

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ  
И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КОМИТЕТ ПО ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

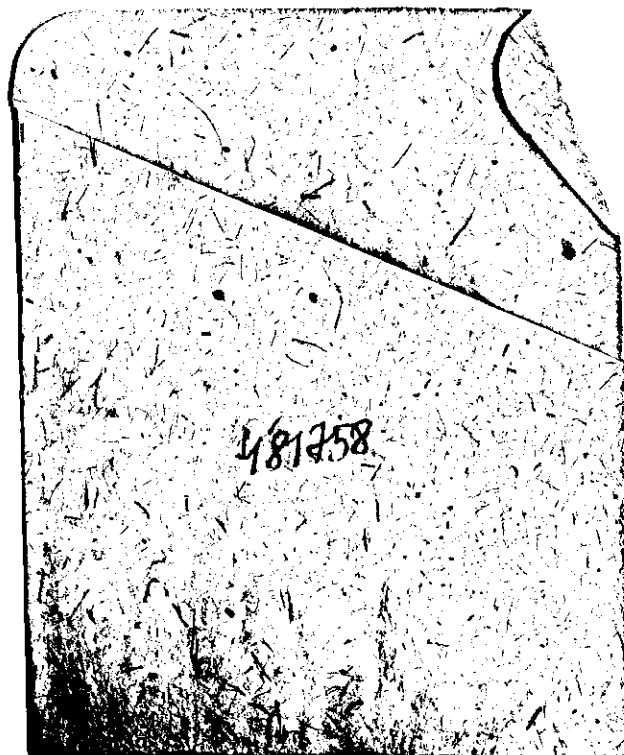
МАТЕРИАЛЫ  
XXX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

"Студент  
и научно-технический прогресс"

ФИЗИКА

НОВОСИБИРСК

1992



УДК 537  
ББК 574/578

Материалы XXX Международной научной студенческой конференции: Физика / Отв. ред. А.Е.Зарвин; Новосиб. ун-т. Новосибирск, 1992. - 108 с.

ISBN 5-230-13522-0

В настоящий сборник включены лучшие работы студентов различных вузов, отмеченные дипломами XXX Международной научной студенческой конференции (7 - 9 апреля 1992 г.), ежегодно проводимой в Новосибирском государственном университете.

Публикуемые работы представляют интерес для студентов и специалистов-физиков.

Ответственный редактор  
А.Е.Зарвин



ISBN 5-230-13522-0

© Новосибирский государственный университет, 1992

А.В.Волосов

Новосибирский университет, Россия

## УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНА НА ПОЛЯРИЗОВАННОМ КАЛИИ-39

### Введение

Одной из задач современной ядерной физики является исследование электромагнитной структуры ядра. Функциями, характеризующими пространственное распределение заряда в ядре, а также электрических и магнитных мультипольных моментов, являются электромагнитные формфакторы. Индивидуальные формфакторы ядра обеспечивают наиболее полное описание его внутренней электромагнитной структуры. Электронное рассеяние на ядрах можно считать наилучшим способом для экспериментального определения формфакторов. Рассеяние электрона может быть рассмотрено как без учета поляризации ядра, так и с ее учетом. Без ядерной поляризации, как известно, можно с помощью процедуры Розенблюта разделить в упругом процессе лишь сумму квадратов кулоновских формфакторов четной мультипольности и сумму квадратов магнитных формфакторов с нечетной мультипольностью. Полное разделение мультиполей становится возможным только при наличии ядерной поляризации, когда появляется возможность выделить в дифференциальном сечении рассеяния электронов интерференционные комбинации различных формфакторов.

Известно, что базой практически всех реалистических расчетов свойств сложных ядер служит картина среднего ядерного поля, имеющая множество различных модификаций /1/. Обсуждаемое разделение формфакторов даст возможность произвести более аккуратную количественную проверку картины среднего поля. На первом этапе наиболее подходящими для этого ядрами представляются ядра с одной квазичастицей или квазидыркой на фоне двадцати магического остова (например  $^{39}\text{K}$ ).

### I. Сечение процесса

Рассмотрим сечение упругого рассеяния неполяризованного электрона на ядре  $^{39}\text{K}$ , имеющего спин  $J = \frac{3}{2}$  (в однофотонном

борновском приближении). Согласно /2/, сечение дается формулой:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \sum_0 (1 + P_2(\cos\theta') R_2^0 + P_2^1(\cos\theta') \cos\psi' R_2^1 + P_2^2(\cos\theta') \cos 2\psi' R_2^2),$$

где  $\Sigma_0$  - сечение рассеяния на неполяризованном ядре,  $P_2(\ )$  - полином Лежандра,  $P_2^1(\ )$  и  $P_2^2(\ )$  - присоединенные полиномы Лежандра,  $\theta'$  - угол между осью поляризации и направлением переданного импульса,  $\psi'$  - угол между плоскостью рассеяния и плоскостью, в которой лежит ось поляризации и направление переданного импульса. Из формулы для сечения видно, что, выбирая определенным образом углы ( $\theta' = \arccos(1/\sqrt{3}) \approx 55^\circ$ ,  $\psi' = 90^\circ$ ), можно занулить второе и третье слагаемые, оставив только член, содержащий  $R_2^2$ .

$$R_2^2(q, \theta_e) = \frac{1}{3} \cdot f_2 \cdot (F_1^2(q) - F_3^2(q) + F_1(q) F_3(q) / \sqrt{6}) / F^2(q, \theta_e),$$

где  $q$  - переданный импульс,  $\theta_e$  - угол рассеяния электрона ( $\theta_e$  в эксперименте будет равен  $90^\circ$ ). Величина  $F^2(q, \theta_e)$  есть

$$F^2(q, \theta_e) = F_0^2(q) F_2^2(q) + (1/2)(F_1^2(q) + F_3^2(q)).$$

Величины  $F_0$  и  $F_2$  есть монополюсный ( $l0$ ) и квадрупольный ( $l2$ ) зарядовые формфакторы, а  $F_1$  и  $F_3$  - дипольный ( $M1$ ) и октупольный ( $M3$ ) магнитные формфакторы соответственно. Комбинации  $(F_0^2 + F_2^2)$  и  $(F_1^2 + F_3^2)$  в настоящее время измерены. Величина  $f_2$  есть тензор Яно второго порядка, равный при  $J = \frac{3}{2}$

$$f_2 = \frac{1}{2} (P_{3/2} - P_{1/2} - P_{-1/2} + P_{-3/2}).$$

где  $P(M_j)$  обозначает заселенности магнитных подуровней ядра мишени. Для стопроцентной поляризации  $f_2 = \frac{1}{2}$ , а в случае неполяризованных ядер  $f_2 = 0$ . Из этого сразу можно сказать, что, изучая рассеяние электрона на поляризованной и неполяризованной мишенях, мы будем иметь для них некоторую разность в скоростях счета. Эта разность позволяет определять комбинацию  $M1$  и  $M3$  формфакторов, необходимую для их разделения.

## 2. Расчет эксперимента

### а) Общая схема эксперимента.

Для проведения эксперимента будет использован накопитель электронов НЭП ИЯФ, имеющий диапазон по энергии от 100 до 230 МэВ

и средний ток пучка 1 А /3/. Периодичность ишикации в накопителе одна секунда. В качестве сверхтонкой внутренней мишени предполагается использовать пары калия с толщиной приблизительно  $10^{13}$  атомов/см<sup>2</sup>. Для поляризации ядер будет использована оптическая накачка циркулярно поляризованным светом лазера. Для регистрации рассеянных электронов будет применяться магнитный спектрометр НИКХФ с разрешением по импульсам 0,1 % /4/.

### б) Разность скоростей счета.

Важным является вопрос об оценке разности скоростей счета, которую определим следующим образом:

$$A = [(N_1 - N_2) / N_1] \cdot 100\%,$$

где  $N_1$  - скорость счета для неполяризованной, а  $N_2$  - для поляризованной мишени. Здесь и далее поляризация считается 100%-й (т.е. тензор Яно  $f_2 = \frac{1}{2}$ ). Необходимые для вычисления  $A$  зависимости  $F_1$  и  $F_3$  от переданного импульса взяты из расчетов, приведенных в работе /2/. Зависимости  $F_0$  и  $F_2$  от переданного импульса предоставлены В.Б.Телигиным\*. График зависимости разности скоростей счета от переданного импульса для  $\theta_e = 90^\circ$  приведен на рис. 1, где эта зависимость приведена также и для углов рассеяния 20 и 45<sup>o</sup>.

Схематически условия для определения формфакторов  $F_1$  и  $F_3$  могут быть записаны в виде

$$\begin{cases} F_1^2 - F_3^2 + F_1 F_3 / \sqrt{6} = (1 - N_2 / N_1) \cdot f(q, \theta_e, \psi', \theta') = a, \\ F_1^2 + F_3^2 = b, \end{cases}$$

где  $f(q, \theta_e, \psi', \theta')$  - известная функция переданного импульса и углов;  $b$  также уже известная из эксперимента функция. Решение системы сводится к квадратному уравнению относительно  $F_1^2$  или  $F_3^2$ .

### в) Необходимая статистика.

Считая, что ошибка в определении величины  $a$  является чисто статистической, можно получить приблизительное число событий, необходимое для определения  $F_1$  или  $F_3$  с заданной точностью. Среднеквадратичная ошибка определения разности скоростей сче-

\* Частное сообщение.

та есть  $2/\sqrt{N}$ , где  $N = N_1 + N_2$  — полное число событий, полученных на поляризованной мишени ( $N_2$ ) и на неполяризованной ( $N_1$ ). Относительная ошибка определения разности скоростей счета связана с относительной ошибкой  $F_1$  (обозначим ее через  $R_1 = \sigma_{F_1}/F_1$ ) соотношением:

$$\sigma_A/A = 2/\sqrt{N} = [(4F_1 + F_3/\sqrt{6} - F_1^2/(\sqrt{6} \cdot F_3)) / (F_1^2/F_3 + F_3/\sqrt{6})] \cdot R_1 = C_1 \cdot R_1$$

Для  $F_3$  (относительную ошибку которого обозначим через  $R_3 = \sigma_{F_3}/F_3$ ) подобное соотношение будет следующим:

$$\sigma_A/A = 2/\sqrt{N} = [(-4F_3 + F_1/\sqrt{6} - F_3^2/(\sqrt{6} \cdot F_1)) / (-F_3 + F_1^2/F_3 + F_1/\sqrt{6})] \cdot R_3 = C_3 \cdot R_3$$

Из этих выражений получается число событий, необходимое для определения каждого из факторов с заданной точностью, т.е.

$$N_{F_1} = 4/(A \cdot C_1 \cdot R_1)^2, \quad N_{F_3} = 4/(A \cdot C_3 \cdot R_3)^2$$

Зависимость статистики (необходимой для определения факторов с точностью 10%) от переданного импульса приведена на рис. 2:

г) Время проведения эксперимента.

Предполагаемая толщина мишени составляет  $10^{13}$  атомов/см<sup>2</sup>. Ток пучка накопителя приблизительно равен 1А. Следовательно, ожидаемая светимость порядка  $10^{32}$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>. Исходя из такой светимости, телесного угла спектрометра и, вычисляя сечение процесса, можно рассчитать скорость и полное время  $T$  набора статистики. График зависимости времени  $T$  от переданного импульса приведен на рис. 3. Точность определения факторов предполагалась равной 10%. На графике приведены зависимости  $T$  для разных углов  $\theta_c$  и отмечено горизонтальной линией время проведения эксперимента, равное 100 ч. Поляризация мишени считается, как уже говорилось выше, 100%. Из графика видно, что разумный с точки зрения времени проведения эксперимента диапазон по  $q$  есть  $(1-1,5) \text{ fm}^{-1}$ .

3. Спектрометр электронов.

Для постановки эксперимента нужен детектор с высоким разрешением по энергии регистрируемых электронов. Это необходимо для отделения упругих событий от неупругих. Первый возбужденный

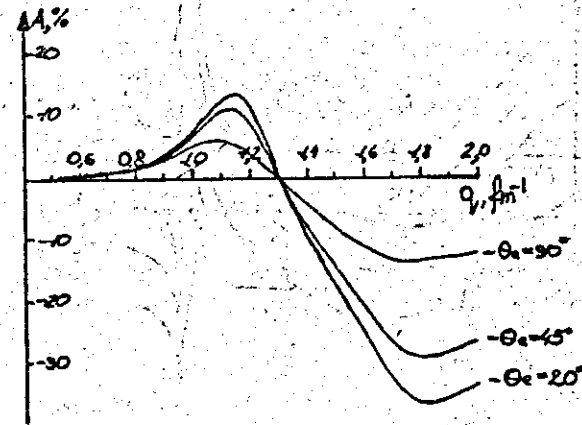


Рис. 1 Разность скоростей счёта  $\Delta$  для поляризованной и неполяризованной мишени в зависимости от переданного импульса. Степень поляризации предполагалась равной 100%

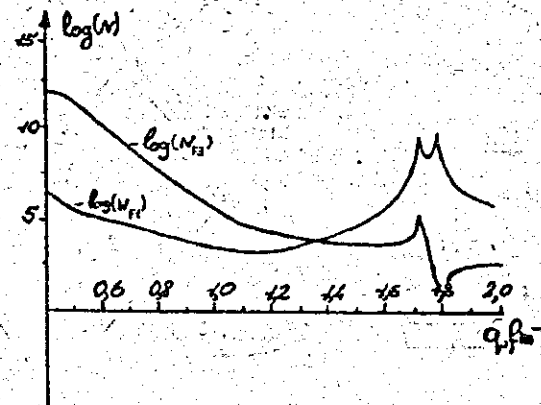


Рис. 2 Число событий, необходимое для определения факторов  $F_1$  и  $F_3$  с точностью 10%, в зависимости от переданного импульса

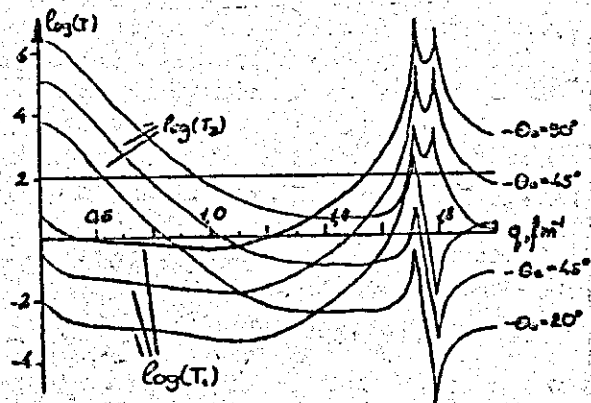


Рис. 3 Время проведения эксперимента, необходимое для определения формфакторов  $F_1$  и  $F_2$  с точностью 10% в зависимости от переданного импульса.

