линз, затухателя, Ф- и Д-коррекции, магнитов экспериментального участка будут разрабатываемые в г.Таллине (ТЭЗ им.Калинина) реверсивные тиристорные преобразователи ПТН-100 на ток 2,5 кА, мощность 100 квт, напряжение ± 40 В. В 1974 г. один образец должен быть подготовлен к испытанию в ИЯФ. Проектирование системы стабилизированного питания начнется после уточнения характеристик ПТН-100.

3. В качестве источника питания электромагнита МД-1 будет электромашинный генератор постоянного тока ГПС-6300. Генератор имеется в наличии в Институте, установка будет производиться в 1974 году в помещении дистилляторной. Проектирование системы стабилизации не начиналось.

4. Источниками питания обмоток коррекции нелинейности в магнитах полуколец будут разрабатываемые в Институте тиристорные преобразователи на ток 50А, мощностью 12 квт. Часть элементов изготавливается. Проектирование начато.

Размещение систем питания и стабилизации предполагается произвести в трех помещениях: энергоцентре, дистилляторной и стабилизационной. В энергоцентре размещаются генераторы ГПН-1650

Таблица 2

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСА ВЭП-4

№№ ПП	Наименование маг- нитной системы	Кол-во магни- тов	Ток, кА	Мощность, квт	Предполагаемый источник пита- ния
1	2	3	4	5	6
I.	Основное питание магнитов полуколец	76 послед.	9	440	Эл.машинный генератор ГПН-1650
2.	Ф-Д-коррекция в магнитах полуколец	2	0,25	30x2	Тирист. преобразователь ПТН-100 2 шт.
3.	Коррекция нелинейностей в магнитах полуколец	2	0,05	12x2	Тирист. преобразователь. 2шт.
4.	Коррекция нелинейностей в магнитах полуколец	6	0,02	5x6	Тиристорн. преобразователь 6 шт.
5.	ж) Квадрупольные линзы II промежутка	8 послед.	0,7	50	1. Электромашинный генератор П-105 2. Тирист. преобразоват. ПТН-100 1 шт.
6.	Затухатель на II промежутке	I	2,5	120	Тиристорный преобразователь ПТН-100 2шт.
7.	Квадрупольная линза IУ промежутка	9	I	12x9	Тиристорн. преобразователь ПТН-100 -9шт.
8.	Квадрупольная линза IУ промежутка (спец)	2	2,5	100x2	Тиристорн. преобразователь ПТН-100 -2 шт.
9.	Квадрупольная линза IУ промежутка (спец)	2	2,5	35x2	Тирист. преобраз. ПТН-100 - 2шт.
10.	Доворотные магниты IУ промежутка	2	2,5	150x2	Тирист. преобраз. ПТН-100-4 шт.
II.	Магнит детектора МД-1	I	7	$3,8 \cdot 10^3$	Электромаш. генер. ГПС-6300

ж) возможен вариант отдельного питания. В этом случае требуется 8 источников питания ПТН-100.

и П-105. В дистилляторной размещаются тиристорные преобразователи ПТН-100 на антресолях и генератор ГПС-6300. Окончательный выбор мест размещения шкафов управления системами питания еще не сделан. Основное управление и контроль параметров систем питания предполагается производить из главной пультовой.

13. МАГНИТНЫЙ ДЕТЕКТОР МД-1

При выборе варианта большого магнитного детектора МД-1 были поставлены следующие основные требования:

- 1) магнитное поле направлено перпендикулярно траектории движения пучков, что позволяет проводить анализ частиц, вылетающих даже под нулевыми углами;
- 2) большой телесный угол для того, чтобы сделать малыми систематические ошибки в идентификации каналов реакций и в определении абсолютного сечения процессов;
- 3) регистрация рассеянных электронов с малой потерей энергии, вылетающих по направлению движения начальных частиц;
- 4) однородное магнитное поле с тем, чтобы обработка событий была достаточно простой;
- 5) идентификация e , μ , π , k и γ -квантов и хотя бы грубое определение энергии γ -квантов;
- 6) запуск от двухчастичных и многочастичных событий, система запуска достаточно гибкая с тем, чтобы во время эксперимента можно было легко менять условия запуска; для отделения от фона космических частиц измеряется время пролета;
- 7) регистрация γ -квантов, вылетающих под нулевым углом;
- 8) система измерения светимости для работы в широком диапазоне значения светимости;
- 9) имеется возможность выпустить синхротронное излучение.

