

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

88-927

P13-88-927

ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ
ВРЕМЯ-ПРОЕКЦИОННОЙ КАМЕРЫ
СО СЪЕМОМ ИНФОРМАЦИИ
С ПОМОЩЬЮ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ

Направлено в журнал "Nuclear Instruments
and Methods in Physics Research"

1989

Ю.А.Будагов, В.В.Глаголев, А.А.Омельяненко, А.А.Семенов
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В.Глинка, П.Повинец, Б.Ситар
Университет им.Я.А.Коменского, Братислава, ЧССР

Э.Кладива, М.Семан, Й.Шпалек
Институт экспериментальной физики САН, Кошице, ЧССР

А.М.Артыков
Филиал НИИ прикладной физики ТашГУ, Самарканд

ВВЕДЕНИЕ

Время-проекционная камера /ВПК/ позволяет проводить трехмерную реконструкцию многотрековых событий, а также идентификацию заряженных частиц на основе многократного измерения ионизационных потерь энергии^{/1-5/}.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ разрабатывается 80-слойная ВПК с чувствительным объемом $350 \times 800 \times 1600$ мм³ /рис.1/, которая будет работать в магнитном поле $B = 1,5$ Тл. Вертикальная координата в ВПК определяется по времени дрейфа электронов, горизонтальная - с помощью линий задержки /ЛЗ/. Линии задержки дают неплохое разрешение /примерно 1 мм при длине ЛЗ 1 м/, на порядок превосходящее разрешение в широко применяемом методе деления токов на резистивной проволочке^{/8/}. По сравнению с методом катодных площадок^{/1,4,6/}, дающих очень хорошее пространственное разрешение, метод на основе линий задержки существенно дешевле, так как требует значительно меньшего /в нашем случае примерно в 100 раз/ числа каналов электроники. Метод ЛЗ обладает дополнительным качеством - позволяет однозначно определять координаты треков частиц.

В работе описываются результаты испытаний на пучке частиц трехслойного модуля ВПК с чувствительным объемом $350 \times 800 \times 60$ мм³, который по конструкции совпадает с 80-слойной ВПК.

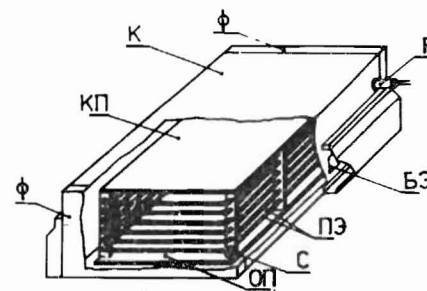


Рис.1. Схема ВПК. К - контейнер, Ф - крышки, Р - высоковольтный разъем, ОП - основная плита, ПЭ - полеформирующие электроды, С - стеклотекстолитовые стойки, КП - катод, БЭ - электроника.

КОНСТРУКЦИЯ КАМЕРЫ

Кожух камеры представляет собой прямоугольный короб /К/ из нержавеющей стали высотой 500 мм, шириной 1200 мм и длиной 2000 мм /рис.1/. Кожух спереди и сзади закрыт крышками /Ф/

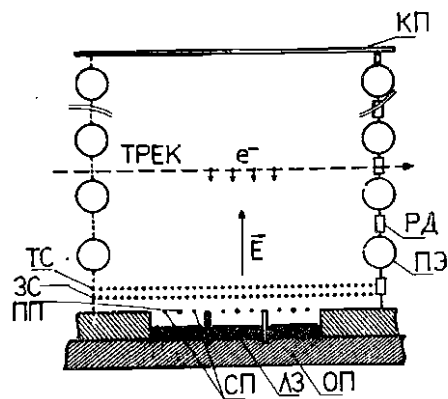


Рис.2. Разрез модуля ВПК. ЛЗ - линия задержки, СП - сигнальные проволочки, ПП, ЗС - полеформирующие /заземленные/ проволочки, ТС - триггерная сетка, РД - делитель, остальное - как на рис.1.

с майларовыми окнами и продувается газовой смесью при атмосферном давлении.

Внизу короба имеется дюралевая плита /ОП/, на которую крепятся все детали камеры.

