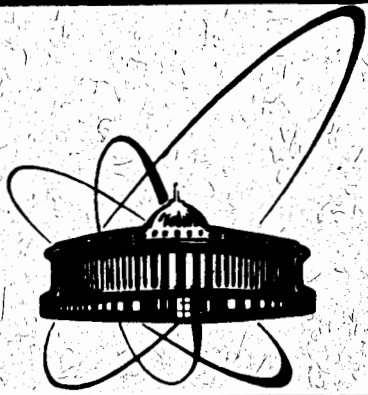


90-70



сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

A 471

Д13-90-70

Г. Д. Алексеев, Ю. Е. Бонюшкин, А. В. Корилов,
З. В. Крумштейн, В. Л. Малышев, Г. В. Мицельмахер,
Б. Фиаловски, Н. Н. Хованский, Г. А. Шелков

ТРЕКОВАЯ СИСТЕМА УКД,
СОВМЕЩЕННАЯ С ДЕТЕКТОРОМ
ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ,
НА ОСНОВЕ ТОНКОСТЕННЫХ
ЛАВСАНОВЫХ ТРУБОК

1. ВВЕДЕНИЕ

В данном варианте трековой системы для УКД предлагается совместить центральную трековую систему (ЦТС) с детектором рентгеновского переходного излучения (ДПИ) на основе тонкостенных цилиндрических трубок, называемых "соломой" ("straw"-tubes) ^{1,2/}. Подобные детекторы рассматриваются как серьезная альтернатива для традиционных трековых систем (дрейфовых камер) на коллайдерных установках. Уже созданы вершинные камеры на основе straw-tubes для установок MAC и MARK III ^{3,4/}, существуют проект вершинной камеры для установки КЕДР (Новосибирск) ^{5/} и предложение по трековой системе для SSC ^{6/}.

В предлагаемом варианте помимо своих обычных задач, то есть восстановления траекторий заряженных частиц, определения импульса и знака заряда частиц, разделения частиц в струях и других, ЦТС, совмещенная с ДПИ, решает также задачу идентификации электронов. Используя трековую и калориметрическую информацию, можно достичь уровня режекции адронов от электронов ^{7/} $\sim 10^{-3}$. ДПИ в данном варианте позволяет подавить адронный фон еще в 10-100 раз в диапазоне энергий от 2 до 200 ГэВ.

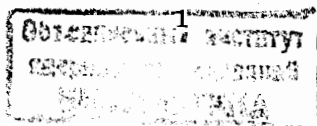
Целью работы была также оптимизация геометрической структуры ЦТС с ДПИ с точки зрения импульсного разрешения и режекции пионов.

2. ДОСТОИНСТВА ТРЕКОВОЙ СИСТЕМЫ С ДПИ НА ОСНОВЕ STRAW-TUBES

"Солома" представляет собой обычную цилиндрическую дрейфовую трубку небольшого диаметра с катодом, изготовленным из алюминизированного лавсана. Для УКД предлагается использовать трубки со следующими характеристиками:

- внутренний диаметр: 5 мм;
- толщина стенки: 30 мкм — два слоя лавсана по 12 мкм и 5 ÷ 6 мкм клея;
- анод: проволока диаметром 30 мкм с резистивностью ≈ 90 Ом/см ^{8/}

© Объединенный институт ядерных исследований Дубна, 1990



Применение "солемы" имеет следующие достоинства.

1. Трековая система на основе "солемы" допускает модульную структуру, что существенно упрощает эксплуатацию и увеличивает надежность всей системы.

2. Надежность. Отсутствует огромное количество катодных проволок. Обрыв хотя бы одной из десятков (или сотен) тысяч проволок обычной дрейфовой камеры может выключить заметную часть трековой системы; обрыв одной проволоки в "солеме" выключает только одну цилиндрическую ячейку.

3. В результате совмещения ЦТС с ДПИ отпадает необходимость в создании специальных пропорциональных камер для ДПИ.