На рис.7 показана схема расположения МД-1 на установке ВЭШ-4 в здании 13. Место встречи находится в магнитном поле МД-1, поле направлено перпендикулярно плоскости орбиты. Величина магнитного поля изменяется с изменением энергии ВЭШ-4, при энергии 7 ГэВ поле составляет 16 кГс.

Расстояние между первыми от места встречи квадрупольными линзами составляет 9,5 м, между вторыми - 14 м. Квадрупольные линзы имеют большую апертуру, диаметр вписанного круга ~20 см. С каждой стороны от МД-1 стоят дополнительные поворотные магниты (ДМ),

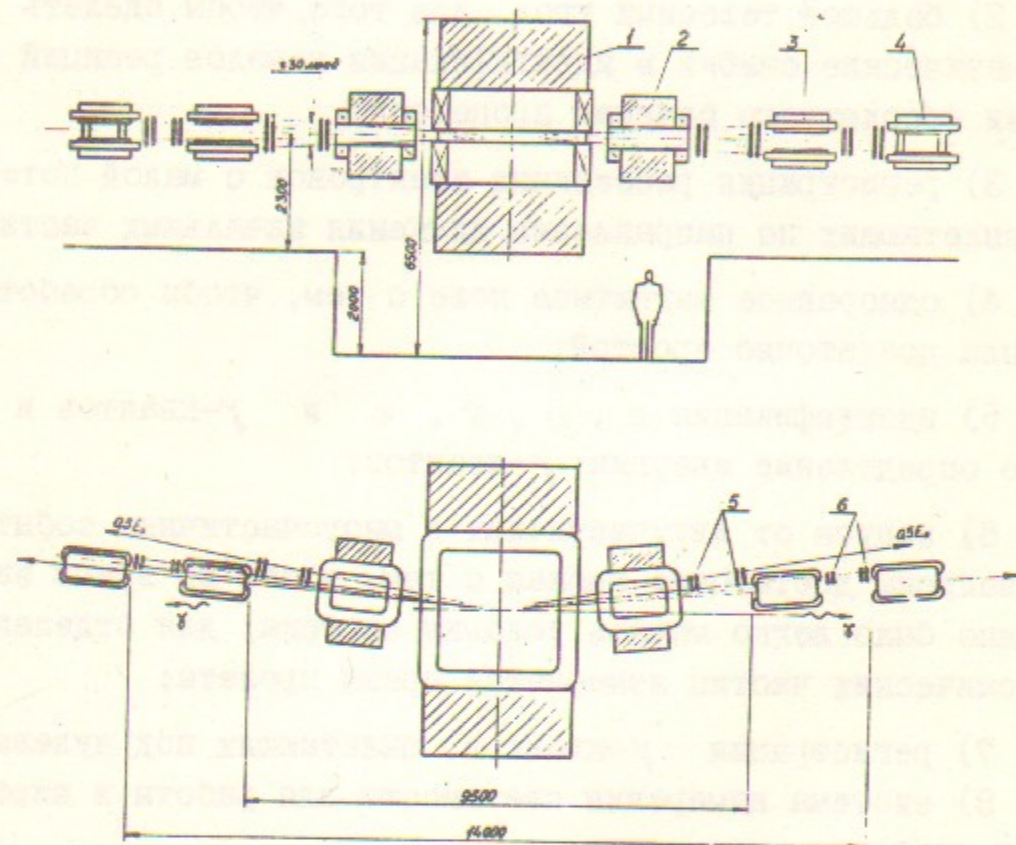


Рис.7. Центральное место встречи:

1 - детектор МД-I; 2 - дополнительные магниты; 3-4 - линзы; 5-6 - система регистрации рассеянных электронов

магнитное поле в которых направлено в ту же сторону, что и в МД-I. Постановка этих магнитов позволяет регистрировать рассеянные электроны с меньшей потерей энергии и улучшает энергетическое разрешение. Полный угол поворота пучков в МД-I и дополнительных магнитах $16,5^\circ$. Вертикальная апертура ДМ позволяет регистрировать рассеянные электроны в угле ± 30 мрад.

Система камер между ДМ и первой линзой регистрирует рассеянные электроны с потерей энергии $8 \pm 50\%$ при $E = 7$ ГэВ и $5 \pm 50\%$ при $E = 3,5$ ГэВ. Камеры между первой и второй линзами регистрируют электроны с потерей энергии $5 \pm 20\%$ при $E = 7$ ГэВ и $3 \pm 20\%$ при $E = 3,5$ ГэВ.

На рис.8 показан магнитный детектор МД-I. Он представляет собой прямоугольный соленоид закрытого типа с полезными размерами $2,3 \times 2,3$ м², зазор 1,8 м. Для определения траектории и типа частиц будут использоваться координатные, ливнево-пробегные и мюонные пропорциональные камеры, а также газовые черенковские счетчики и сцинтилляционные счетчики. Траектория частиц и их импульс будут измеряться с помощью 30 координатных камер размерами $0,9 \times 1,0$ м², шаг проволочек 2 мм. Для измерения пробега частиц, а также регистрации γ -квантов и определения их энергии будут использоваться ливнево-пробегные камеры на основе пластин из нержавеющей стали. С целью экономии электроники сигнальные проволочки будут спаяны группами шириной ~ 10 см. Мюонные камеры находятся за обмоткой магнита, в ярме и за ярмом. Они предназначены для отбора частиц с большим пробегом.

Идентификация электронов с импульсом, большим 700 МэВ/с, производится с помощью ливнево-пробегных камер. При более низких энергиях используются газовые черенковские счетчики.

Отделение мюонов от адронов производится по измерению ионизационных потерь в сцинтилляционных счетчиках и пробега в ливнево-пробегных камерах. При энергии, превышающей 700 МэВ, мюоны выходят за обмотку магнита и регистрируются мюонными камерами.

Порог срабатывания черенковских счетчиков для пионов 700 МэВ/с, для каонов 2,5 ГэВ/с. При импульсах, меньших 700 МэВ/с, пионы и каоны разделяются по ионизационным потерям.