Характеристики спектрометра:

- телесный угол - 6 ср;
- разрешение по импульсам - 0,1 %;
- диапазон по импульсам - 3 %;
- максимальное поле на центр. орбите - 12,5 кГс (240 МэВ/с);
- вес - 7 т;
- максимальный ток - 450 А

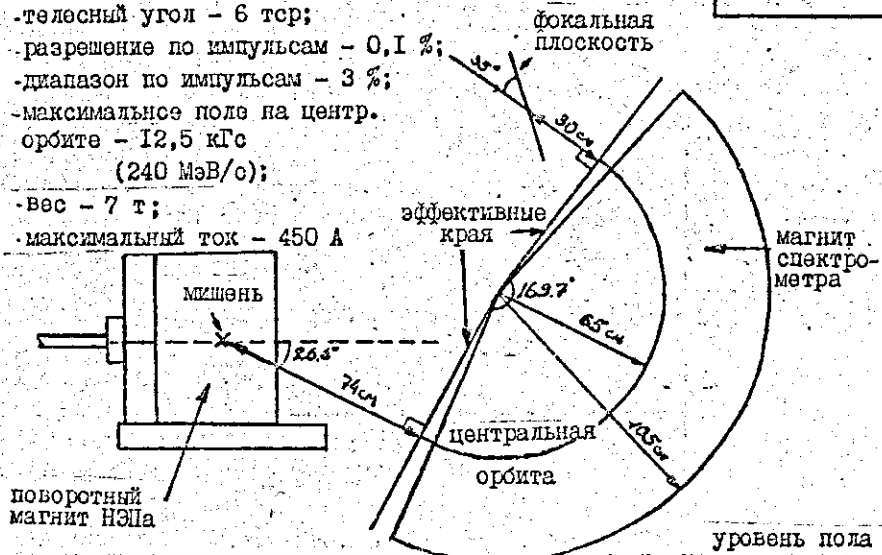


Рис. 4. Общий вид и схема расположения спектрометра

уровень ядра  $^{39}\text{K}$  отстоит от основного состояния на 2,5 МэВ, что составляет приблизительно 1 % от энергии упруго рассеянного электрона. Магнитный спектрометр, применяемый в эксперименте, имеет разрешение 0,1 % (полная ширина на полувысоте), что позволяет с достаточной точностью выделять упругие события. Энергетический акцептанс спектрометра равен 3 % /3/.

Спектрометр обладает двойной фокусировкой, т.е. монохроматические электроны, вылетевшие из точечного источника на центральной орбите с определенного расстояния от входного окна (74 см), фокусируются в его фокальной плоскости в одну точку. Двойная фокусировка достигается за счет выбора расстояний мишень-магнит, магнит-фокальная плоскость, а также поворотного угла и угла, задающего ориентацию фокальной плоскости (рис. 4). Кроме этого, необходима специальная конфигурация поворотного магнитного поля, которая задается следующим образом:

$$B_z(r) = B_z(r_0) \left[ 1 - 0,5 \left\{ \frac{r-r_0}{r_0} \right\} + 0,25 \left\{ \frac{r-r_0}{r_0} \right\}^2 \right],$$

где  $r_0$  - радиус центральной орбиты, который равен 65 см. Максимально достижимая напряженность магнитного поля на центральной орбите спектрометра равна 12,5 кГс, что соответствует импульсу 240 МэВ/с. Двойная фокусировка позволяет определять импульс электрона по координате пересечения им фокальной плоскости (в ней находится плоскость дрейфовой камеры, которая измеряет эту координату) без привлечения какой-либо другой информации. Другим достоинством двойной фокусировки является сравнительно большой для магнитных спектрометров входной телесный угол -  $6 \cdot 10^{-3}$  ср.

Заметим также, что использование спектрометра с большим поворотным углом позволяет сильно уменьшить количество фоновых событий по сравнению с другими типами детекторов.

#### 4. Состояние работы.

- 1) Предложена схема эксперимента по измерению магнитных факторов ядра со спином  $\frac{3}{2}$  ( $^{39}\text{K}$ ,  $^{23}\text{N}$  и ряд других).
- 2) Проведены необходимые расчеты для постановки эксперимента по упругому рассеянию электронов на поляризованном  $^{39}\text{K}$ .
- 3) Подготовлены к эксперименту магнитный спектрометр и система регистрации спектрометра, включающая в себя дрейфовую камеру, систему сбора информации и программное обеспечение.

#### Библиографический список

1. Бор О., Моттельсон Б. Структура атомного ядра. М.: Мир, 1971.
2. Donnelly T.W., Raskin A.S. Consideration of polarization in inclusive electron scattering from nuclei // Annals of physics, 1986.
3. Войцеховский Б.Б. и др. Накопитель электронов для экспериментов на внутренней ядерной мишени. Новосибирск, 1985. (Препринт/ИЯФ; 85-41).
4. De Jager C.W. et al. The magic-angle electron spectrometer at Amsterdam. NIM, 74 (1969) 15.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук Б.Б.Войцеховский

Р.Г.Громов

Новосибирский университет, Россия

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАКОПИТЕЛЯ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ (НЭП)

В Институте ядерной физики создан Накопитель Поляризованных Электронов (НЭП). Он предназначен для проведения экспериментов с использованием сверхтонкой внутренней мишени в диапазоне энергий от 120 до 220 МэВ. Инжекция электронов осуществляется синхротроном БЭМ. Пучок электронов проходит по каналу и подается на кольцо накопителя. Внутри кольца вводится сверхтонкая мишень, на которой проводится эксперимент по рассеиванию электронов. Частота обращения пучка на кольце - 52,5 МГц. Время жизни пучка внутри кольца накопителя составляет от сотен миллисекунд до десятков минут (в зависимости от характера внутренней ядерной мишени).

Задача по автоматизации установки, таким образом, состоит из двух частей:

- а) обеспечение прохождения пучка по каналу от комплекса БЭМ до кольца накопителя;
- б) захват пучка на кольце и удержание его на стационарной орбите.

#### Импульсная система управления каналом

Для коррекции и фокусировки пучка в канале служат импульсные элементы (линзы и корректоры). Напряжение на них подается от разработанной в ИЯФ импульсной установки "Аккорд". Запуск "Аккорда" происходит за 0,1 - 0,8 мс до пролета пучка (в зависимости от параметров нагрузки). За это время на всех импульсных элементах магнитное поле достигает своего максимального значения. В момент пролета пучка происходит считывание токов с контрольных витков импульсных элементов. Одновременно контролируется напряжение на каждом канале "Аккорда" до выстрела.

Для контроля за пролетом пучка по каналу служат однопролетные двухкоординатные сеточные датчики. При пролете электронов через датчик на его сигнальных электродах появляются определенные заряды. Эти заряды приводят к изменению напряжений на

входных емкостях блока ИПП (блок для измерения параметров пучков заряженных частиц), оцифровываются встроенным в блок АЦП, читаются ЭВМ и после соответствующей обработки выводятся на экран оператора в виде графика "координата/заряд".

#### Система постоянной коррекции на кольце

Система постоянной коррекции обеспечивает существование пучка внутри кольца НЭП. Она включает в себя четыре больших поворотных квадранта и систему квадрупольных линз и корректоров на промежутках между ними. Питательное напряжение для поворотных квадрантов подается от установки "ИСТР" и составляет 1,8 кА постоянного тока. Поэтому при управлении поворотными магнитами необходимо избегать скачкообразного изменения рабочего тока. Для этого при изменении оператором питающего тока новое значение заносится в блок, управляющий рабочим током "ИСТРа", не сразу, а изменяется плавно. Это позволяет избежать резкого перепада тока на установке, которое особенно значительно при включении накопителя или перезагрузке режима в работающей системе. Для контроля за пучком на кольце используется феррозонд. Он измеряет средний ток электронов в пучке с временным разрежением 100 мс.

#### Программное обеспечение

Программное обеспечение комплекса НЭП создано на базе микро-ЭВМ "Одренок". Так как операционная система "ODOS" поддерживает многопрограммный режим, все программное обеспечение комплекса состоит из нескольких частей:

- а) программа, контролирующая работу импульсных элементов канала;
- б) программа, управляющая работой блоков ИПП;
- в) программа, позволяющая оператору управлять работой всех элементов комплекса, сохранять на электронном диске с последующей перезаписью на жесткий диск режим работы всего комплекса, а также устанавливать работающий комплекс в любой ранее записанный режим;
- г) файлы данных, где хранятся режимы работы комплекса и файл с описанием системы, позволяющий оперативно менять конфигурацию системы;

д) программа, управляющая высокочастотной системой накопителя;

е) программа, измеряющая данные с феррозонда (средний ток пучка на кольце накопителя за  $O, I$  с);

ж) программа по управлению устройствами контроля положения пучка в кольце накопителя (телекамеры, пробники).

Многопрограммность существенно упростила задачу по организации контроля за работой комплекса. Например, программа по контролю за элементами канала должна запускаться на измерение выходных напряжений "Аккорда" непосредственно перед срабатыванием всех импульсных элементов. После пролета пучка она также считывает данные контроля срабатывания импульсных элементов. Программа по контролю за ИПП должна считывать данные с сетчатых датчиков после их оцифровки, а измерение данных с феррозонда происходит несколько раз в промежутке между инжекциями пучка (рис. 3). Контроль элементов постоянной коррекции на кольце осуществляется только при изменении режимов их работы или по запросу оператора.

Основной поток информации идет через программу контролирующую работу элементов канала. Она принимает оцифрованные данные от измерительных блоков и других программ, проводящих измерения в течение рабочего цикла, нормирует эти данные и выводит на пульт оператора. Запуск блоков, управляющих работой импульсных элементов, синхронизован с пролетом пучка. Во время их срабатывания попытка записи в некоторые блоки может привести к сбою обмена. Поэтому управление работой импульсных элементов также идет через программу, контролирующую работу канала (рис. 2). Ее работа синхронизована с пролетом пучка. Это позволяет избежать обращения к блокам в период их срабатывания.

Межпрограммный обмен организован по принципу "почтового ящика" и осуществляется при помощи системного пакета "DAY/VERY". Он позволяет область оперативной памяти, где хранятся данные программы, делать доступной для чтения и записи из других программ. При попытке чтения из программы, где область памяти не открыта для чтения, команда игнорируется, и работа процессора не прерывается.