4. Прочностные свойства лавсана (при малой радиационной толщине) позволяют надежно работать с газовой смесью при давлении $\sim 3 \div 4$ атм, что значительно улучшает координатное разрешение $\sigma_{r\phi}$ (со ≈ 100 мкм при 1 атм до ≈ 40 мкм)^{/9/} при использовании простой электроники. Это позволяет практически без потерь в импульсном разрешении сделать ЦТС более компактной. При этом существует возможность поместить жидкоаргоновый калориметр УКД целиком или его электромагнитную часть внутри сверхпроводящего соленоида, что улучшает энергетическое разрешение^{/10/} и, кроме того, удешевляет его благодаря уменьшению количества урана.

5. Малый размер ячеек существенно упрощает работу трековой системы при больших нагрузках, ожидаемых на УНК:

- существенно падает вероятность событий с несколькими треками в одной ячейке;
- возрастает быстродействие системы;
- уменьшается влияние магнитного поля и его неоднородности;
- уменьшается эффект пространственного заряда ионов.

6. При больших нагрузках с особой остротой стоит проблема старения детекторов. Малый размер ячейки существенно снижает скорость накопления заряда на единице длины анодной проволоки (один из параметров старения); кроме того, сплошной, а не проволочный катод уменьшает проблемы с катодной полимеризацией, являющейся причиной самоподдерживающегося разряда.

7. Простота электроники. Для получения хорошего временного разрешения и π/e -режекции методом счета кластеров^{/11/} нет необходимости использовать АЦП с параллельным вводом; достаточно простой пороговой электроники.

Необходимо отметить и сложности, возникающие при создании и эксплуатации трековой системы на основе "солемы".

Во-первых, необходима несомненно высокая культура технологии изготовления.

Во-вторых, наличие повышенного давления рабочего газа выдвигает требование высокого запаса прочности (коэффициент $\sim 3-4$) на разрыв детекторов и утечку газа, то есть необходима механическая прочность системы вплоть до давлений $\approx 10 \div 12$ атм.

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

3.1. Общая компоновка

Трековая система УКД служит для восстановления траекторий заряженных частиц в широком диапазоне импульсов в телесном угле $\sim 4\pi$.

Часть трековой системы, совмещенной с ДПИ, которая может быть сделана из "солемы", показана на рис. 1. Она включает в себя:

- вершинный детектор;
- центральную трековую систему, совмещенную с ДПИ, покрывающую диапазон по полярному углу от 36° до 144° ;
- торцевые части, регистрирующие частицы в диапазоне углов от 2° до 36° и от 144° до 178° .

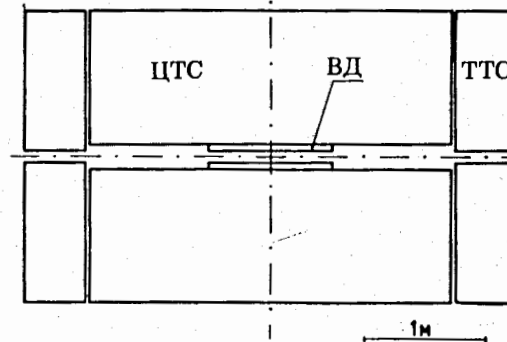


Рис. 1. Компоновка трековой системы УКД. ВД — вершинный детектор, ЦТС — центральная трековая система, ТТС — торцевая трековая система.

3.2. Вершинный детектор

Вершинный детектор (см. рис. 1) имеет размеры от 5 до 10 см по радиусу и 1 м в длину. Он состоит из 5 суперслоев трубок по 2 слоя в каждом (рис. 2). Трубки диаметром 5 мм имеют резистивное катодное покрытие, благодаря чему возможен съем координатной информации при помощи внешних стрипов, наклеенных на трубки с шагом 5 мм, что должно дать координатную точность вдоль оси $Z \sigma_z \leq 250$ мкм, то есть не хуже 5% от ширины стрипа^{/12/}.

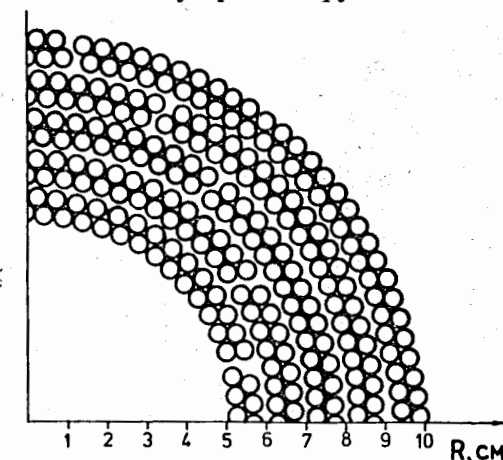


Рис. 2. Геометрическая структура вершинного детектора.