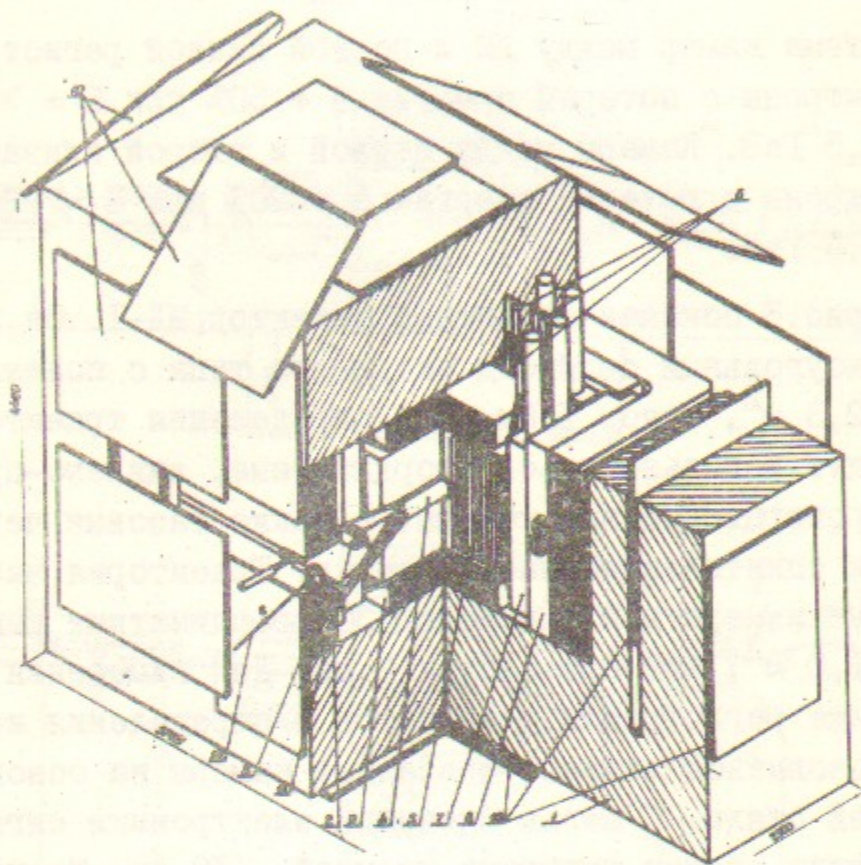


Рис. 8. Магнитный детектор МД-1:
 1 - ярмо магнита, 2 - медная обмотка,
 3 - вакуумная камера, 4 - цилиндрический
 сцинтилляционный счетчик, 5 - координатные
 пропорциональные камеры, 6 - сцинтилляцион-
 ные счетчики, 7 - газовый черенковский счет-
 чик; 8, 9 - ливнево-пробегные пропорциональные
 камеры, 10 - мюонные пропорциональные камеры;
 11 - пропорциональные камеры для регистрации
 рассеянных электронов на малый угол, 12 - элек-
 трон-позитронные встречные пучки.

Измерение светимости будет производиться по двойному тормозному излучению с помощью счетчиков полного поглощения, а также по рассеянию на малые углы с помощью пропорциональных камер, расположенных внутри МД-1.

Основные параметры МД-1 приведены в таблице 3.

В настоящее время магнит МД-1 (ярмо и катушка) находятся в производстве на Опытном заводе. Трудоемкость оценивалась 35 тыс. н/час. Стоимость на опытном заводе, включая стоимость материалов, 430 тыс. рублей.

Пропорциональные камеры находятся в стадии разработки. В 1973 г. была изготовлена опытная мюонная камера. После испытаний сделаны корректировки чертежей, летом 1974 г. будет изготовлена рабочая камера. При разработке ливнево-пробегных камер встретились серьезные технологические трудности в изготовлении пластин из нержавеющей стали с требованием на отклонение от плоскостности не более 0,1 мм. Есть надежды, что до конца 1974 г. будет изготовлена первая ливнево-пробегная камера. Координатные камеры находятся в стадии конструирования. По-видимому, первая координатная камера будет изготовлена в 1974 г. Ведется технологическая подготовка к производству большого количества камер: отрабатывается технология распайки проволочек и очистки камер, запускается станок для намотки больших камер и др.

Для работы с пропорциональными камерами по договору с нами завод в Павловском Посаде разработал интегральную схему усилителя-формирователя. В настоящее время идет испытание этих схем с камерами.

Первый образец газового черенковского счетчика был изготовлен в 1973 г. Измерение коэффициента светосбора, полученного с использованием краски с высоким коэффициентом отражения, показало, что на счетчике число ФЭУ может быть снижено до 4. Выбраны плексигласовые окна, которые должны работать при давлении 25 атмосфер. В 1974 г. будет изготовлен рабочий вариант счетчика.

Идет конструирование сцинтилляционных счетчиков. Изучаются вопросы экранирования ФЭУ сцинтилляционных и черенковских счетчиков от магнитного поля.

Общая трудоемкость работ по изготовлению пропорциональных камер, черенковских и сцинтилляционных счетчиков оценивается в 100 тыс. н/час.