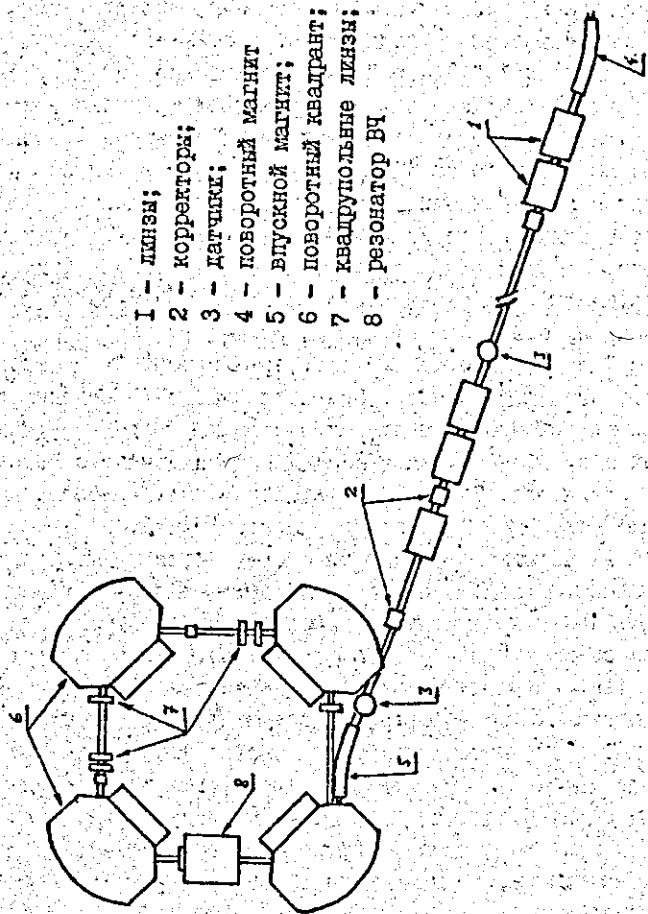


Рис. 1. Схема комплекса НЭП

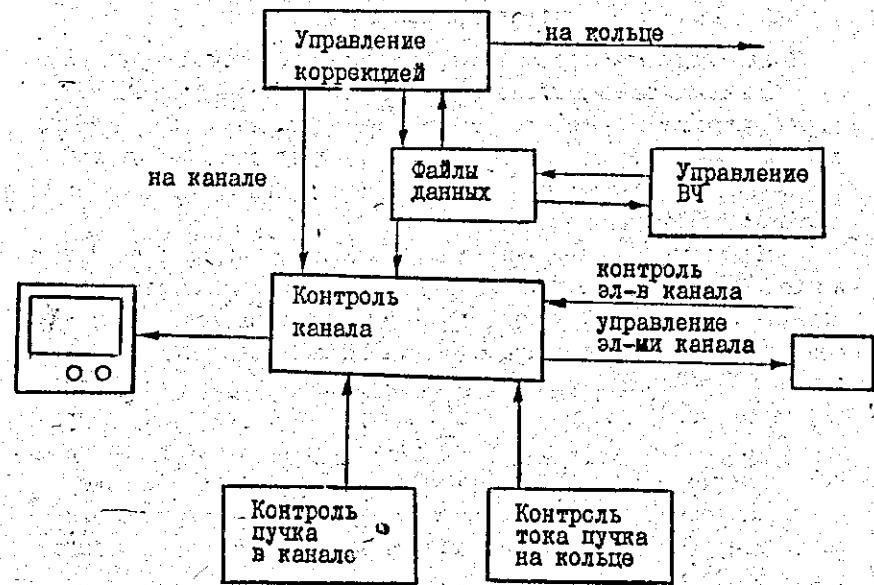


Рис. 2. Блок-схема взаимодействия программы

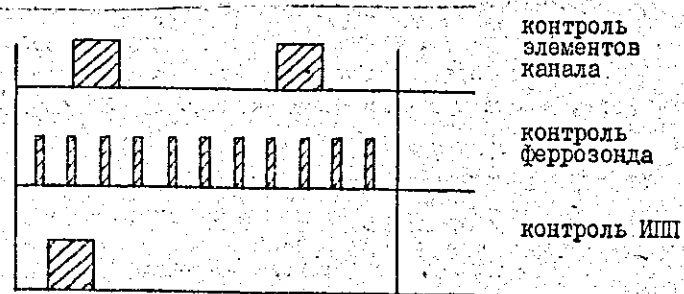


Рис. 3. Временные диаграммы работы программы



### Некоторые особенности создания программ

Когда программист создает программное обеспечение, он обычно учитывает, во-первых, что пользователям малоинтересна структура программ; во-вторых, что интерфейс должен быть ориентирован на разный уровень пользователей и, в-третьих, - отзывы пользователей появляются после окончательного завершения программного продукта.

Программное обеспечение комплекса НЭП создавалось параллельно со сборкой установки. Несмотря на то что накопитель уже работает, он в дальнейшем будет еще модифицироваться, в частности, планируется нарастить мощность высокочастотной системы, будет совершенствоваться система постоянной коррекции на кольце; кроме того, при усложнении эксперимента, возможно, потребуются включение дополнительных элементов контроля и управления, а также использование второй ЭВМ. Это требует от текста программ возможности быстрого и безболезненного наращивания дополнительных возможностей. Для облегчения этой задачи была реализована многопрограммность.

Второй особенностью было то, что круг пользователей небольшой, заранее известен уровень их требований к интерфейсу. Это позволило сократить до минимума выводимые сообщения. Причем настолько, что вся информация практически помещается на одном ЦДР. Это удобно тем, что внимание пользователя не рассеивается, он быстрее реагирует на какие-либо изменения в работе системы. Кроме того, все программы создавались при постоянном контакте с потенциальными пользователями. В процессе их создания учитывались основные требования и пожелания по организации пользовательского интерфейса.

### Библиографический список

1. Войцеховский Б.Б., Кооп И.А., Лазаренко Б.А., Николенко Д.М. Накопитель электронов для экспериментов на внутренней ядерной мишени. Новосибирск, 1985. (Препринт/ИЯФ).
2. Купер Э.А., Редков В.В., Трезубов О.П. Блок для измерения параметров пучков заряженных частиц (ИШП-32М). Новосибирск, 1983. (Препринт ИЯФ: 83-45).

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук Е.П.Центалович

С.П.Ковалев

Новосибирский университет, Россия

NEWS COMMANDER - КЛИЕНТ МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕТИ НОВОСТЕЙ

В 1992 г. в Институте ядерной физики появился удаленный узел международной сети новостей. Несколько слов о том, что это означает.

Международная система новостей является одним из представителей прикладного уровня TCP/IP. Она возникла в США в 80-х годах и мыслилась как аналог системы электронной почты с тем исключением, что адресатом посланного через нее сообщения является не конкретный пользователь, а целая международная сеть. Соответственно это сообщение (или статья) доступно всем пользователям сети - оно становится новостью. Любой пользователь может представить в сеть новостей любое сообщение (статью), правда, срок ее жизни ограничен четырьмя - пятью днями. Статьи упорядочены в группы (по смыслу), причем названия групп имеют определенный синтаксис: ряд слов, все более уточняющих смысл содержащихся в группе статей, разделенных точками (например, COMP. OS.VMS - группа, содержащая статьи по ОС VAX/VMS, или COMP.PROTOCOLS.TCP-IP.IBMPC - статьи о реализации протоколов TCP/IP для персональных компьютеров).

Реально в сети новостей имеются машины-серверы (узлы), поддерживающие ОС UNIX, на дисках которых хранятся статьи. Эти серверы непрерывно взаимодействуют между собой, так что в каждый момент во всем мире имеется полная информация о новостях. В СНГ имеется один такой сервер - неизвестный RELCOM (Москва). Начиная с этого года Институт ядерной физики регулярно получает оттуда списки вновь появившихся там статей; посылая специальный запрос с указанием номеров нужных статей в этих списках, можно получить статьи; представление статей в сеть новостей осуществляется также через RELCOM. Таким образом, наш компьютер IBM PC/AT-386 с ОС INTERACTIVE UNIX оказался "удаленным узлом" сети новостей.

Возникла задача обеспечения взаимодействия этого узла с пользователями локальной институтской сети. Это взаимодействие, естественно, базируется на TCP/IP и реализуется с помощью

прикладного протокола NNTP ( Network News Transfer Protocol - протокол передачи сетевых новостей) по схеме клиент-сервер (пассивный сервер под ОС UNIX и активный клиент под ОС пользователя). Нам удалось создать клиентскую программу для ОС VAX/VMS - NEWS COMMANDER.

Концептуально эта программа представляет собой интегрированную среду. В процессе ее создания был накоплен оригинальный опыт разработки многооконного экранного интерфейса типа "интегрированная среда" для ОС VAX / VMS - прецедентов почти нет. Имеются следующие окна:

- список групп новостей, представленный в виде дерева (GROUP TREE); хотя сам синтаксис названий групп подсказывает такое представление, оно не было реализовано в других известных нам клиентах сети новостей; пользователь может пометить некоторые группы как интересующие его более остальных, избавляясь от работы в большом дереве всех групп;

- список статей, находящихся в какой-либо группе (ARTICLE LIST); при отображении списка учитывается, что некоторые статьи были прочитаны пользователем ранее и не должны "мозолить ему глаза" (одной из особенностей реализации удаленного узла сети новостей является присвоение каждой статье уникального номера, и NEWS COMMANDER ведет базу данных прочитанных пользователем статей, регистрируя эти номера);

- содержимое статьи (ARTICLE VIEW); поддерживаются все стандартные для утилит просмотра возможности - контекстный поиск, сохранение статьи в файле, перекодировка русских букв (из стандартного для ОС VAX/VMS кода КОИ-8 в так называемую альтернативную кодировку для персональных компьютеров и обратно); если просматриваемая статья представляет собой список статей, пришедший из REISCOM, можно просто отметить нужные статьи в этом списке, и запрос на них уйдет автоматически;

- редактор ответов (REPLY EDITOR), позволяющий сформировать ответ на статью и послать его автору; естественно, можно послать любое сообщение по любому адресу, а также редактировать текстовые файлы; допускается представление в наш удаленный узел сети новостей локальной новости, известной только в институте.

Специальное окно отведено под контекстно-ориентированную подсказку (HELP).

Архитектурно в программе каждому окну соответствует объект (в смысле объектно-ориентированного программирования), эмулированный на классическом языке Си. Экранный интерфейс базируется на стандартной библиотеке VMS RTL SCREEN MANAGER, реализующей псевдографику на алфавитно-цифровых терминалах фирмы EC (серии VT) и их эмуляторах.

Маленький пример применения международной системы новостей: кусочек программы NEWS COMMANDER, а именно утилита просмотра статей, была реализована как отдельный программный продукт для быстрого просмотра содержимого файлов ОС VAX/VMS (Fast file viewer LOOK) и распространена через сеть новостей по всему миру. Ныне тексты этого продукта находятся на файловом сервере университета Западного Кентукки (США), и он успешно работает в США, Германии, Нидерландах... и в ИЯФ.

Научный руководитель - научный сотрудник ИЯФ СО РАН  
Ю.В. Долгов

С.Д. Куницын

Московский университет, Россия

ОБ ЭФФЕКТЕ САМООТРАЖЕНИЯ СВЕТОВОГО ПУЧКА  
В СРЕДЕ С КЕРРОВСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

В настоящее время изучены многие закономерности самовоздействия световых пучков и импульсов в различных нелинейных средах. Однако интерес к этой проблеме не уменьшается из-за его многочисленных проявлений в различных задачах лазерной физики и техники.

При самофокусировке показатель преломления модулируется не только в поперечном направлении, но и в продольном; таким образом, нелинейная среда обладает неоднородностью вдоль оси распространения. Известно, что в линейных средах с такой неоднородностью возникает отражение /2/. Подобный подход, как показано в настоящей работе, можно распространить на нелинейные среды. Таким образом, речь идет об описании нового нелинейного эффекта - самоотражения пучка от нелинейного фокуса в среде с кубичной нелинейностью /6/.

Здесь безразмерные переменные  $\tilde{r} = r_i/R$  и  $\tilde{\varphi} = (\varphi - \varphi_i)$ , по которым ведется интегрирование, определяют координаты элементов тока,  $\tilde{K} = R_c/R$ , а  $\tilde{J}(\tilde{r}, \tilde{\varphi}_i) = R^2 j(\tilde{r}, \varphi_i)/I$ , причем  $\int \int j(\tilde{r}, \varphi_i) \tilde{r} d\tilde{r} d\tilde{\varphi}_i = 1$ .

5. Для того чтобы оценить порядок величин поправок, связанных с несимметрией тока, по полученным формулам были проведены их численные расчеты на РС IBM/AT для двух простейших модельных функций, а также для распределения, которое моделировалось наблюдавшееся в эксперименте [2].

Результаты представлены на рис. 2. Вверху приведены величины  $q_r$  и  $q_\varphi$  для линейного тока (двумерная  $\delta$ -функция), текущего на расстоянии  $r$  от оси. Видно, что основной вклад в поправку вносит коэффициент  $q_\varphi$ , причем его величина может достигать 3. Внизу показаны те же коэффициенты для более сложного распределения - сегмента кольца с однородным током с минимальным и максимальным радиусами  $r_{min}$  и  $R_{max}$  и угловым размером  $\Delta\varphi$ . В этом случае величина поправки меньше и сильно зависит от степени несимметрии тока.

Таким образом, представленные расчеты показывают, что если при вычислении диамагнетизма не учитывать поправку к парамагнетизму, связанную с неоднородностью протекающего по плазме тока, то результат может содержать значительную ошибку, занижая действительное значение диамагнетизма плазмы. Следовательно, при обработке данных, полученных магнитными зондами, необходимо пользоваться выражениями (II), (I2). В частности, при обработке данных упомянутых ранее экспериментов на установке У-1-СПИН, учет неоднородностей, наблюдавшихся на начальной стадии разряда, дает поправку к парамагнетизму около 15 %.

#### Библиографический список

1. Князев Б.А., Мальников П.И., Чижиков В.В. Транспортировка 100-кДж микросекундного РЭП через газ и плазму в сильном магнитном поле // Физика плазмы, 1990. Т. 16, вып. 12. С. 1447 - 1456.
2. Они же. Характеристики плазмы замагниченного прямого разряда в металлической камере на установке СПИН. Новосибирск, 1990. (Препринт/ИЯФ СО РАН; 90-39).

3. Кролл Н., Трайваллис А. Основы физики плазмы. М.: Мир, 1975.

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук Б.А.Князев

А.В.Груднев

Новосибирский университет, Россия

#### ТРЕХМЕРНЫЙ РАСЧЕТ ПОВОРОТНОГО МАГНИТА ДЛЯ Ф-ФАБРИКИ С ЖЕЛЕЗНЫМ ЯРМОМ И ПОЛЕМ В ЗАЗОРЕ 5,5 Тл

В настоящее время в ИЯФ разрабатывается проект ускорителя встречных электрон-позитронных пучков с энергией от 500 до 800 МэВ, на котором предполагается получить высокую светимость Ф-мезона. Ускорители подобного типа называются Ф-фабриками.

На схеме (рис. 1) показано расположение поворотных магнитов и траектория пучка проектируемой в ИЯФ Ф-фабрики, которая имеет размер 12 м в длину, 6 м в ширину и состоит из восьми основных магнитов с углом поворота  $60^\circ$  и четырех сводящих магнитов с углом поворота  $30^\circ$ . Все магниты сверхпроводящие.

При такой конфигурации установки предъявляются довольно жесткие требования к основным магнитам с углом поворота  $60^\circ$ .

На рис. 2 изображено сечение медианной плоскостью для такого магнита.

Во-первых,  $L$  - длина магнита равна 42 см. При такой длине стрелка прогиба  $\delta = R \cdot (1 - \cos(0,5 \cdot \alpha))$ , где  $R$  - радиус поворота,  $\alpha$  - угол поворота, равна 5,6 см. С учетом того, что в зазоре располагается вакуумная камера, приемники синхротронного излучения и пр. задан размер апертуры: 16x7,2 см.

Во-вторых, для заданного диапазона энергий частиц максимальное поле в зазоре равно примерно 5,5 Тл.