Общее количество трубок вершинного детектора составляет 9100 штук. Общее число стрипов ≈ 1000 .

3.3. Центральная трековая система и детектор переходного излучения

Центральная трековая система с детектором переходного излучения имеет цилиндрическую форму и размеры по радиусу от 10 до 120 см и 300 см в длину. Ее геометрическая структура (рис. 3) является результатом оптимизации по импульсному разрешению и коэффициенту режекции пионов (см. раздел 4). Внешний радиус ЦТС выбран с учетом возможных размеров уранового калориметра. Однако рабочие характеристики предлагаемой трековой системы не критичны к небольшим изменениям внешнего радиуса.

Первые шесть суперслоев занимают от 10 до 32 см по радиусу и содержат каждый по четыре слоя трубок диаметром 5 мм. Такая частая структура облегчает распутывание треков вблизи вершины взаимодействия.

Следующие 8 суперслоев занимают по радиусу от 33 до 120 см и изготавливаются также из трубок диаметром 5 мм. Каждый суперслой содержит 90 полипропиленовых фольг толщиной 20 мкм, в которых генерируется переходное излучение; два слоя трубок, наполненных смесью на основе Хе, для регистрации рентгеновских γ -квантов и четыре слоя трубок, дающих координатную информацию (рис. 4).

Все суперслои разбиваются на модули, которые стыкуются так, что мертвые зоны не образуются (рис. 4).

Для определения Z-координаты предполагается использовать комбинацию метода разделения заряда, дающего точность $\sim 1\%$ длины анодной проволоки $^{18/}$ (3 см на длине 3 м), и метода стереопроекции. Для осуществления последнего трубки в нечетных суперслоях направлены параллельно оси пучка, а в четных — повернуты на 1° . В результате можно определить Z-координату с точностью ~ 1 мм. Общее

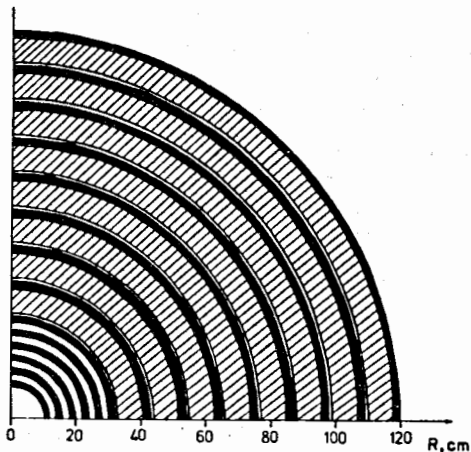
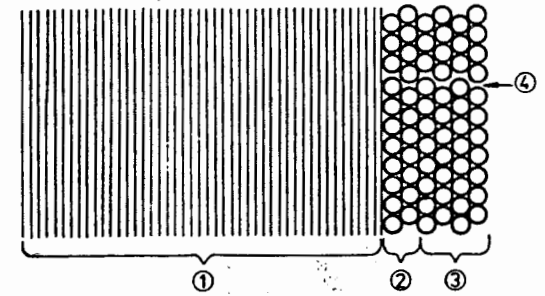


Рис.3. Геометрическая структура ЦТС, совмещенной с ДПИ. Черным цветом показаны слои трубок ЦТС и ДПИ, заштрихованы стопки полипропиленовых фольг ДПИ.

Рис. 4. Структура суперслоя ЦТС-ДПИ: 1 — стопка из 90 полипропиленовых фольг по 20 мкм; 2 — два слоя трубок, наполненных газовой смесью на основе Хе, для регистрации рентгеновских γ -квантов переходного излучения; 3 — четыре слоя трубок трековой системы; 4 — стык модулей.



количество трубок в центральной трековой системе составляет 37800 штук, в детекторе переходного излучения — 15900.