Таблица 3

Основные данные детектора МД-1

Магнит

Полезный объем поля	- 9,5 м ³
Максимальное поле	- 16 кГс
Вес медной обмотки	- 40 т
Вес стали	- 400 т
Мощность при 16 кГс	- 3,5 Мвт

Пропорциональные камеры

Координатные размером 0,9x1,0 м ²	- 30 плоскост
Мюонные размером 1,3x1,6 м ²	- 80 плоскост
Ливнево-пробежные размером 1,7x0,7 м ²	- 100 плоскост
Число каналов электроники	- 20 тыс.

Газовые черенковские счетчики

Размеры	- 1,6x0,7 м ²
Давление этилена	- 25 атм
Порог для пионов (n = 1,02)	- 700 МэВ/с
Число счетчиков	- 8
Число ФЭУ 58ДВП	- 32

Сцинтилляционные счетчики

Цилиндрические	- 2
Плоские размером 0,5 x 1,0 м ²	- 12
Число ФЭУ 56 ДВП	- 28

Разрешение по импульсу

При 16 кГс и $p = 1 \text{ ГэВ/с}$ $\frac{\Delta p}{p} = 5\%$

Телесный угол

Регистрация частиц	- 0,85 x 4 π
С анализом по черенковским счетчикам	- 0,58 x 4 π

14. ВЭПП-4, КАК ИСТОЧНИК СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В связи с тем, что в последние годы резко возрос интерес к синхротронному излучению (СИ) со стороны химиков, биологов, физиков разных специальностей, рассматривается несколько вариантов вывода СИ из накопителя.

I. Пучок СИ выводится из плоской части стандартного магнита в месте стыковки полукольца с прямолинейным промежутком, аналогично тому, как это сделано на ВЭПП-3. Радиус кривизны 33 м, поле 6 кЭ при энергии 6 ГэВ. Это позволяет иметь фотоны с энергией 10 - 100 кэВ. Недостатком этого варианта является необходимость иметь длинный канал СИ.

II. Пучок СИ выводится из магнитного детектора МД-1, стоящего в центре экспериментального промежутка. Радиус кривизны 15 м; Это позволит иметь фотоны с энергией 10 - 300 кэВ (Рис.9). Каналы СИ будут иметь длину 5-10 метров. Для размещения аппаратуры, необходимой для работы с пучком СИ, имеется рабочая площадка ~ 50 м².

III. В экспериментальном промежутке может быть установлена система из трех, компенсирующих друг друга, сверхпроводящих магнитов (+ - +), практически не изменяющих характеристик магнитной системы накопителя. Радиус кривизны ~ 2 м при энергии 6 ГэВ и поле 100 кЭ. Это позволит иметь фотоны с энергией 10 кэВ-2 МэВ. Длина канала в этом случае может быть порядка 5 м. Для размещения аппаратуры имеется площадка ~ 20 м².

IV. В полукольце накопителя можно два стандартных магнита заменить на два коротких С-образных магнита и две короткие разрезные линзы, так чтобы в магнитах было поле 20 кЭ при энергии 7 ГэВ. Система может быть сделана так, чтобы не нарушить магнитной структуры накопителя. Рядом с туннелем полукольца сооружается специальный бункер с лабораторными помещениями необходимой площади. В бункер пучки СИ проходят по каналам длиной 5-20 метров. Основное преимущество этого варианта - уход из экспериментального промежутка и полная независимость работы с пучком СИ.

15. СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ

В настоящее время ведется монтаж дистилляторной на половинную мощность (5 Мвт), что связано с отсутствием насосов в нержавеющей исполнении. Ориентировочный срок запуска I-II квартал 1975 года.

В том же здании дистилляторной начаты работы по монтажу генератора ППС-6300 для питания магнита детектора МД-I. Ориентировочный срок запуска - 1975 г.

В здании дистилляторной предполагается также разместить порядка 25 шт. источников питания ПТН-100 (40 вольт, 2,5 кА), для чего необходимо построить антресоли и трансформаторную подстанцию № 7. Работы предполагается закончить в 1976 г.