В-третьих, для устойчивости пучка, неоднородность "магнитной длины" должна быть порядка  $10^{-3}$ . Напомним, что "магнитная длина" - это интеграл вдоль траектории перпендикулярной век-

тору скорости компоненты поля, а ее неоднородность — это отношение разности равновесного и неравновесного значения "магнитной длины" к равновесному значению.

Сочетание малой длины, довольно большой апертуры и высокого значения поля в зазоре приводит к тому, что относительный вклад неоднородности поля на краю магнита в неоднородность "магнитной длины" увеличивается. Увеличение этого вклада невозможно оценить с достаточной точностью ни аналитически, ни при помощи двумерных расчетов. Здесь может помочь только численный трехмерный расчет. Поэтому целью данной работы и было проведение численного трехмерного расчета, который позволил бы описать поле на краю магнита и минимизировать неоднородность распределения поля вдоль края магнита.

В ИФ для Ф-фабрики была разработана конструкция магнита, рассчитанного на поле 5,5 Тл в зазоре со сверхпроводящими обмотками, сильно насыщенным железным полюсным наконечником (сердечником) и ненасыщенным железным ярмом. Такие магниты уже применялись в ИФ в компактном накопителе Сибирь-СМ /1/ и показали, что подобная конструкция успешно решает проблему получения высокой однородности поля при уменьшении габаритов магнита и увеличении величины поля в нем.

Конструктивно магнит состоит из помещенной в крестат "холодной" части, крестата и "теплого" железного ярма, служащего для замыкания потока, выходящего из верхней и входящего в нижнюю плоскость "холодной" части магнита.

На рис. 3 показан общий вид "холодной" части магнита. Она симметрична относительно всех трех плоскостей:  $XY, YZ, ZX$ .

Рассмотрим конструкцию верхней половины. В обмотку (1) с двумя наклонными и двумя вертикальными стенками вставлен железный полюсный наконечник с торцевыми фасками размером 2x2 см на концах (эти фаски необходимы для борьбы с изменением конфигурации магнитного поля при переходе железного сердечника в насыщенное состояние из ненасыщенного). Обмотка (1) опирается на обмотки (3) и (4) основанием своих наклонных стенок. Обмотка (2) это фактически убранный из апертуры ток, на который опирались бы вертикальные стенки обмотки (1). На наклонные стенки обмотки (1) положены обмотки (5), (6), которая

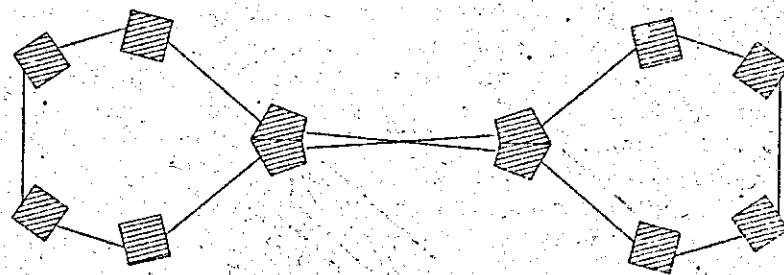


Рис. 1

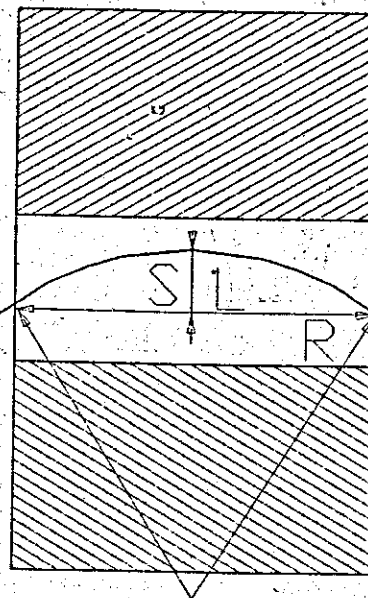
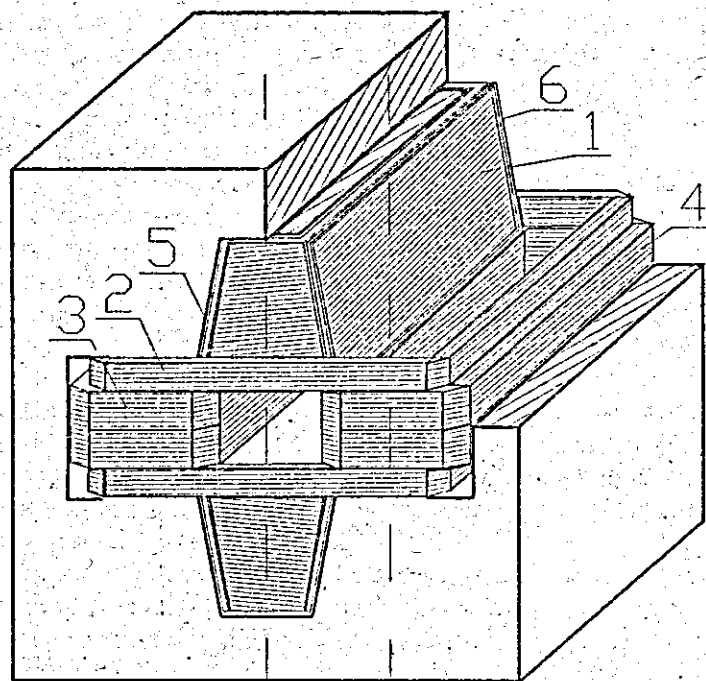


Рис. 2



A-A B-B

Рис. 3

компенсируют ненулевую толщину наклонных стенок обмотки (1). В обмотках (1), (2), (5), (6) ток имеет правое вращение, а в обмотках (3), (4) левое. Вся эта система заключена в железное ярмо, которое частично замыкает поток и частично направляет его вертикально вверх для замыкания через "теплое" ярмо. Следует еще раз обратить внимание на размер воздушного зазора:  $42 \times 16 \times 7,2$  см; эти величины отличаются не более чем в 2,5 раза, и, таким образом, нет какой-либо малой, по сравнению с другими, величин.

Описанная конструкция проектировалась на основе двумерных расчетов. Расчеты делались при помощи программы MEXMAID и показали, что в центре данной конструкции, т.е. там, где применимы двумерные расчеты, может быть достигнута удовлетворительная однородность поля.

Расчет поля, как в центре, так и на краю магнита, который нельзя сделать двумерной программой типа MEXMAID, и минимизация неоднородности поля на краю магнита путем оптимизации конструкции, — цель нашего исследования.

Все расчеты проводились при помощи программы MAGSD, созданной в ИЯФ в 1982 г. для ЭВМ Электроника-79. Для решения задач подобного рода программа была перенесена на более мощные машины IBM AT и  $\mu$ VAK. Кроме того, она была модернизирована введением возможности расчета траектории заряженных частиц в магнитном поле.

Алгоритм расчета стационарных магнитных полей в программе MAGSD основан на прямом интегральном методе [2]. Одной из особенностей данного алгоритма является то, что для расчета поля нужно разбить ферромагнитный материал на многогранники (в MAGSD это треугольные призмы и тетраэдры), в каждом из которых поле считается однородным. Разработка разбиения железа на однородно намагниченные элементы в трехмерном случае составляет основную часть работы по расчету поля, так как необходимо достижение методической сходимости результатов.

Методическая сходимость считается достигнутой, если результаты расчетов не изменяются с заданной точностью при переходе к более подробному разбиению. В данной работе эта точность была порядка  $10^{-4}$ . В процессе разработки такого разбиения приходится рассчитывать много различных вариантов, чтобы

в конечном итоге найти оптимальный, т.е. тот, который бы адекватно описывал поле при минимальном числе элементов.

Целесообразно было разделить разработку такого разбиения на два этапа.

На первом этапе было разработано разбиение треугольными призмами для квазидвумерной модели, которая представляет собой сечение магнита плоскостью ZX, набранное из достаточно протяженных вдоль оси Y токовых обмоток и элементов разбиения. Была достигнута методическая сходимость и получен оптимальный вариант разбиения магнита в плоскости ZX.

На рис. 4,а приведен окончательный вариант разбиения, полученный на первом этапе. Кроме облегчения процесса разработки разбиения этот этап был нужен еще и для тестирования программы MAGSD. В качестве тестирования сравнивалось распределение поля в зазоре при  $Z=0$  для X от 0 до 6 см. Неоднородность такого распределения, рассчитанного на этом этапе, отличается от неоднородности, рассчитанной программой MERMATD, примерно в 2 раза; такое совпадение нас вполне устраивает, так как речь идет о величинах порядка  $10^{-3}$ .

Второй этап разработки включал в себя подбор окончательного варианта разбиения для реальной конструкции. Подбор осуществлялся путем рассечения разбиения, полученного на первом этапе, плоскостями перпендикулярными оси Y. Изменяя число слоев и их длину вдоль Y, была достигнута методическая сходимость.

На рис. 4,б, где приведен окончательный вариант разбиения магнита вдоль оси Y, видно, что число слоев в сердечнике и ярме — разное. Это связано с тем, что в области сердечника происходит "вываливание" поля из зазора и чтобы описать его нужно более подробное разбиение.

На основе разработанного разбиения было рассчитано поперечное распределение поля при  $Z=0$ , как в центре магнита, т.е. при  $Y=0$ , так и вдоль края — при  $Y=23$  см. Кроме того, были рассчитаны траектории трех пробных частиц с энергией 700 Мэв, стартующих вдоль оси Y из точек с разной поперечной координатой X, и определены углы поворота каждой из частиц. В результате неоднородность поля ( $\frac{\Delta H}{H_0}$ ), т.е. отношению отличия величины поля в пределах 12 см по X от значе-

ния поля в точке  $X=0$  к значению поля в точке  $Y=0$  в центре примерно равна  $10^{-4}$  — на краю —  $8 \cdot 10^{-2}$ , и неоднородность "магнитной длины", которая фактически есть неоднородность угла поворота, примерно равна  $1,6 \cdot 10^{-3}$ .

В конечном счете было выяснено, какие изменения магнита могут позволить минимизировать неоднородность поля на краю магнита. Оказалось, что, во-первых, это уменьшение продольного размера обмоток (3), (4) и ярма (5), во-вторых, — уменьшение размера торцевых фасок на концах полюсного наконечника. Следует заметить, что конкретно для магнита Ф-фабрики величина поля в зазоре меняется в диапазоне 4–5,5 Тл и можно вообще отказаться от торцевых фасок, так как они эффективны только при работе в диапазоне полей, близких к индукции насыщения железа (в данном случае она равна 2,16 Тл).

На рис. 5а,б приведены сечения А-А и В-В рис. 3 для основного варианта. Кроме него были рассчитаны еще три варианта геометрии:

1-й вариант (см. рис. 5,г) отличается от основного тем, что сделан сдвиг к центру магнита нижнего тока на 1,6 см и края ярма на 0,6 см;

2-й вариант (рис. 5,в) отличается от первого тем, что торцевая фаска полюсного наконечника имеет размер 0,8х0,8 см;

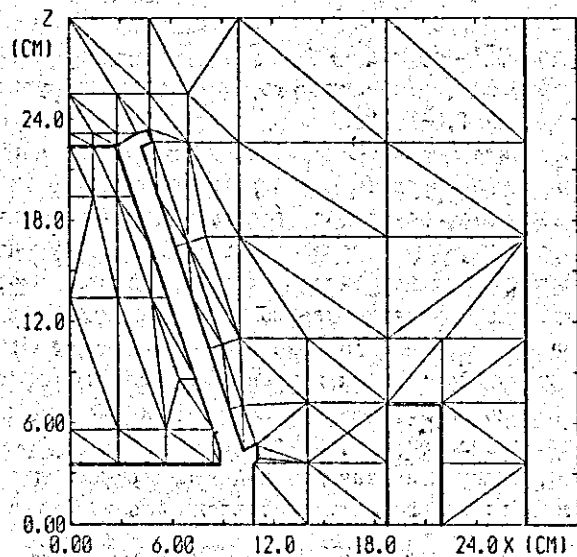
3-й вариант (рис. 5,в) отличается от первого тем, что торцевая фаска полюсного наконечника отсутствует.

В результате расчетов были получены поперечные распределения полей вдоль края магнита при  $Z=0$ ,  $Y=23$  см для всех трех вариантов.

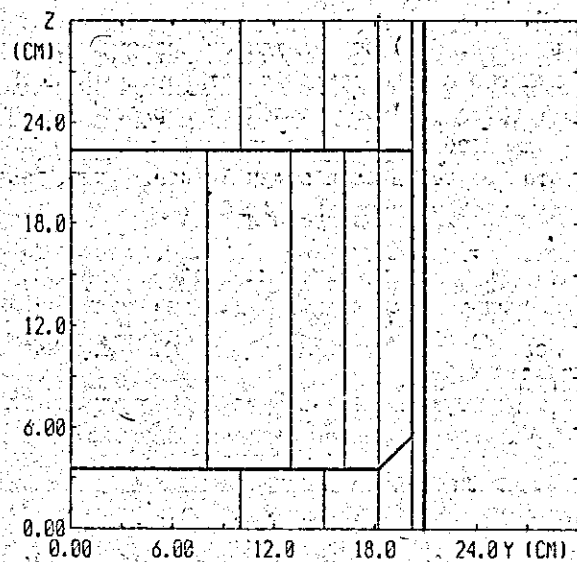
На рис. 6,а приведены в полном масштабе полученные распределения и аналогичное распределение для основного варианта, а на рис. 6,б — те же распределения, но в области апертуры и в более крупном масштабе.