Приведенная компоновка центральной трековой системы и детектора переходного излучения должна обеспечить:

— погрешность измерения поперечного импульса $^{13/}$:

$$\frac{\sigma_{p_t}}{p_t} = \frac{\sigma_{r\phi} p_t (\text{ГэВ}/c)}{0,3 B L^2} \sqrt{\frac{720}{N+5}} \oplus \frac{0,053}{B L \beta} \sqrt{\frac{L}{X_0}} \approx 1,9 \cdot 10^{-4} p_t \oplus 7,8 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где $\sigma_{r\phi} = 30$ мкм — координатная точность в плоскости $r\phi$, $B = 1,5$ Тл; — напряженность магнитного поля в объеме детектора, $L = 1,1$ м — длина детектора по радиусу, $N = 56$ — число измерений вдоль трека (число слоев трековой системы), $\beta = 1$ — относительная скорость, толщина системы равна $L/X_0 = 0,065$. Относительно высокая точность измерения координаты достигается благодаря использованию газовой смеси при повышенном давлении, что увеличивает плотность первичной ионизации, уменьшает диффузию и, следовательно, сокращает их вклад в координатную точность. Символ \oplus означает квадратичное сложение;

— двухтрековое разрешение не хуже $\sim 2-2,5$ мм (половина диаметра элементарной ячейки).

3.4. Торцевая трековая система (ТТС)

Две части (правая и левая) ТТС занимают пространство от 150 до 200 см (и от -150 до -200 см) от места пересечения пучков вдоль оси Z и от 5 до 120 см по радиусу (см. рис.1). Каждая часть состоит из 12 суперслоев по 2 слоя трубок диаметром 5 мм в каждом. Суперслой состоит из двух симметричных частей, каждая из которых набирается из 12 модулей шириной по 10 см, ориентированных параллельно

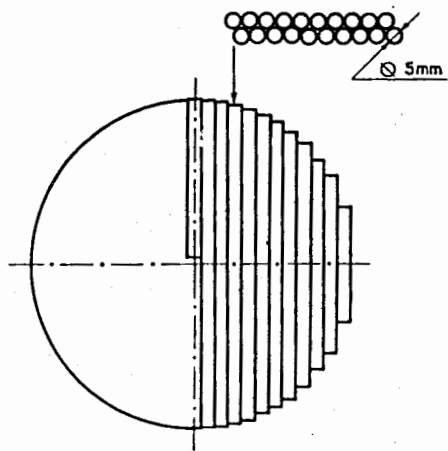


Рис.5. Структура суперслоя торцевой части трековой системы.

друг другу и перпендикулярно пучку (рис. 5). Суперслои повернуты друг относительно друга на угол 30° . Общее число трубок в обеих частях торцевой трековой системы составит 23000 штук.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ОДИНОЧНОГО ТРЕКА И РЕЖЕКЦИИ ПИОНОВ В ЦТС — ДПИ

При подготовке данного варианта было проведено моделирование прохождения одиночной частицы через описанную трековую систему с последующим "детектированием" и вычислением поперечного импульса по кривизне дуги. При координатном разрешении $\sigma_{r\phi} = 30$ мкм, индукции магнитного поля $B = 1,5$ Тл и количестве вещества $6,5\% X_0$ (толщина стенок трубок $s = 30$ мкм) получен следующий результат для разрешения по поперечному импульсу:

$$\frac{\sigma_{p_t}}{p_t} = 1,85 \cdot 10^{-4} p_t \oplus 6,7 \cdot 10^{-3}.$$

Зависимости разрешения по p_t от p_t приведены на рис. 6 для $\sigma_{r\phi} = 30$ мкм (сплошная линия) и 50 мкм (пунктирная).

Промоделировано также влияние на измерение поперечного импульса увеличения количества вещества в ЦТС из-за утолщения стенок трубок ($s = 50$ и 100 мкм, что соответствует количеству вещества $\sim 7,8\% X_0$ и $\sim 11,1\% X_0$). Разрешение в области малых импульсов незначительно ухудшается при этом (рис. 7) из-за многократного рассеяния. Приведенные результаты моделирования хорошо согласуются с расчетами по формуле (1).