На стеклотекстолитовых рейках поперек камеры натянуты сигнальные проволочки /СП/ диаметром 20 мкм /рис.2/, которые чередуются /с шагом 5 мм/ с заземленными полеформирующими проволочками /ПП/ диаметром 100 мкм. Две соседние анодные проволочки объединены, и сигнал с них подается на предусилитель. Таким образом формируются слои толщиной 20 мм, из которых собирается ионизация из дрейфового объема. Под каждым слоем на расстоянии 5 мм от плоскости сигнальных проволочек размещена линия задержки /ЛЗ/ длиной 850 мм. Между ЛЗ расположены тонкие заземленные перегородки, экранирующие соседние ЛЗ.

Над сигнальными проволочками на расстоянии 5 и 8 мм соответственно натянуты сетки /шаг 2 мм, диаметр проволочки 0,1 мм/, из которых нижняя /ЗС/ - заземленная - служит для формирования однородного поля в дрейфовом промежутке и аксиально симметричного в пропорциональном объеме ВПК. Верхняя сетка управляет процессом сбора электронов из камеры, так что они попадают на сигнальные проволочки только при наличии сигнала "Триггер" из установки.

Однородное электрическое поле в дрейфовом объеме ВПК создается с помощью плоского высоковольтного электрода /КП/ и полеформирующих электродов /ПЭ/ в виде трубок диаметром 20 мм и толщиной стенок 0,2 мм, которые крепятся на стеклотекстолитовые стойки /С/ /рис.1/. На высоковольтный электрод подается через разъем /Р/ напряжение до 50 кВ. Электрод соединен с высокоомным делителем /его точность $\leq 1\%$ /, откуда напряжение подается на полеформирующие электроды, и тем самым в дрейфовом объеме создается однородное электрическое поле.

Разрез линии задержки с эллиптическим сечением размерами 850x18x6 мм, использованной в ВПК, показан на рис.3. Корпус ЛЗ отлит из эпоксидной смолы с наполнением из силиконового кар-

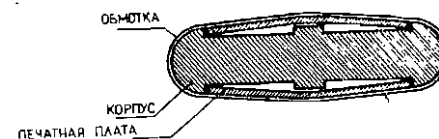


Рис.3. Разрез линии задержки.

бида. В него вклеены две печатные платы: одна с заземленными полосками /шириной 1 мм.

шагом 2 мм/ в направлении вдоль ЛЗ, другая - с компенсирующими полосками, расположенными под углом 45°. Изолированная проволочка диаметром 0,12 мм намотана на корпус с шагом 0,15 мм. Эллиптическая форма ЛЗ обеспечивает плотную намотку проволочки, т.е. вполне определенное расстояние между проволочкой и корпусом /землей/, чем достигается однородность распределенных параметров (L, C) вдоль ЛЗ, что, в свою очередь, определяет ее качество.

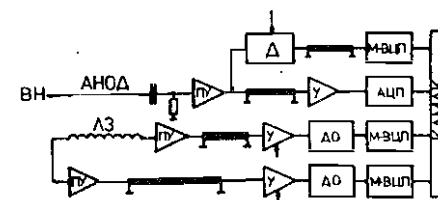
Параметры линии задержки:

активное сопротивление	- 360 Ом
импеданс	- 1000 Ом
задержка	- 4,76 нс/мм
ослабление сигнала	- 1,5 дБ/мкс
отношение задержка/фронт сигнала	- 400 /фронт = 70 нс/.

Блок-схема канала электроники для ВПК приведена на рис.4. Сигнал с анодной проволочки разветвляется в предусилителе и поступает на быстродействующий параллельный АЦП и многостоповый ВЦП^{7/}, который определяет время поступления сигналов с точностью 2 нс в течение 16 мкс. Быстродействующий параллельный АЦП^{8/} работает с частотой 15,6 МГц в течение 16 мкс, что позволяет измерять ионизационные потери энергии на треках частиц.

Сигналы с обоих концов ЛЗ поступают в соответствующий предусилитель, затем в регулирующий усилитель и детектор нулевого уровня, который выдает временную отметку вершины сигнала. Сформированный сигнал поступает дальше в М-ВЦП, откуда информация передается через магистраль КАМАК в ЭВМ.

Рис.4. Блок-схема канала электроники. ЛЗ - линия задержки, ПУ - предусилитель, Д - дискриминатор, У - регулируемый усилитель, ДО - детектор нулевого уровня, М-ВЦП - многостоповый ВЦП, АЦП - быстродействующий параллельный АЦП, ВН - высокое напряжение.



УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

Измерения проводились на трехслойном модуле, конструктивно идентичном 80-слойной ВПК, на пучке 18-го канала ускорителя ИФВЭ /Серпухов/. Схема установки показана на рис.5. Камера размещалась в магните МС-12 с максимальной индукцией поля $B = 1,5$ Тл или на платформе перед магнитом, где ее можно передвигать в горизонтальном направлении /ось X/ на 50 см, в вертикальном /ось Y/ - на 18 см. Координата y измеряется по времени дрейфа электронов, x - вдоль сигнальных проволочек с помощью линий задержки, z - вдоль пучка по номеру сработавшей проволочки. При работе камеры в магните B и E параллельны.

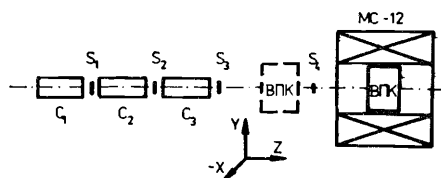


Рис.5. Схема установки. C_1-C_3 - черенковские счетчики, S_1-S_4 - сцинтилляционные счетчики, МС-12 - электромагнит, ВПК - время-проекционная камера.

Испытания ВПК проводились в пучке частиц с энергией 10 ГэВ. Триггер вырабатывался совпадением сцинтилляционных счетчиков S_1-S_4 /диаметр счетчиков S_1-S_3 равен 80 мм, сечение счетчика S_4 5×50 мм²/. Камера продувалась газовой смесью 83% аргона и 17% изобутана при атмосферном давлении. На аноды подается напряжение 1,5÷1,6 кВ, на высоковольтный электрод - 23 кВ, чем создается в дрейфовом объеме однородное поле с напряженностью $E = 650$ В/см.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

ВПК работает в области, где скорость дрейфа электронов практически не зависит от напряженности электрического поля; это приводит к тому, что зависимость "координата - время дрейфа" линейна /рис.6/. Скорость дрейфа электронов, вычисленная из этой зависимости, $w = 4,2$ см/мкс. На рис.7 показаны зависимости времени прохождения сигнала от точки с координатой x до обоих концов линии задержки, из чего скорость прохождения сигнала через ЛЗ $v = 21$ см/мкс.

Зависимость пространственного разрешения σ_y /среднеквадратическая ошибка/ от длины дрейфа электронов приведена

на рис.8. Кривая фитировалась зависимостью $\sigma_y(y) = \sqrt{a_y^2 y + b_y^2}$, причем диффузионный член $a_y = /0,086 \pm 0,003/$ мм/ $\sqrt{\text{см}}$ и аппара-

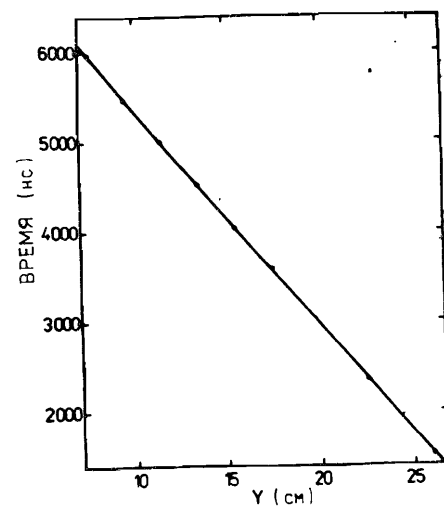
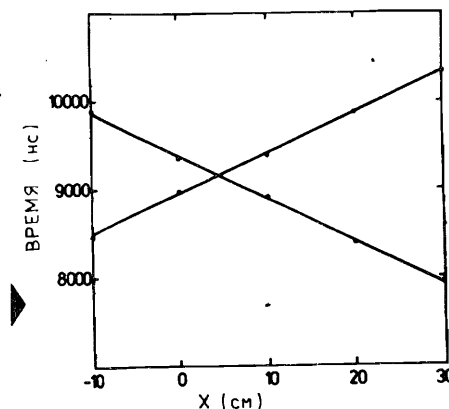


Рис.6. Зависимость времени дрейфа электронов от координаты пучка.

Рис.7. Зависимости времени прохождения сигнала к обоим концам линии задержки от координаты пучка.