В таблице рассматриваются значения неоднородности вдоль края для всех четырех вариантов (включая основной):

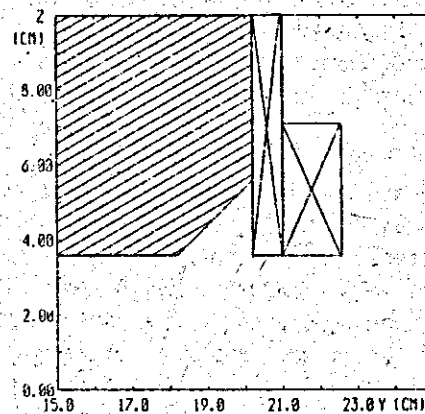
Номер варианта	0	1	2	3
Неоднородность	$8 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$



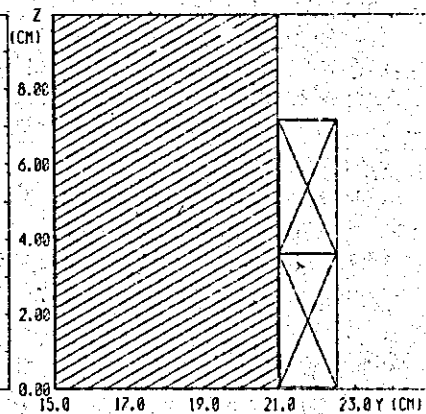
Puc.4,a



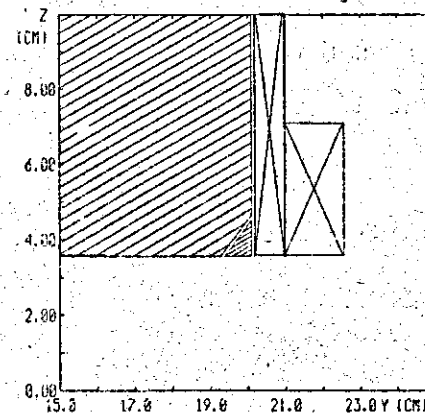
Puc.4,b



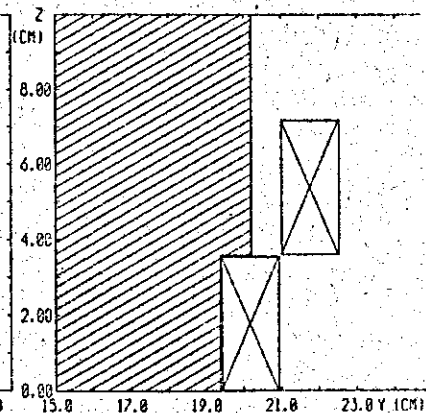
Puc.5,a



Puc.5,b



Puc.5,c



Puc.5,d

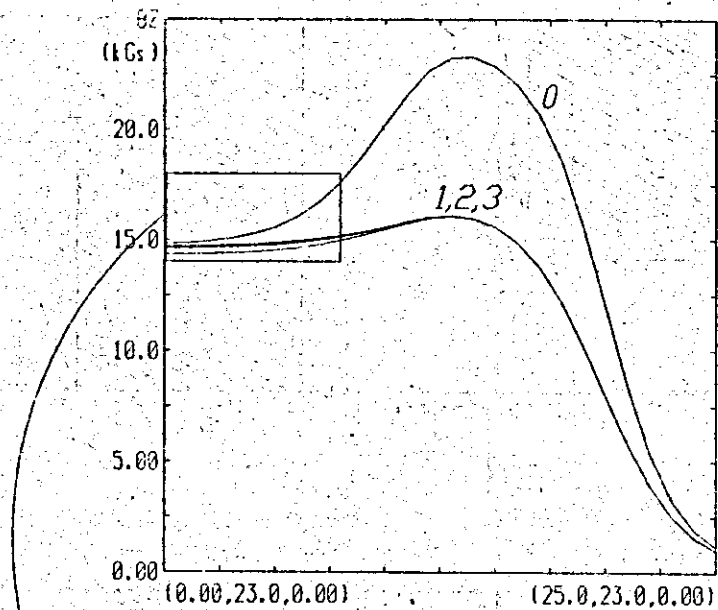


Рис.6,а

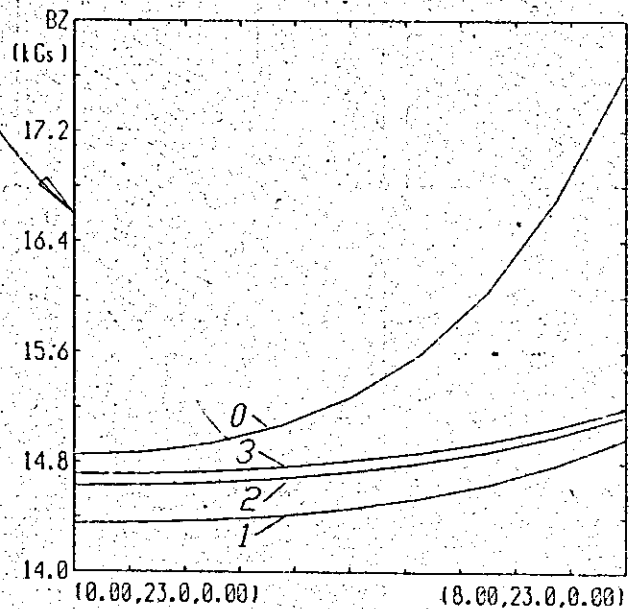


Рис.6,б

Таким образом, оптимизируя конструкции, удалось снизить неоднородность поперечного распределения поля на краю магнита в 5 раз. При этом неоднородность "магнитной длины" уменьшилась до  $0,4 \cdot 10^{-3}$ .

В результате проделанной работы было выполнено следующее: во-первых, модернизирован и перенесен на более мощные компьютеры инструмент расчетов, программа MAGED; во-вторых, разработана численная модель магнита и сделан расчет полей в предложенной конструкции; в-третьих, удалось минимизировать неоднородность поперечного распределения поля вдоль края магнита путем оптимизации геометрии, в результате чего эта неоднородность была снижена в 5 раз, от  $8 \cdot 10^{-2}$  до  $1,6 \cdot 10^{-2}$ , а неоднородность магнитной длины в 4 раза, от  $1,6 \cdot 10^{-3}$  до  $0,4 \cdot 10^{-3}$ .

#### Библиографический список

1. Development of compact storage rings at Siberis-SM // Synchrotron Radiation News. 1990. Vol. 3. N 6.
2. Тиунов М.А., Фомель Б.М. Новосибирск, 1983. (Препринт/ИЯФ; 83-150).

Научный руководитель - науч. сотр. М.А.Тиунов

Е.А.Гусев  
Новосибирский университет, Россия

РЕАЛИЗАЦИЯ В МИКРОЭВМ ОДРЕНОК  
МЕМОГРАММНОГО И ФАЙЛОВОГО ОБМЕНОВ  
НА БАЗЕ TCP/IP

В ИЯФ СО РАН большое количество физических экспериментов проводится с использованием аппаратуры в стандарте SAMAS и 24-разрядных микроЭВМ Одренок, выполняющих также функции крейт-контроллера SAMAS. Причем широкое распространение получили локальные сети со звездообразной топологией на основе этих микроЭВМ: с Одренком, выполняющим функции центральной ЭВМ (функции начальной загрузки, файловой машины, межмашинного обмена), через последовательную систему связи соединены до



16 периферийных Одрят (ПМ). С увеличением количества центров (ЦМ) и развитием многопроцессорных АСУ экспериментальными физическими установками возникла необходимость в создании средств для оперативных обменов информацией между ПМ разных центров (в частности, для межпрограммных и файловых обменов). Кроме того, появляется потребность в информационном обмене с другими типами ЭВМ (IBM PC, VAX и др.), например, в файловом обмене с архивом на VAX. В настоящее время универсальных средств для объединения локальных сетей на основе Одрят и интеграции их в институтскую сеть нет. Поскольку программное обеспечение ЭВМ типа VAX и IBM PC поддерживает широко распространенный в мире универсальный набор протоколов TCP/IP, было принято решение реализовать в микроЭВМ Одренок службу поддержки TCP/IP, соединив при этом центры с Одренком-коммутатором пакетов (КП) и присвоив каждой микроЭВМ уникальный IP-адрес.

Проблема информационного обмена между разнородными физическими сетями возникла довольно давно, поскольку невозможно создать универсальную физическую сеть, удовлетворяющую всем потребностям. Для решения этой задачи в США была разработана Internet-технология, которая, используя аппаратные (шлюзы) и программные (набор соглашений, протоколов) средства, позволяет множество различных сетей коммутации пакетов объединить в единую виртуальную сеть. В качестве этих программных средств выступает универсальный набор протоколов TCP/IP, который с точки зрения пользователя представляется в виде набора прикладных программ и библиотек подпрограмм, предоставляющих различные услуги по разделению ресурсов и информационному обмену в сети (см. рис. 1 - 3) /1/ - /5/.

Традиционная Internet-технология подразумевает резидентное размещение полноценной Internet-службы в каждом взаимодействующем с сетью компьютере. Но с учетом специфики микроЭВМ Одренок и локальных сетей на ее основе было принято решение реализовать службу поддержки TCP/IP в виде отдельной задачи только в центральном Одренке, что хотя и значительно усложняет взаимодействие программ со службой, но имеет два важных достоинства. Во-первых, отсутствует перекладка информации из/в службу в ПМ, что экономит процессорное время. Во-вторых, отсутствует необходимость содержать службу в каждой участвующей

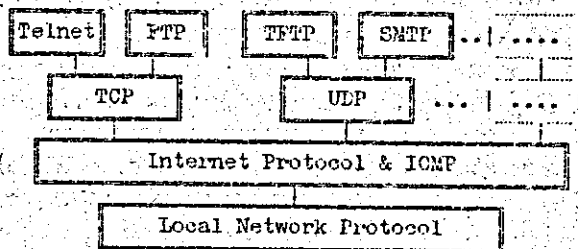


Рис.1. Взаимосвязь (иерархия) протоколов TCP/IP

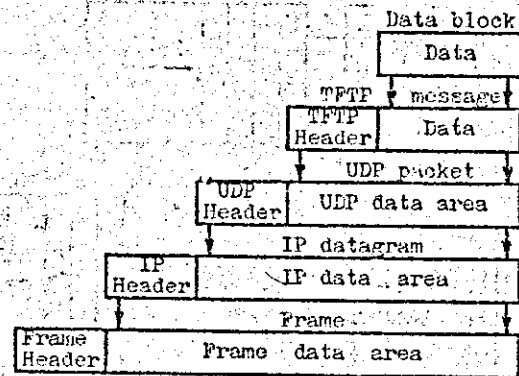


Рис.2. Формирование IP-дейтаграммы

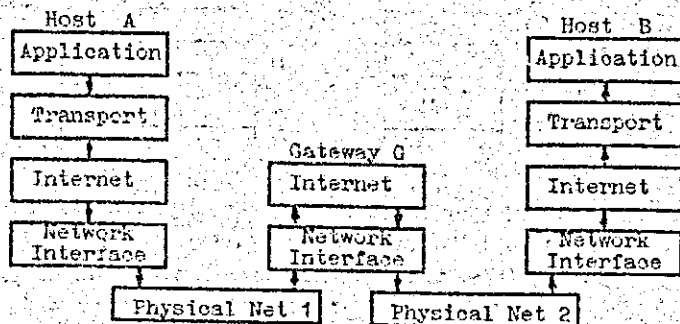


Рис.3. Схема прохождения информации через уровни Internet

в обменах ПМ, что экономит оперативную память и в условиях многозадачного режима позволяет работать другим программам. Все это очень важно при управлении физическим экспериментом в условиях реального времени.

Итак, информационный обмен с участием Одрят, в частности межпрограммный обмен между ПМ разных центров (например, ВЭПН-3 и ВЭПН-4) или файловый обмен между ПМ (центра ВЭПН-3) и центром (ВЭПН-4), происходит по следующей схеме (см. рис. 4).

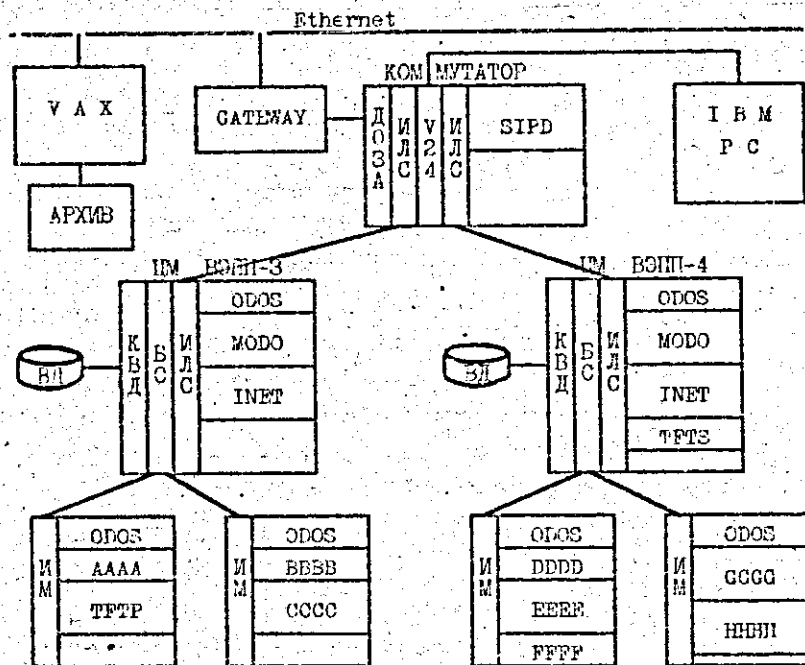


Рис. 4. Схема соединения сетей на основе микроЭВМ ОДРЕНОК и включения их в институтскую сеть

Данные для программы-абонента и все необходимые параметры (IP-адреса, UDP-порты и др.) из программы-источника в ПМ по внутреннему протоколу СМР передаются в центр (ВЭПН-3) программе поддержки локальной сети МОДО. Кроме нее в ПМ постоянно находится служба поддержки TCP/IP - программа ИНЕТ и может находиться файловый сервер ТЕТС, реализующий прикладной

протокол TCP/IP - ТТТР. Далее информация поступает в ИНЕТ, где формируются IP-дейтаграммы и передается в КП, который по IP-адресу абонента определяет следующую по маршруту ЭВМ и отправляет дейтаграммы ей. IP-дейтаграммы принимаются из КП аналогичной службой ИНЕТ в центре ВЭПН-4, обрабатываются и в зависимости от IP-адреса передаются ТЕТС или МОДО, которая по протоколу СМР пересылает данные абоненту в ПМ. Программа ИНЕТ взаимодействует с ПМ через МОДО и с ТЕТС по схеме межпрограммного обмена и с КП через последовательную линию связи, используя специальный (флиговый) механизм синхронизации со множеством внешних событий, что позволяет ей организовать параллельные процессы обработки внешних запросов. С точки зрения внутренней организации в программе можно выделить следующие части:

- основной модуль, выполняющий функции планировщика, реагирующий на сигналы синхронизации и вызывающий соответствующие модули обработки внешних запросов;
- модули, обеспечивающие интерфейс служб с МОДО и файловым сервером ПМ;
- модули, реализующие низкоуровневые протоколы TCP/IP (IP, ICMP, UDP, IPSP) и занимающиеся формированием и обработкой IP-дейтаграмм;
- драйвер последовательного приемопередатчика в стандарте SAMAC, осуществляющего дуплексную связь с КП;
- вспомогательные процедуры.