При помощи программ, проверенных на действующих детекторах переходного излучения, был оптимизирован ДПИ для данной геометрии трековой системы (см. п. 3). Были зафиксированы следующие геометрические параметры:

Рис. 6. Зависимость разрешения по поперечному импульсу от поперечного импульса при различных значениях координатного разрешения $\sigma_{r\phi}$: сплошная линия — $\sigma_{r\phi} = 30$ мкм, пунктирная — $\sigma_{r\phi} = 50$ мкм.

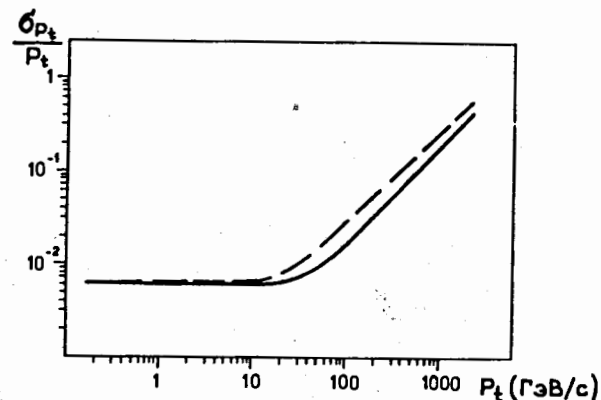
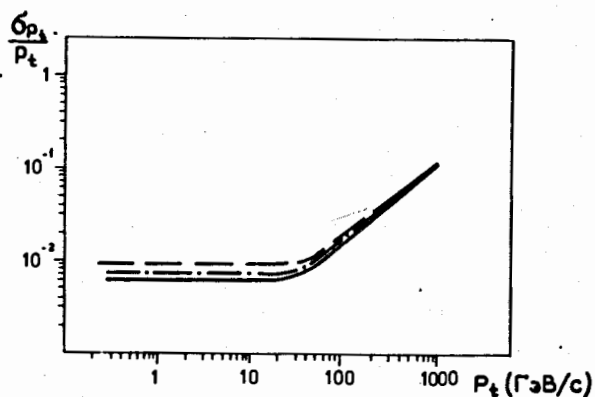


Рис. 7. Зависимость разрешения по поперечному импульсу от поперечного импульса при различных значениях толщины стенок трубок s : сплошная линия — $s = 30$ мкм, штрих-пунктирная — $s = 50$ мкм, пунктирная — $s = 100$ мкм.



- количество вещества, приходящееся на фольги ДПИ, $\approx 3\% X_0$;
 - длина по радиусу — ≈ 90 см.
- Параметры оптимизации:
- число слоев радиатор — детектор;
 - число фольг в каждом слое;
 - суммарная толщина ксенона в трубках;
 - толщина стенок трубки.

Получено, что выход γ -квантов переходного излучения и их регистрация слабо зависят от числа слоев радиатор — детектор, поэтому было выбрано число 8 как оптимальное с точки зрения геометрии. Для дальнейшей оптимизации изучались режекционные свойства системы из 8 слоев радиатор — детектор при использовании метода счета кластеров

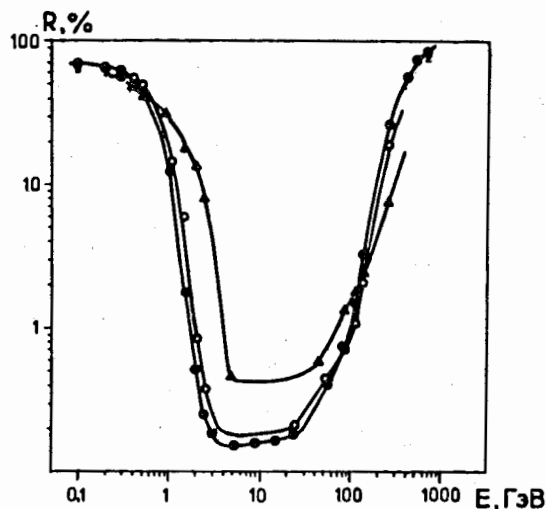


Рис. 8. π/e -режекция в зависимости от энергии частицы для различных углов к направлению пучка:

- — 90° ;
- — 60° ;
- ▲ — 30° .