Строительные работы в прямолинейном промежутке зд. I3 перенесены на 1975 г. Ориентировочный объем - 50 - 70 чел/мес.

Строительно-монтажные работы в прямолинейном промежутке зд. I5а выполнены на 50%. Монтаж линз может быть начат в 1974 г.

Большой строительной работой является пробивка отверстий в стене зд. I5а для размещения электронно-оптического канала ВЭШ-3 - ВЭШ-4, а также опор канала. В настоящее время закончено изготовление чертежей строительной части. Ориентировочная трудоемкость строительно-монтажных работ 4-6 чел/мес.

Большой строительной работой является изготовление кабельных каналов от дистилляторной и главной пультовой до I5 здания. Сейчас ведется проектирование. Ориентировочная трудоемкость 0,5 тыс. н/час.

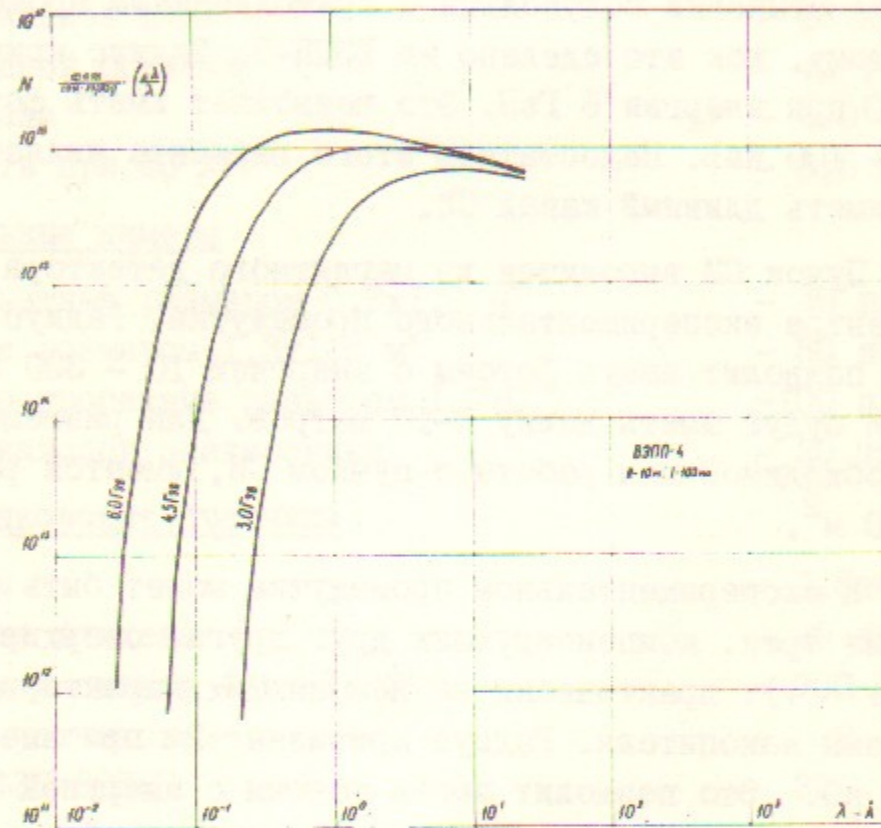


Рис.9. Интенсивность синхротронного излучения

16. ТРУДОЕМКОСТЬ И ПЛАНЫ

В таблице I приведены данные о трудоемкости работ. По механическим и радиомонтажным работам в графе "выполнено, сторонние организации" представлены данные о работах, которые выполнены или находятся в производстве. Оценка трудоемкости сделана в предположении производства этих работ в наших мастерских. Стоимость указанных работ, включая стоимость материалов, приведена в таблице 2.

В графах "осталось" приведены оценочные данные по трудоемкости работ, которые нигде не размещены.