Основное состояние программы - ожидание следующих сигналов:

- сигнал (IAM) от приемопередатчика;
- сигнал о появлении информации в буфере запросов служб;
- сигналы из МОДО и файлового сервера об открытии семафоров их буферов запросов.

Значительной проблемой, существенно усложнившей логику программы, являлась необходимость предвидеть и обработать все возможные сбоиные ситуации (закрытый семафор или заполнение буфера МОДО и сервера, ошибки в форматах, параметрах и контрольных суммах, недостижимость сети, порта, протокола и др.). Следует также отметить, что Одренск - микроЭВМ с оригинальной архитектурой - имеет 24-разрядное слово, плохо стыкующееся с 32-битовым форматом заголовков протоколов TCP/IP, и невысокую

производительность /6/, /7/. Кроме того, условия разработки вызвали необходимость обращения к абоненту по символьному имени, а не только по порту, как того требует UDP. В связи с этим был разработан протокол IPSP уровня UDP, специализированный для одрѐнковых сетей, который позволяет адресоваться и по порту, и по символьному имени, указывать тип совершаемой с абонентом операции обмена и имеет 24-битовый формат, что позволяет избежать байтовых сдвижек информации и использовать 24-битовые контрольные суммы. В итоге это экономит время, что очень важно для оперативных межпрограммных обменов в режиме реального времени. Существенная трудность была связана также с отсутствием развитой среды передачи информации: существовавший механизм межпрограммного обмена внутри одной микроЭВМ не обладал встроенными средствами синхронизации и идентификации, не был развит механизм передачи данных в ПМ по инициативе центра. Эти средства создавались параллельно с созданием Internet-службы.

Описанная схема позволяет осуществить межпрограммные и файловые обмены между ПМ разных центров, файловые обмены между ПМ и ПМ, между центрами, с другими типами и сетями ЭВМ. Реализация низкоуровневых протоколов TCP/IP позволяет в перспективе осуществлять постановку и других протоколов прикладного уровня (электронная почта, удаленный вход, серверы различных типов), интегрировать сети на основе микроЭВМ Одрѐнок в институтскую сеть.

#### Библиографический список

1. Douglas E. Comer. Internetworking with TCP/IP. Vol.1 / Department of Computer Sciences, Purdue University, 1991.
2. Postel J.(ed.). Internet Protocol-DARPA // Internet Program Protocol Specification. RFC 791, USC/ISI. 1981. Sept.
3. Idem. Internet Control Message Protocol-DARPA // Ibid. RFC. 792, ISI. 1981, Sept.
4. Idem. User Datagram Protocol // RFC 768, ISI. 1980. August.
5. Sollins K. The TFTP Protocol (Revision 2) // RFC 783, MIT/ICS. 1981. June.

6. Алешаев А.Н. Программное обеспечение для микроЭВМ ОДРЕНОК. Новосибирск, 1989. (Препринт/ИИО СО АН СССР; 89-67).
7. Пискунов Г.С., Тарарышкин С.В. Двадцатичетырехразрядная микроЭВМ в стандарте КАМАК//Автометрия, 1986. № 4. С. 32 - 38.

Научный руководитель - ст.науч.сотр. А.Н.Алешаев

Д.С.Долгушин  
Новосибирский университет, Россия

#### РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

В настоящее время имеется большое количество экспериментальных данных по ударному сжатию различных веществ. Однако в результате экспериментов обычно получают ударные адиабаты, скорость звука или другие кинематические параметры, измерение же температуры сложно и обычно вызывает сложности интерпретации результатов. Существующие способы теоретического расчета температуры трудно воспроизводимы и не обладают необходимой универсальностью (отличаются для различных веществ), что затрудняет их практическое использование. В данной работе предлагается простой способ расчета температуры за фронтом ударной волны, основанный на использовании методов теории термодинамического подобия.

Обобщенные методы, основывающиеся на сходном характере поведения вещества достаточно давно используются в различных областях физики для наиболее рациональной систематизации имеющихся экспериментальных данных и прогнозирования свойств некоторых веществ. При рассмотрении физики ударно-волновых процессов применение подходов теории подобия представляется еще более перспективным в связи с тем, что из-за быстрого возрастания температуры и больших степеней сжатия преобладает энергия отталкивания, а энергией притяжения атомов можно пренебречь. По-видимому, именно сходный характер потенциалов оттал-

Библиографический список

1. Гиршфельдер Дж., Кертис Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М., 1961.
2. Hendricks W.L. A similarity solution of the Navier - Stokes equations with wall catalysis and slip of the hypersonic, low Reynolds flow over spheres // AIAA Paper. 1975. May. N 75 - 675.
3. Scott C.D. Reacting Shock Layers with Slip and Catalytic Boundary Conditions // Ibid. 1975. Vol. 13. N 10.
4. Gupta R.N., Scott C.D., Moss J.N. Surface-Slip Equations for low Reynolds Number Multicomponent Air Flow // Ibid. 1984. N 84-1732.
5. Волков И.В., Галкин В.С. Анализ коэффициентов скольжения и температурного скачка в бинарной смеси газов // Изв. АН СССР. МЭТ. 1990. № 6.
6. Они же. Анализ коэффициентов скачков температуры и парциальных давлений бинарной смеси испаряющихся газов // Там же. 1991. № 6.
7. Шидловский В.П. Введение в динамику разреженного газа. М.: Наука, 1965.
8. Ферригер Дж., Капер Г. Математическая теория процессов переноса в газах. М.: Мир, 1976.

Научный руководитель - проф. Г.А.Тирский

М.Р.Косилов  
Новосибирский университет, Россия

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ НА РАБОТУ УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ВЫВОДА В АТМОСФЕРУ АДИАБАТИЧЕСКИ СЖАТОГО  
ИНТЕНСИВНОГО ПУЧКА

В настоящее время широко разрабатываются электронно-пучковые технологии очистки вредных выбросов на тепловых электростанциях. Внедрение таких технологий требует применения ускорителей электронов непрерывного действия с энергией в диапазо-

не 0,5 - 1 МэВ и мощностью от 0,2 до 1 МВт. Использование известных двух типов выпускных устройств при токах в диапазоне 0,5 - 1 А становится нерациональным. Исходя из этого, в ИЯФ СО РАН начата разработка нового ускорителя с выводом пучка в атмосферу. В нем использовано адиабатическое сжатие пучка продольным нарастающим магнитным полем.

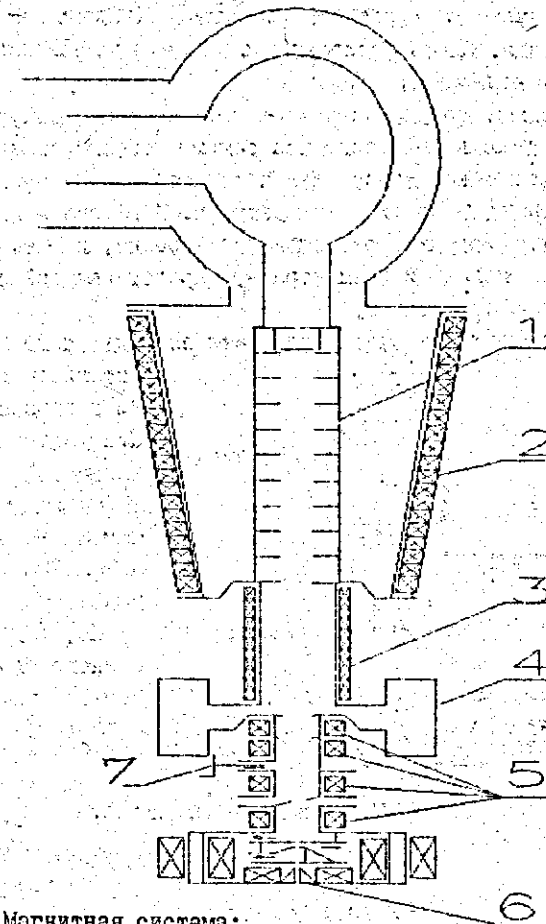


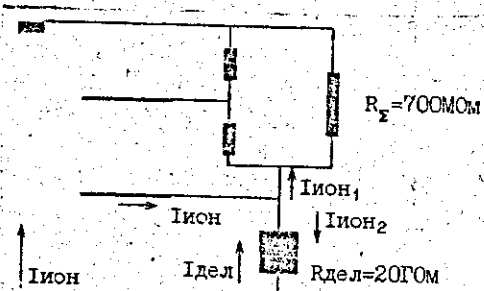
Рис. 1. Магнитная система:

1 - ускорительная трубка; 2 - конический соленоид; 3 - прямолинейный соленоид; 4 - магниторазрядные насосы; 5 - выходной соленоид; 6 - концентратор; 7 - кибернетический затвор

На рис. 1 показана общая схема устройства, в котором катод, ускорительная трубка и выпускное устройство расположены на одной оси, и продольное магнитное поле нарастает от 110 Гс на катоде до  $9 \cdot 10^3$  Гс. Конический соленоид формирует поле на участке ускорения электронного лучка. В прямолинейном соленоиде осуществляется транспортировка пучка от выхода ускорительной трубки до входа в нарастающее магнитное поле выходного соленоида. Здесь располагаются элементы, уменьшающие поток ионов в ускорительную трубку.

В выходном соленоиде расположены элементы вакуумной системы, а поле в нем создается семью многослойными катушками. Необходимый закон нарастания поля достигается последовательно-параллельным соединением катушек. В районе выходных диафрагм, кроме катушки, расположенной соосно, имеются также 0-образный магнит и концентратор, представляющий собой стальной конус с отверстием.

1. Изменения за счет увеличения вытягивающего потенциала.



Вытягивающий потенциал в данной конструкции задается соотношением  $R_{з}$  и  $R_{ддел}$ , а также общим приложенным напряжением.  $U_{выт} = R_{з} I_{ддел} = 700 \text{ МОМ} \cdot 30 \text{ мкА} = 21 \text{ КВ}$ .

Но, при наличии полного тока, он уве-

личивается:  $U_{выт} = R_{з} \cdot (I_{ддел} + I_{ион1}) = 700 \text{ МОМ} \cdot 35 \text{ мкА} = 24,5 \text{ КВ}$  так как  $R_{ддел} \ll R \Rightarrow I_{ион1} \gg I_{ион2} \Rightarrow I_{ион1} \approx I_{ион}$ . Ток пучка изменяется по "закону  $3/2$ ".

$$\Rightarrow I \sim U^{3/2} \Rightarrow dI = \frac{3}{2} (U_{выт})^{1/2} dU \Rightarrow$$

$$(dI/I) = \frac{3}{2} (dU/U) = \frac{3}{2} (I_{ион}/I_{ддел}) = \frac{1}{4}$$

Более наглядно механизм неконтролируемого нарастания тока может быть объяснен следующим образом:

$$I_0 = A + \alpha P I_0 \Rightarrow I = \frac{A}{1 - \alpha P}$$

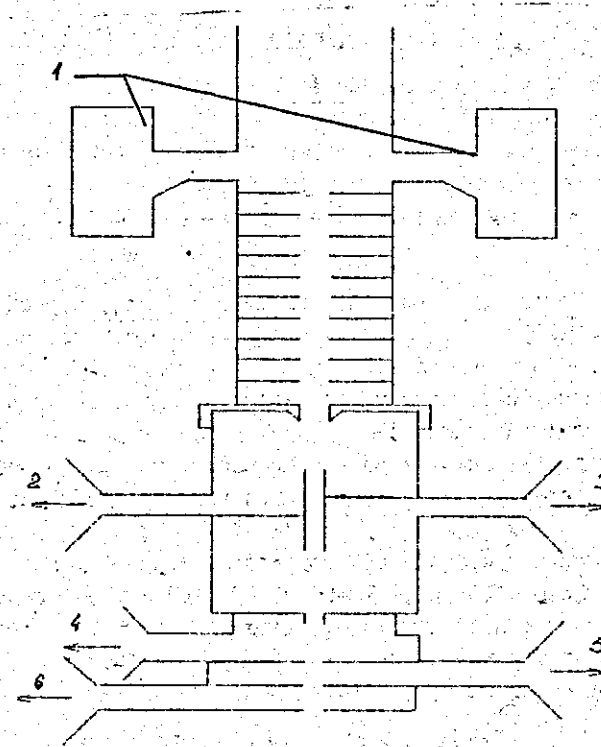


Рис. 2. Вакуумная система:

1 - шестая ступень откачки. Магниторазрядные насосы; 2 - пятая ступень откачки. ТМН-500; 3 - четвертая ступень откачки. ТМН-500; 4 - третья ступень откачки. АВР-150; 5 - вторая ступень откачки. АВЗ-90; 6 - первая ступень откачки. ВН-6

где  $I_0$  - ток пучка;  $A$  - ток пучка, который был бы при отсутствии ионов;  $P$  - давление в ускорительной трубке;  $\alpha$  - некий геометрический коэффициент.