турный член $b_y = /0,189 \pm 0,021/$ мм. Пространственное разрешение получено из распределения величин $y_2 - (y_1 + y_3)/2$, где y_1 - координата частицы, измеренная в i -м слое.

Аналогичные распределения строятся и для линий задержки для определения пространственного разрешения при измерении координаты x вдоль сигнальных проволочек, которое при напряжении на управляющей сетке $U_g = 0 \div 50$ В составляет $\sigma_x = 1 \div 1,5$ мм /рис.9/.

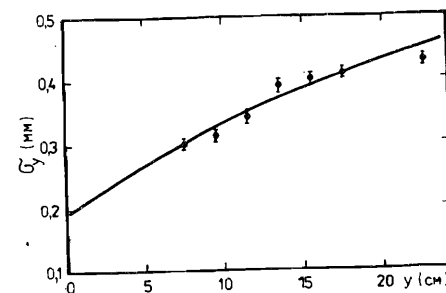
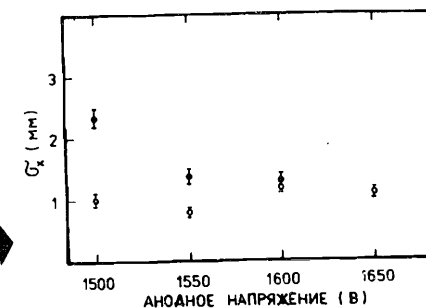


Рис.8. Пространственное разрешение σ_y как функция длины дрейфа электронов y .

Рис.9. Разрешение по линии задержки σ_y как функция анодного напряжения. Полные точки - $U_g = 50$ В, пустые точки - $U_g = 0$.



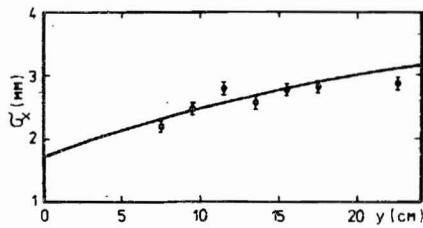


Рис.10. Зависимость разрешения по линии задержки σ_x от длины дрейфа электронов.

Зависимость σ_x от длины дрейфа электронов (y) /при выключенной управляющей сетке/ показана на рис.10. На разрешение влияет размер электронной лавины

на анодной проволочке, который увеличивается с длиной дрейфа электронов, поэтому зависимость описывается функцией $\sigma_x(y) = \sqrt{a_x^2 y + b^2}$, где $a_x = /0,548 \pm 0,022/$ мм/ $\sqrt{\text{см}}$ связан с поперечной диффузией, $b_x = /1,74 \pm 0,074/$ мм.

ДВУХТРЕКОВОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

Система считывания информации с помощью линии задержки позволяет однозначно определять координаты треков частиц /рис.11/, потому что времена, "принадлежащие" каждому треку, взаимосвязаны:

$$t_R + t_L - 2t_d = \text{const} = t_{DL}$$

/1/

где t_R и t_L - времена прихода сигнала на правую и левую стороны ЛЗ соответственно, t_d - время дрейфа электронов, t_{DL} - время прохождения сигнала с одного конца ЛЗ на другой, $t = 0$ - время поступления триггерного сигнала. Для каждого трека в рассматриваемом слое можно выбрать тройку времен t_R, t_L, t_d , удовлетворяющую условию /1/. Это позволяет однозначно определить координаты треков, а также исключить шумовые сигналы в последующей обработке.

Измерялась погрешность определения константы t_{DL} в /1/. Эта погрешность связана прежде всего с временным разрешением камеры и электронной аппаратуры,

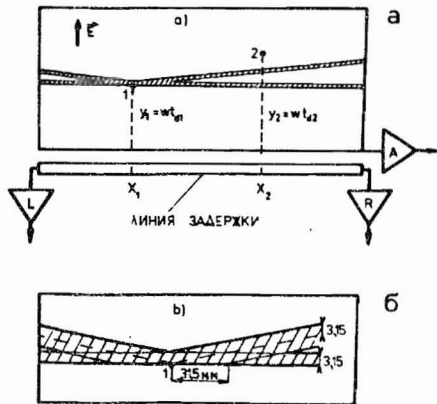


Рис.11. Условия однозначного определения координат трека в одном слое ВПК. В заштрихованной области координаты нельзя определять однозначно.