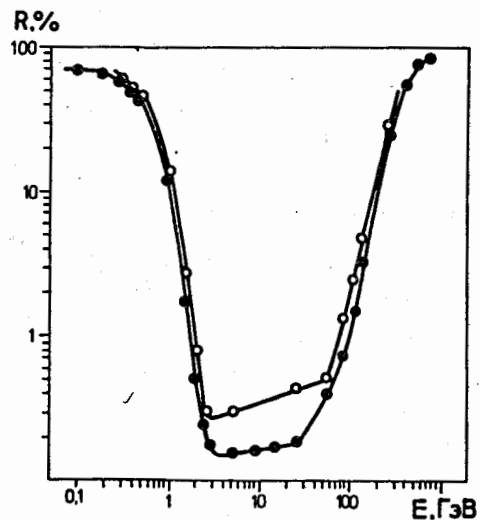


Рис. 9. π/e — режекция при изменении толщины лавсановых стенок трубки s :

- — $s = 30$ мкм;
- — $s = 50$ мкм.

ионизации вдоль трека 11 : радиатор — полипропиленовые фольги, детектор — два слоя тонкостенных лавсановых трубок диаметром 5 мм.

Получено, что оптимум соответствует случаю, когда каждый слой со-

держит 90 20-мкм фольг и общая толщина ксенона составляет 8 см при нормальных условиях ($0,468 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$).

Режекция пионов от электронов (доля пионов при 90-процентной эффективности регистрации электронов, порог дискриминатора 4,5 кэВ) приведена на рис. 8 для полярных углов 90° , 60° и 30° . Видно, что в диапазоне энергий от 2 до 200 ГэВ вероятность принять пион за электрон составляет $1 \div 10\%$. Приведены также кривые режекции для различной

толщины стенок трубок s (рис. 9, $s = 30$ мкм и 50 мкм). Режекция ухудшается незначительно, следовательно, при изготовлении трубок можно использовать более толстый и прочный лавсан.

Следует заметить, что при моделировании прохождения частиц через ДПИ не учитывалась возможность прохождения двух треков через одну ячейку, что очень вероятно в условиях больших загрузок УКД, особенно во внутренних слоях, и другие явления, при которых возможно превышение порога дискриминатора в отсутствие кванта переходного излучения и, как следствие, ухудшение режекции в несколько раз.

В заключение авторы выражают благодарность А.Г.Чилингарову, И.Паточке, В.В.Токменину, Е.Таряну, Д.М.Хазинсу, Ю.В.Седых, А.Г.Ольшевскому за помощь в работе и полезные обсуждения, И.К.Прохорову за техническую помощь, Е.В.Абазовой за помощь в оформлении работы.

Авторы особо признательны сотрудникам МИФИ В.М.Чернятину и А.В.Сумарокову за предоставление программ моделирования процессов в ДПИ, консультации и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г.Д. и др. — УКД-УНК (88-05), п.6, Серпухов, 1988.
2. Cheryatin V. et al. — The Development of TRD for High Luminosity Colliders, Proposal for LAA, CERN (1989). Described by B.Dolgoshein and by C.Fabian at the ECFA Study Week on Instrumentation for High Luminosity Hadron Colliders, Barcelona, Spain (September 1989).
3. Ash W.W. et al. — SLAC-PUB-4047, 1986.
4. Adler J. et al. — SLAC-PUB-4371, 1987.
5. Aulchenko V.M. et al. — Nucl.Instr.Meth., 1989, A283, p.528.
6. DeSalvo R. — Preprint CLNS 87/52, Ithaca, 1987.
7. Универсальный калориметрический детектор — установка для экспериментов на встречных пучках (предложение эксперимента). ИФВЭ, Серпухов, 1988, с.IV.3-1.
8. Biino C. et al — Nucl. Instr. Meth., 1988, A271, p.417.
9. Alekseev G.D. et al. — JINR Rapid Communications No.2(41)-90, Dubna, 1990.
10. Кистенев Э.Г. — УКД-УНК (88-15), п.5, ИФВЭ, Серпухов, 1988.
11. Fabian C.W. et al. — Nucl. Instr. Meth., 1987, 185, p.119.
12. Gatti E., Londoni A. — Nucl. Instr. Meth., 1979, 163, p.83.
13. Particle Properties Data Booklet. North-Holland, Amsterdam, April 1988, p.88-89.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 февраля 1990 года.