Что же такое  $\alpha$ ?

В первом случае:

$$\left. \begin{aligned} (dI/I) &= \frac{1}{4} (\varphi/kT) (dP/P) = \frac{1}{4} (\varphi/kT) \frac{I_{\text{ион}} \cdot U}{P} = \\ &= \frac{1}{4} (\varphi/kT) \frac{\sigma \cdot \pi \cdot l \cdot U}{P} \cdot I_0 \\ dI &= \alpha \cdot P \cdot I_0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha P = \frac{1}{4} (\varphi/kT) \frac{\sigma \cdot \pi \cdot l \cdot U}{P} \cdot A$$

по оси. Все катушки выполнены из охлаждаемой водой медной шины сечением 20\*20 или 8\*8 мм. Таким образом, достигается плавное нарастание поля  $B_z$ , а так как в таком поле  $B r^2$  - является адиабатическим инвариантом, то, следовательно, достигается уменьшение диаметра пучка  $r = r_k \sqrt{\frac{B_k}{B}}$ , что должно составлять  $\approx 10$  раз. Реально, из-за невыполнения критерия адиабатичности в отдельных точках, уменьшение размера составляет  $\approx 5$  раз.

Дифференциальная откачка осуществляется с помощью насосов НОРД-250, ТМН-500, АВР-150, АВЗ-90, ВН-6, АВЗ-20, а перепад давлений - за счет диафрагм, имеющих высокое вакуумное сопротивление. Эвакуация газа идет через вакуумпровода, расположенные внутри соленоидов, в зазорах между магнитными катушками.

В процессе работы препятствием для дальнейшего увеличения параметров ускорителя стал неконтролируемый рост тока пучка, при токах  $\approx 150$  мА. Чем это может быть вызвано? Инженция электронов может осуществляться в двух характерных режимах:

- в режиме насыщения. В этом случае ток определяется напряжением управляющего электрода по "закону 3/2"  $I \sim U^{3/2}$ ;

- в режиме полного отбора. В этом случае ток определяется температурой катода по закону Ричардсона - Дешмана  $I \sim T^2 e^{-\varphi/kT}$ .

Таким образом, в первом случае резкое увеличение тока может быть вызвано ростом вытягивающего напряжения, а во втором - дополнительным разогревом катода. Эти оба явления могут быть объяснены одной причиной - увеличением потока ионов на управляющий электрод и катод. Ионы появляются за счет взаимодейст-

вия остаточного газа с электронами пучка.

Электронно-оптический тракт можно условно разделить на два участка:

- ускоряющая трубка и прямолинейный соленоид с высоким вакуумом, ионы, образовавшиеся здесь, попадают на катод;
- нижние ступени откачки, где ионов образуется много в связи с низким вакуумом, но доступ им в ускоряющую трубку перекрыт ионной ловушкой. Поэтому в дальнейшем речь пойдет об ионах, рожденных в ускоряющей трубке.

Оценим ионный ток:

Сечение ионизации воздуха при  $U = 500$  кВ,  $\sigma = 2 \cdot 10^{-18}$  см; давление в ускоряющей трубке  $p = 3 \cdot 10^{-5}$  торр, следовательно, концентрация  $n = 10^{11}$  см; длина ускоряющей трубки  $l = 120$  см;  $I_0 = 200$  мА  $\Rightarrow$

$$\frac{I_{\text{ион}}}{I_0} = \sigma n l = 2,5 \cdot 10^{-5} \Rightarrow I_{\text{ион}} = 5 \text{ мкА.}$$

Оценим, какие изменения тока это может вызвать.

I. Изменения за счет дополнительного разогрева катода:

Известно, что  $I_{\text{пучка}} \sim T^2 \cdot e^{-\varphi/kT}$ , для оценки ограничимся экспоненциальной зависимостью  $I \sim e^{-\varphi/kT} \Rightarrow dI = (\varphi/kT) \cdot e^{-\varphi/kT} \cdot (dT/T) \Rightarrow (dI/I) = (\varphi/kT) \cdot (dT/T)$ ; поскольку мощность и температура нагревателя определяются соотношением

$$P \sim T^4 \Rightarrow (dP/P) = 4 \cdot (dT/T), \quad \text{а}$$

$$dP = I_{\text{ион}} \cdot U = 500 \text{ кВ} \cdot 5 \text{ мкА} = 2,5 \text{ Вт}, \quad P_{\text{нагревателя}} = 50 \text{ Вт} \Rightarrow$$

$$(dI/I) = \frac{1}{4} \cdot (\varphi/kT) \cdot (dP/P) =$$

$$= \frac{2,68 \text{ эВ} \cdot 2,5 \text{ Вт}}{4 \cdot 9 \cdot 10^{-5} (\text{эВ/град}) \cdot 1600 \text{ град} \cdot 50 \text{ Вт}} = \frac{1}{4}.$$

Во втором случае:

$$\left. \begin{aligned} (dI/I) &= \frac{3}{2} \cdot \frac{I_{\text{ион}}}{I_{\text{дел}}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma \cdot \pi \cdot l}{I} \cdot I_0 \\ dI &= \alpha \cdot P \cdot I_0 \\ \Rightarrow \alpha P &= \frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma \cdot \pi \cdot l}{I_{\text{дел}}} \cdot A \end{aligned} \right\}$$

Это значит, что  $I_0 = \frac{A}{1-k \cdot P \cdot A}$ , где  $k$  соответственно равен

$$0,38 \cdot 10^5 \cdot 1/A \cdot \text{торр} \text{ и } 0,42 \cdot 10^5 \cdot 1/A \cdot \text{торр.}$$

Из этого выражения становится отчетливо видна сильная положительная обратная связь. Если учесть, что в реальной системе давление с ростом тока возрастает, то, следовательно, эта зависимость будет носить еще более пороговый характер.

Таким образом, видно, что вклад этих эффектов одинаков, и поскольку электронная пушка работает в промежуточном режиме между полным отбором и насыщением, становится ясно, что бороться необходимо с обоими эффектами. Правильное понимание процессов, протекающих в ускорительной трубке, сделало возможным их подавление. В этой установке было реализовано следующее:

- улучшен рабочий вакуум;
- увеличено быстродействие системы стабилизации тока накалом;
- изменена схема управления вытягивающим напряжением (вместо резисторного делителя установлена схема с низким дифференциальным сопротивлением на стабилитронах).

Это дало возможность увеличить ток и получить следующие параметры:

$$U = 600 \text{ кВ}; \quad I = 600 \text{ мА}.$$

Научный руководитель - канд. физ.-мат. наук Н.К.Куксанов

И.С.Михаловский

Белорусский университет, Белоруссия

#### СПЕКТРАЛЬНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ И ФОТОСЕНСИБИЛИЗИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ПРОИЗВОДНЫХ ХЛОРИНА $E_6$

Исследование механизмов сенсibilизированных тетрапиррольными пигментами фотоповреждений привлекает в настоящее время большой интерес в связи с использованием этих соединений при фототерапии рака и ряда других заболеваний /1/. Одним из наиболее перспективных сенсibilизаторов для фотодинамической терапии (ФДТ) злокачественных новообразований является производное хлорофилла "а" - хлорин  $e_6$  ( $Хл e_6$ ). Этот

пигмент способен избирательно накапливаться в ряде опухолей и сенсibilизировать их фотоповреждение /2/. С целью исследования влияния роли химической структуры фотосенсibilизатора в определении эффективности фотосенсibilизированного повреждения биологических структур были синтезированы производные  $Хл e_6$ , различающиеся по составу боковых заместителей в тетрапиррольном цикле: ди- и триметилловый эфиры  $Хл e_6$  (ДМЭ, ТМЭ  $Хл e_6$ ) и этилендиамид хлорина  $e_6$  (ЭДА  $Хл e_6$ ). В данной работе проведены сравнительные исследования спектрально-флуоресцентных и фотосенсibilизирующих свойств перечисленных выше пигментов.

Характерной особенностью спектров электронного поглощения исследованных пигментов является наличие интенсивной длинноволновой полосы поглощения при 660 нм. величина коэффициента экстинкции в которой более чем на порядок превышает соответствующие значения коэффициента экстинкции длинноволновых полос гематопорфирина - сенсibilизатора, применяемого в настоящее время в ФДТ.

В таблице I представлены результаты исследований величины квантового выхода и времени жизни флуоресценции производных  $Хл e_6$  в различных растворителях и при связывании с сывороточным альбумином, липосомами и клетками. На основании полученных данных можно предположить, что в неполярных органических растворителях все исследованные пигменты находятся в мономерном состоянии, при этом их абсорбционные и флуоресцентные характеристики практически не различаются.

Неодинаковые изменения параметров флуоресценции при переводе  $Хл e_6$  и его производных в водную среду (ФСБ) связаны с различиями в процессах образования агрегатов молекул этих пигментов в полярных растворителях. Полярный  $Хл e_6$  в водной среде не агрегирует. Его неполярные производные ДМЭ  $Хл e_6$ , ТМЭ  $Хл e_6$  и ЭДА  $Хл e_6$  в водной среде находятся в виде агрегатов. Следствием этого является характерное для агрегатов сенсibilизаторов снижение квантового выхода и времени жизни флуоресценции исследованных пигментов. Связывание пигментов белками, липосомами приводит к их дезагрегации. Вследствие этого в суспензии липосом и в растворе белка наблюдается увеличение квантовых выходов и времени жизни флуоресценции ДМЭ

мерам ячеек ( Gate Array Placement ); размещение стандартных ячеек с одним каким-либо одинаковым для всех модулей размером (Standard Cell Placement).

Научный руководитель - ст. науч. сотр. К.К.Смирнов

В.В.Смалюк

Новосибирский университет, Россия

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ  $\beta$ -ФУНКЦИИ  
НАКОПИТЕЛЬНЫХ КОЛЕЦ

УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-3 - ВЭПП-4М

В настоящее время установки с циркулирующими пучками заряженных частиц, накопительные кольца и коллайдеры являются наиболее эффективными средствами изучения физики элементарных частиц, а также широко используются для других исследовательских и технологических целей. Эффективность работы установок этого типа во многом определяется качеством согласования магнитной структуры. Это согласование однозначно связано с поведением структурных функций  $\beta_z$ ,  $\beta_x$  и  $\psi$ .

$\beta$ -функция определяет все параметры бетатронных колебаний заряженных частиц: амплитуду, длину волны и фазу.

Поэтому возникла необходимость в разработке системы, позволяющей измерять  $\beta$ -функции с минимальными затратами времени и достаточной точностью. Цель данной работы - создание системы для оперативного измерения  $\beta$ -функций накопительных колец ускорительного комплекса на встречных электрон-позитронных пучках ВЭПП-3 - ВЭПП-4М новым методом, позволяющим получить более полную информацию, а также значительно сократить время измерения в сравнении с классическим методом, основанным на измерении сдвига бетатронных частот.

Суть метода - ударное возбуждение когерентных бетатронных колебаний циркулирующего электронного пучка и измерение их амплитуды электростатическими датчиками (пикапами) на каждом

обороте с обработкой сигнала быстродействующим АЦП.

Работа состоит из следующих основных разделов:

1. Сборка и настройка системы из модулей в стандарте КАМАК.
2. Написание управляющего, обрабатывающего и сервисного программного обеспечения для микроЭВМ "Одренок".
3. Постановка экспериментов на накопителе ВЭПП-3, отладка работы установки и программ, оценка точности метода.
4. Постановка экспериментов на накопителе ВЭПП-4М и обработка полученных результатов.

Вначале выясним физический смысл  $\beta$ -функции и рассмотрим методы ее измерения.

Траектория частиц в циклическом ускорителе описывается уравнением Хилла:

$$\frac{d^2y}{ds^2} + K(s)y = 0, \quad (1)$$

$$K(s+L) = K(s),$$

где  $y = (x, z)$  - двумерный вектор координаты пучка в плоскости сечения канала,  $s$  - азимут,  $L$  - период магнитной структуры.

Это уравнение колебаний с периодическим коэффициентом, впервые рассмотрено астрономом Хиллом в связи с изучением движения Луны.

Теорема Флоке устанавливает, что уравнение Хилла всегда имеет два независимых частных решения вида:

$$y_1 = P_1(s) \exp(+i\mu s/L), \quad (2)$$

$$y_2 = P_2(s) \exp(-i\mu s/L),$$

где  $P_1(s)$  и  $P_2(s)$  - периодические функции с периодом  $L$ . Между двумя значениями  $y$  в двух точках  $s=s_0$  и  $s=s_1$  существует соотношение

$$y(s_1) = M(s_1|s_0)y(s_0), \quad (3)$$

где  $M$  - матрица перехода для участка  $s_0 - s_1$ .

$$M = \begin{pmatrix} \cos\mu + \alpha \sin\mu & \beta \sin\mu \\ -\gamma \sin\mu & \cos\mu - \alpha \sin\mu \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$\alpha, \beta, \gamma$  - параметры Гиббса,  $\mu$  - набег фазы колебаний на периоде.