а также с линейностью функции время-координата. При различных условиях /длина дрейфа, радиационная нагрузка и т.д./ ошибка при измерении константы $\sigma_k = 30 \pm 80$ нс. Если взять, например, $\sigma_k = 50$ нс, то из /1/ получаем выражение

$$|t_R + t_L - 2t_d - t_{DL}| < 150 \text{ нс}, \quad /2/$$

с помощью которого с высокой достоверностью ($3\sigma_k$) определяем времена t_d, t_R, t_L , принадлежащие одному треку. Если в этот интервал /150 нс/ попадают сигналы от двух треков /причем достаточно, чтобы это случилось на любом из выходов, т.е. на аноде, левом или правом конце ЛЗ/, то координаты этих треков нельзя определить однозначно.

Оценим минимальное расстояние по оси $Y \rho_y$, на котором еще можно однозначно определить координаты двух частиц y_1 и y_2 . Пусть $t_{R1} = t_{R2}$ и $t_{L1} = t_{L2}$, для разрешения двух треков

$$|2(t_{d1} - t_{d2})| > 150 \text{ нс},$$

из чего при скорости дрейфа $w = 4,2$ см/мкс $\rho_y = 3,15$ мм. В направлении вдоль сигнальной проволочки, когда частицы имеют одинаковую координату y , т.е. $t_{d1} = t_{d2}$, из /2/ вытекает

$$|t_{L1} - t_{L2}| > 150 \text{ нс}.$$

При скорости распространения сигнала в ЛЗ $v = 21$ см/мкс $\rho_x = 31,5$ мм. На рис.11 показана область /заштрихованная/, связанная с треком I /имеющим наименьшее время дрейфа t_d /, в которой невозможно однозначно определить все координаты других треков. Заштрихованная область представляет собой $\approx 3\%$ чувствительной площади ВПК. Использование описанного метода принесет большую экономию времени при обработке данных, так как позволит исключить ложные треки, возникающие из всех возможных комбинаций измеренных времен, и сразу определить истинные координаты треков в каждом слое ВПК, а также отфильтровать фон.

Разрешение близких треков, однако, определяется мертвым временем электронной аппаратуры τ . По нашим измерениям для анода $\tau_y \approx 90$ нс, из чего $\rho_y = 4,5$ мм /разрабатываемая нами электроника позволит его существенно улучшить/; для ЛЗ $\tau_x = 50$ нс, тогда $\rho_x = 10$ мм. Такое разрешение имеем в каждой проекции (x, z) и (y, z) в отдельности. Когда нужно одновременно определить все координаты трека в пространстве, необходимо применить первый критерий с константой t_{DL} .

ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Трековая эффективность определяется таким образом, что прокладывается трек по точкам в двух слоях и ищется сигнал /точка/ в третьем слое, причем его координата должна попасть в три стандартные отклонения от вычисленной координаты. Эффективность выше 90% во всех слоях по анодам, а также по линиям задержки. На рис.12 приведена зависимость трековой эффективности от длины дрейфа электронов. Отсутствие падения эффективности при большой длине дрейфа свидетельствует о достаточно высокой чистоте газовой смеси, в которой дрейф электронов происходит без существенных потерь.

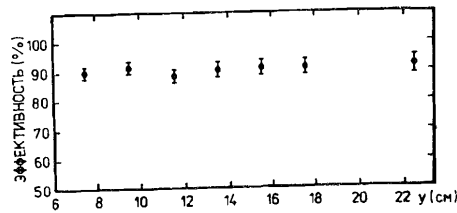


Рис.12. Зависимость трековой эффективности от длины дрейфа электронов.