В таблице 3 приведена оценка графика работ в оптимистическом варианте. Этот вариант предполагает, что с января 1975 года будет:

- а) производиться работ в ПТО на 35 тыс. н/час ежемесячно;
- б) работать 60 электромонтажников.

(В первом полугодии 1974 года на работы, связанные с ВЭШ-4, расходовалось в ПТО в среднем 12 тыс. н/час в месяц и практически не велось электромонтажных работ).

Как видно из графика, основная часть работ может быть закончена в 1976 году. Эксперименты на энергии до 5 ГэВ могут начаться в 1977 году. Эксперименты на энергии 7 ГэВ можно начать в 1978 году.

При этом предполагается, что будет решена проблема получения позитронного тока порядка 1А и создана ВЧ-система мощностью несколько мегаватт.

Таблица I

ТРУДОЕМКОСТЬ РАБОТ

(тыс. н/час)

Участок работы	Механич.			Радиомонтаж.			Эл.монт.		Мех.монт.	
	выполн.		ост.	выполн.		ост.	выполн.	ост.	выполн.	ост.
	ПТО	стор. орг.		ПТО	стор. орг.					
I	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Полукольца	300	25	20	5			5	20		
2. Промежуток I5 корпуса	50	15	80					30		
3. Промежуток I3 корпуса		15	120					30		
4. ВЧ-система:	35		40					10		
а) 5 ГэВ	160	90	40					5		
б) 7 ГэВ гироскоп			(200)					(50)		
(7 ГэВ на триодах)										
5. Позитронн. линейн. ускор. (1ма) напленок (20ма)			(40)					(5)		100
6. Капалы	5		40			15		15		
7. Инжекция	2		5							
8. Набл. за пучком и корр. орбиты	2	20	10	9	25	25		40		
9. Пультовая	5		10			10		80		
10. Силовые питания	15	50	85		50	60	20	50		
11. Детектор МД-I	10	35	120	3	25	20		80		20
12. Резерв			160							
Итого:	584	250	720	12	100	130	25	360	5	120
		834								

Таблица 2

Работы сторонних организаций
(изготовлено или находится в производстве)

Н а р в а:	Тыс. рублей
Линзы	308
Насосы	214
Усилители кор.орбиты	200
	<hr/> 722
<u>Опытный завод:</u>	
Магнит МД-1	430
Резонаторы 8 шт.	464
Прочее	55
	<hr/> 949
<u>Т а л л и н:</u>	
Тиристорные преобразователи	980
<u>Павлово-Посад:</u>	
Интегральные схемы для МД-1	160
<u>Строительные работы:</u>	
Тоннель	300
Дистилляторная	300
Здание I5A	470
	<hr/> 1070
И Т О Г О:	3881

ПЛАН РАБОТЫ
(оптимистический вариант^{х)})

Таблица 3

Участок работы		1974	1975	1976	1977	1978	1979
I. Полукольца	конс. изг. нал.						
2. Пром. I5 корпуса	конс. изг. нал.						
3. Пром. I3 корпуса	конс. изг. нал.						
4. ВЧ-система: 5 ГэВ 7 ГэВ	конс. изг. нал.						
5. Каналы	конс. изг. нал.						
6. Инжекция	конс. изг. нал.						
7. Силовые питания	конс. изг. нал.						
8. Наблюдение за пучком и коррекция орбиты	конс. изг. нал.						
9. Получение позитронов: линейный ускорит (IмА ВЧ)	конс. изг. нал.						
10. Детектор МД-1	конс. изг. нал.						
II. Работа с 2 пучками	конс.						
12. Эксперименты							

х) С января 1975 г. выделяется 35 тыс.н/час. ПТО ежемесячно и работает 60 электромонтажников.

Ответственный за выпуск Г.А.СПИРИДОНОВ

Подписано к печати 25.X-74г. МН 08535

Усл.4,3 печ.л. Тираж 200 экз. Бесплатно

Заказ № 84

Отпечатано на ротапринте в ИЯФ СО АН СССР, МП