Собственные функции уравнения Хилла имеют вид

$$y_{1,2} = \alpha \sqrt{\beta(s)} \exp[\pm i\psi(s)], \quad (5)$$

$$\psi(s) = \int \frac{ds}{\beta(s)}.$$

Складывая или вычитая собственные решения (5), получим два действительных решения уравнения Хилла:

$$y = \text{const} \sqrt{\beta(s)} \cos \int \frac{ds}{\beta(s)}, \quad (6)$$

$$y = \text{const} \sqrt{\beta(s)} \sin \int \frac{ds}{\beta(s)}. \quad (7)$$

Выражения (6) и (7) описывают псевдогармонические колебания с мгновенной амплитудой

$$A = \sqrt{\beta(s)} \quad (8)$$

и мгновенной длиной волны

$$\lambda(s) = 2\pi\beta(s). \quad (9)$$

Из этих выражений очевиден физический смысл  $\beta$ -функции как квадрата огибающей бетатронных колебаний.

В классическом методе, описанном Курантом и Снайдером в 1954 г., измеряется сдвиг бетатронной частоты при изменении магнитного поля в линзах, определяемый формулой

$$\delta\nu = (1/4\pi)\beta \frac{\partial G}{H\rho} 1. \quad (10)$$

Изменяя ток в магнитной линзе и соответственно магнитное поле, можно измерить сдвиг бетатронной частоты и по формуле (10) вычислить  $\beta$ -функцию.

Основные недостатки классического метода - это большие затраты времени на измерение, так как магнитные линзы являются медленными устройствами, и невозможность измерения  $\beta$ -функции в тех местах, где нет магнитных линз, в частности в прямолинейных промежутках.

У нового метода эти недостатки отсутствуют - собственные времена пикапов и потребляемые токи малы, пикапы можно разместить практически в любом месте накопительного кольца.

Метод измерения  $\beta$ -функции определяется тем, что для любой частицы в ускорителе удовлетворяется соотношение:

$$\frac{y^2 + (\alpha y + \beta y')}{\beta} = C = \text{const}. \quad (11)$$

Это выражение, называемое инвариантом Куранта - Снайдера, пропорционально поперечной энергии частицы. Бетатронные колебания в какой-либо азимутальной плоскости, определяемой координатой  $S_0$ , описываются следующим уравнением:

$$\frac{y^2 + (\alpha_0 y + \beta_0 y')^2}{\beta_0} = 0. \quad (12)$$

Это уравнение эллипса на фазовой плоскости с центром в начале координат, оси которого наклонены к координатным осям  $y, y'$ . Вдоль оси  $y$  координата точки эллипса достигает максимального значения, т.е. амплитуды колебаний при условии:

$$\alpha_0 y + \beta_0 y' = 0, \quad (13)$$

$$y_{\text{max}} = \sqrt{\beta_0} C. \quad (14)$$

Таким образом, зная амплитуду бетатронных колебаний пучка на азимуте  $S_0$ , мы можем вычислить бета-функцию на этом азимуте.

Измерения  $\beta$ -функции ВЭПП-3 проводились на установке, состоящей из следующих приборов в стандарте КАМАК:

- коммутатор и два управляющих регистра УРР-16 для переключения пикапов,
- блок выборки-хранения ПСОС1,
- широкополосный усилитель ШУС-60 (Б0609),
- таймер СОСО1,
- АЦП-850 sk.

На рисунке I показана структурная схема системы измерения  $\beta$ -функции ВЭПП-3, вся аппаратура расположена в двух КАМАК-крейтах, управление осуществляется микроЭВМ "Одренок", результаты выводятся на графический дисплей.

Для измерения амплитуды колебаний пучка использовалась следующая методика. Возбуждались бетатронные колебания пучка ударом инфлектора - устройства для выпуска электронного сгустка в канал накопителя. Спустя некоторое время задержки после удара инфлектора запускается АЦП. Сигнал с пластины пикапа после усиления ШУСом (40 - 50 Дб) поступает в блок выборки-

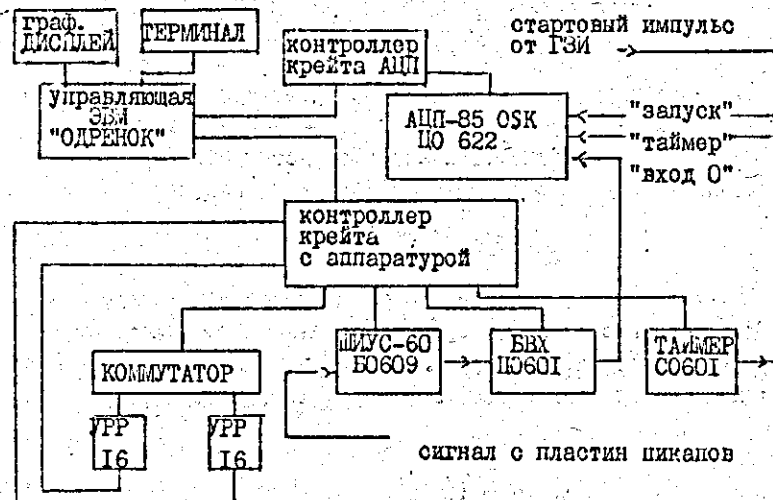


Рис. 1. Структурная схема установки для измерения  $\beta$ -функции ВЭП-3

хранения. БВХ удлинит сигнал длительностью несколько  $нс$  до десятков  $нс$  и подает на вход АЦП. В течение 1024 оборотов пучка (до заполнения памяти АЦП) измеряется электростатическая разность потенциалов, наведенных пролетающим пучком на пластины пикапа, затем происходит переключение на следующую пластину, и цикл измерений повторяется.

На ВЭП-4М используется аналогичная аппаратура, но с большим количеством пикапов - 54.

Электростатическая разность потенциалов, появляющаяся на пластине пикапа при пролете электронного пучка, пропорциональна смещению орбиты пучка относительно оси пикапа и амплитуды когерентных бетатронных колебаний.

$$U_1(t) \sim (z - a_z/2) + A_z \exp(-i\omega_z t) + A_x \exp(-i\omega_x t), \quad (15)$$

$$U_2(t) \sim (a_z/2 - z) - A_z \exp(-i\omega_z t) + A_x \exp(-i\omega_x t), \quad (16)$$

$$U_3(t) \sim (x - a_x/2) + A_z \exp(-i\omega_z t) + A_x \exp(-i\omega_x t), \quad (17)$$

$$U_4(t) \sim (a_x/2 - x) + A_z \exp(-i\omega_z t) - A_x \exp(-i\omega_x t), \quad (18)$$

$U_i$  - напряжение на  $i$ -й пластине;  $a_x, a_z$  - апертура пикапа;  $A_x, A_z, \omega_x, \omega_z$  - амплитуды и частоты бетатронных колебаний.

С пикапа снимается широкополосный сигнал с большим шумом. Для того чтобы выделить из зашумленного сигнала требуемую амплитуду бетатронных колебаний, применяется метод спектрального разложения Фурье. Сигнал с пластины подвергается преобразованию Фурье, и затем из набора гармоник выделяется максимальная по амплитуде гармоника бетатронных колебаний  $U_i(\omega_z)$  и амплитуда нулевой гармоники - постоянная составляющая  $U_i(0)$ .

Амплитуды колебаний со всех четырех пластин суммируются, и сумма делится на среднюю величину постоянной составляющей для нормировки по току пучка. Таким образом, получается относительная амплитуда колебаний:

$$\frac{U_1(\omega_z) + U_2(\omega_z) + U_3(\omega_z) + U_4(\omega_z)}{U_1(0) + U_2(0) + U_3(0) + U_4(0)}, \quad (19)$$

$\beta$  - функция равна квадрату амплитуды колебаний, умноженному на коэффициент пропорциональности, равный обратной величине к площади эллипса на фазовой плоскости, описывающего бетатронные колебания пучка:

$$\beta = z/v \quad (20)$$

В результате экспериментов на ВЭП-4М получена относительная  $\beta$ -функция, для сравнения с расчетной приведенная к абсолютной с помощью эмпирического масштабного коэффициента.

$\beta$ -функция ВЭП-3 была измерена в трех экспериментах, результаты которых представлены на рис. 2.

15(10)9Г. 10 измерений при токе пучка от 37 мА до 80 мА.

5(12)9Г. 12 измерений при токе пучка от 22 мА до 43 мА.

9(12)9Г. 50 измерений при токе пучка от 27 мА до 52 мА.

После статистической обработки трех серий измерений была проделана работа по повышению точности метода. В частности, выяснено, что наибольший вклад в погрешность вносит спадание тока пучка за время измерения на одном пикапе, для получения результатов с приемлемой точностью спад тока не должен превышать 5%. В то же время Фурье-анализ позволяет проводить

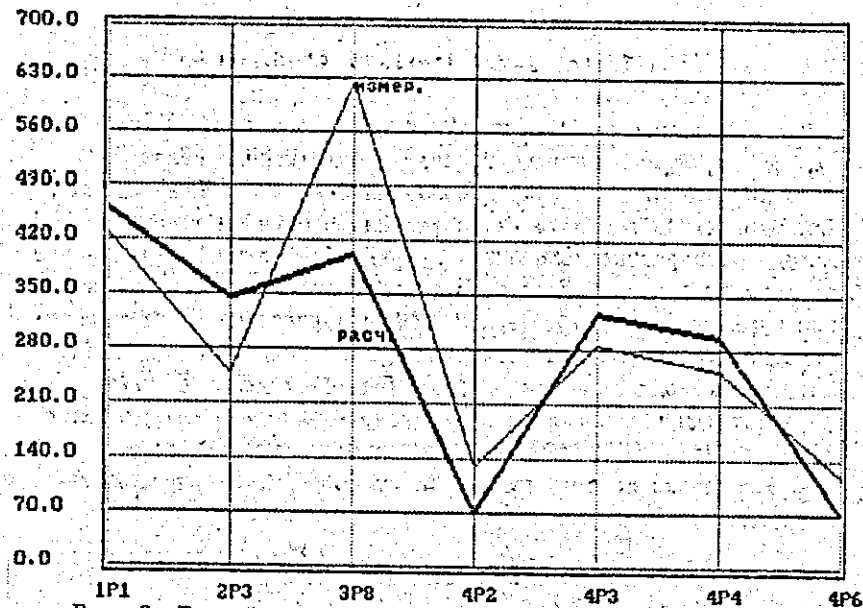


Рис. 2. Бета-функция ВЭПП-3 (вертикальная составляющая)

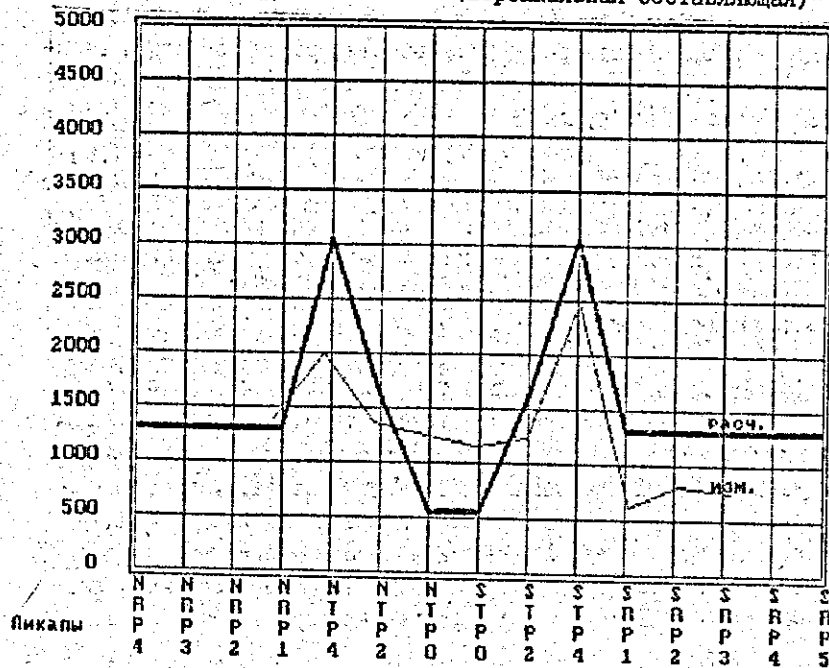


Рис. 3. Бета-функция ВЭПП-4М (вертикальная составляющая)

измерения при шуме, равном уровню полезного сигнала и даже выше.

Проведены первые эксперименты на ВЭПП-4М, измерена  $\beta$ -функция на одной четверти кольца, полученные результаты представлены на рис. 3.

Конечно, рано делать серьезные выводы, до того как будет измерена  $\beta$ -функция по всему периметру ВЭПП-4М, но уже сейчас результаты работы по созданию новой системы измерения  $\beta$ -функции дают основания полагать, что данный метод пригоден для использования на циклических ускорителях и найдет практическое применение, в частности на комплексе ВЭПП-3 - ВЭПП-4М.

#### Библиографический список

1. Диагностика впускаемого и циркулирующего пучков с помощью пикал-электродов в накопителе ВЭПП-4/А.М.Батраков, А.С.Калинин, И.Я.Протопопов, А.Д.Хильченко. Новосибирск, 1980. (Препринт ИЯФ).
2. Брук Г. Циклические ускорители заряженных частиц: Введение в теорию. М., 1970.
3. Калинин А.С. Диагностика пучков заряженных частиц с помощью электромагнитных датчиков в ускорительно-накопительных установках и электронно-оптических каналах: Дис. канд. техн. наук. Новосибирск, 1985.
4. Лебедев А.Н., Шальнов А.В. Основы физики и техники ускорителей. М., 1981.
5. Москалев В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц. М., 1980.
6. CERN large electron-positron storage rings // LEP design report. 1983.
7. Sands M. The physics of electron storage rings: An introduction. Stanford, 1970.

Научный руководитель - канд.техн.наук А.С.Калинин