ВПК В МАГНИТНОМ ПОЛЕ И РАБОТА ТРИГГЕРНОГО ЗАТВОРА

Характеристики ВПК снимались также при ее работе в магнитном поле. Камера размещалась в центре магнита МС-12 /рис.5/ с однородным полем 1,5 Тл в объеме 160 см /по пучку/ x x 80 см x 50 см /высота/, причем $\vec{B} \parallel \vec{E}$. Отклонение пучка с импульсом 10 ГэВ/с в центре камеры составляет при $B = 0,75$ Тл 18 мм. Трековая эффективность при работе ВПК в поле до 1,5 Тл практически не меняется. Пространственное разрешение вдоль сигнальных проволочек σ_x ухудшается при $B = 1,5$ Тл примерно на 24% по сравнению с $B = 0$. Это связано прежде всего с влиянием

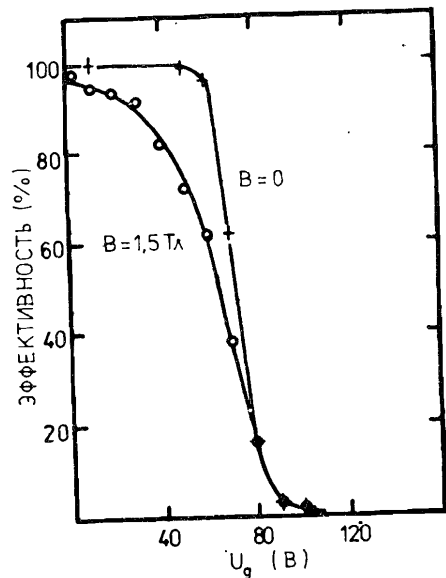


Рис.13. Эффективность ВПК как функция напряжения на сетке U_g .

локальных неоднородностей магнитного поля на траектории электронов.

На рис.13 показана работа запирающей сетки в присутствии магнитного поля и без него. При напряжении на верхней /триггерной/ сетке $U_g \geq +100$ В камера полностью заперта, и электроны не собираются на сигнальных проволочках. При $B = 0$ и $U_g \leq 50$ В камера полностью открыта, и эффективность близка к 100%. При включенном магнитном поле $B = 1,5$ Тл/ переход от закрытой к полностью открытой камере требует более сильного изменения U_g . Видно, что триггерная сетка работает вполне эффективно в магнитном поле и без него.

РАБОТА ВПК ПРИ БОЛЬШИХ ЗАГРУЗКАХ

ВПК проверялась в пучках большой интенсивности, до $5 \cdot 10^5$ част./с. Диаметр пучка при этом был около 10 см.

На рис.14 приведена зависимость трековой эффективности от интенсивности потока частиц. Видно, что эффективность незначительно падает и при потоке $5 \cdot 10^5$ част./с превышает 85%.

Известно, что в ВПК при больших нагрузках в дрейфовом объеме накапливается пространственный заряд, что приводит к деформации треков^{9/}. Этот эффект в трехслойной ВПК невозможно наблюдать, его необходимо изучить в полномасштабной время-проекционной камере.

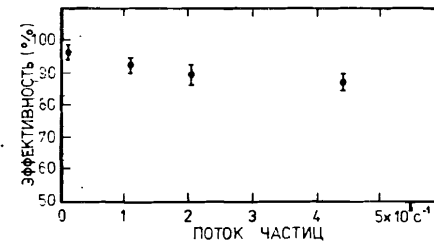


Рис.14. Трековая эффективность как функция интенсивности пучка частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытания показали, что модуль ВПК работает эффективно в присутствии магнитного поля и нагрузке до $5 \cdot 10^5$ част./с. Эффективно работает триггерный затвор. Разрешение в направлении дрейфа электронов составляет $0,2 \pm 0,5$ мм, в направлении вдоль сигнальных проволочек - $1 \pm 1,5$ мм.

Авторы благодарят В.Б.Флягина и В.М.Кутына за внимание и поддержку, а также Г.С.Бицадзе, А.М.Блика, А.А.Олейника и А.С.Соловьева за существенное содействие в проведении данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Clark A.R. et al. - Proposal for PEP Facility Based on TPC, PEP exp. 4, 1976.
2. Nygren D. - Phys.Scripta, 1981, 23, p.584.
3. Sauli F. - The Time Projection Chamber ed. J.A.Mac Donald, N.Y., 1984, p.171.
4. Sauli F. - Z.Phys.C., 1988, 38, p.339.
5. Будагов Ю.А. и др. - Ионизационные измерения в физике высоких энергий. М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Ситар Б. - ЭЧАЯ, 1987, т.18, вып.5, с.1080.
7. Budagov Yu.A. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1985, A234, p.302.
8. Будагов Ю.А. и др. - Приборы и техника эксперимента, 1987, № 4, с.59.
9. Allison W.W.M. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1984, 224, p.396.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 декабря 1988 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.