



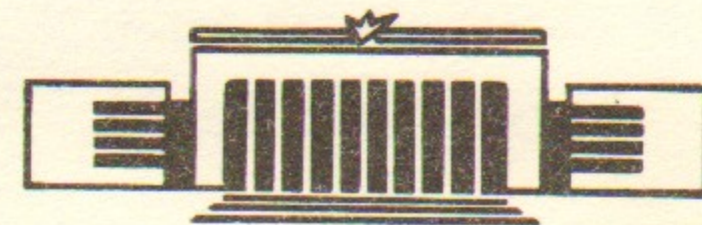
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

33

Ю.Н. Пестов, К.Н. Путилин

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ИСКРОВЫХ СЧЕТЧИКОВ  
ДЛЯ ВРЕМЯПРОЛЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ  
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКАХ

ПРЕПРИНТ 86-57



НОВОСИБИРСК

1986

## АННОТАЦИЯ

Описывается проект тонкой по веществу времяпролетной системы на основе искровых счетчиков с локализованным разрядом. Средняя толщина вещества двух слоев счетчиков составляет 0,1 рад. длины. Временное разрешение каждого счетчика 25 пс позволяет на базе пролета 1 метр на уровне  $2\sigma$  разделить пионы и каоны до импульсов 2,7 ГэВ/с, протоны и каоны до 4,6 ГэВ/с.

## ВВЕДЕНИЕ

Для искрового счетчика с локализованным разрядом площадью  $100 \text{ см}^2$  получено временное разрешение  $\approx 25 \text{ пс}$  [1]. Принцип работы счетчика таков, что характеристики пробоя не зависят от площади искрового счетчика [2]. Для больших площадей счетчиков задача сводится к передаче без искажений сигнала от места пробоя к регистрирующей аппаратуре. В работе [3] на эквивалентном макете счетчика длиной 120 см было показано, что при выполнении определенных условий передача сигнала происходит практически без потерь. Экспериментальные счетчики, изготовленные с учетом этих условий, длиной 1,2 метра в СЛАКе (США) [4] и 1,5 метра в ИЯФе (Новосибирск) [5] подтвердили эти выводы. В СЛАКе заканчивается сооружение двух искровых счетчиков длиной 3 метра\*. Таким образом, вскоре, по-видимому, будет открыта реальная возможность использования искровых счетчиков с локализованным разрядом в крупномасштабных детекторах.

В первой части данной работы обсуждается вопрос об эффективности использования высокого временного разрешения счетчиков для времяпролетных измерений в экспериментах на встречных пучках. Новая ситуация состоит в том, что временное разрешение счетчиков становится лучше точности привязки к моменту вылета частиц из области взаимодействия, которая определяется длиной сгустка встречных пучков.

Ряд проектов современных детекторов на встречных пучках

\* W. B. Atwood — частное сообщение.

[6, 7] нацелен на регистрацию фотонов с возможно лучшим энергетическим разрешением. С целью сохранения этого разрешения времяпролетная система для идентификации заряженных частиц в этих детекторах, располагаемая перед калориметром, должна содержать малое количество вещества. Во второй части данной работы рассматриваются вопросы, связанные с минимизацией вещества в искровых счетчиках. Показано, что средняя толщина счетчика в 0,05 рад. длин является вполне реальной. В третьей части проводится обсуждение характеристик предлагаемой времяпролетной системы.

### 1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ АДРОНОВ ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА НА ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКАХ

Анализ данных по времени пролета на встречных пучках обычно опирается на величину временной задержки появления сигнала со счетчиков относительно фазы сигнала от сгустка частиц в накопителе. Точность измерения времени пролета определяется временным разрешением счетчика и точностью привязки к моменту вылета частиц из области взаимодействия. Привязка к фазе сгустка может быть сделана идеальной, однако момент вылета частиц имеет разброс, определяемый длиной сгустка встречных пучков. Для обычно используемых времяпролетных систем на основе сцинтилляционных счетчиков временное разрешение хуже точности привязки к моменту вылета частиц. Для высокого временного разрешения искровых счетчиков ситуация может оказаться противоположной. В качестве примера рассмотрим случай электрон-позитронного накопителя ВЭПП-4, Новосибирск, на энергию  $2 \times 5$  ГэВ. Длина сгустка здесь обеспечивает точность определения момента вылета частиц  $\sigma = 120$  пс. Приведем для этого случая анализ по идентификации адронов при временном разрешении искровых счетчиков  $\sigma_{сч} = 25$  пс на базе пролета 1 метр на уровне  $2\sigma$ .

Для событий с одной зарегистрированной частицей идентификация определяется точностью знания момента вылета частиц  $\sigma = 120$  пс. Пионы и каоны разделяются до импульсов  $P_{\pi K} \leq 1,22$  ГэВ/с, каоны и протоны до  $P_{Kp} \leq 2,0$  ГэВ/с. В случае двух и более зарегистрированных частиц в многочастичном событии высокое временное разрешение счетчиков эффективно используется для разделения. Рассмотрим два класса событий.

**1-ый класс.** Одна из зарегистрированных частиц имеет импульс меньше 1,2 ГэВ/с и, следовательно, идентифицируется по привязке

к фазе. Тогда вид любой другой частицы в данном событии также определится. При этом используется факт одновременного вылета частиц из точки взаимодействия. Величина максимального импульса, до которого возможна идентификация на уровне  $2\sigma$ , соответствует временному разрешению  $\hat{\sigma} = \sqrt{2} \sigma_{сч} = 35$  пс, и для двух зарегистрированных частиц составляет:  $P_{\pi K} \leq 2,3$  ГэВ/с,  $P_{Kp} \leq 3,9$  ГэВ/с. При увеличении числа зарегистрированных в событии частиц улучшается точность временной привязки к моменту взаимодействия и максимальный импульс идентифицированных частиц стремится к случаю нулевой длины области встречи:  $P_{\pi K} \leq 2,7$  ГэВ/с,  $P_{Kp} \leq 4,6$  ГэВ/с. Заметим, что распределение адронов по импульсу в области ипсилон-частиц имеет максимум при импульсе 0,3 ГэВ/с (рис. 1) и доля частиц с импульсом больше 1,2 ГэВ/с по отношению к числу частиц с импульсом больше 0,3 ГэВ/с составляет  $\sim 15\%$ \*. Ясно, что увеличение числа частиц в событии увеличивает долю событий, имеющих хотя бы одну частицу с импульсом ниже 1,2 ГэВ/с. Двухфотонная физика является, по-видимому, еще менее энергоемкой, поскольку большая доля энергии уносится начальными электронами.

**2-й класс.** Импульс любой частицы в событии превышает 1,2 ГэВ/с. Сначала рассмотрим случай, когда при многочастичном событии системой зарегистрировано 2 частицы. Протоны идентифицируются до импульса 2,0 ГэВ/с с помощью привязки к фазе. Пары частиц  $\pi K$  отделяются от пар идентичных частиц  $\pi\pi$  и  $KK$  по разнице задержек срабатывания искровых счетчиков. Так как в паре  $\pi K$  одна из частиц всегда совпадает с частицей из пары идентичных частиц, то степень отличия пар определяется точностью разделения  $\pi$  и  $K$ . Таким образом, смешанные пары частиц отличаются от идентичных вплоть до импульса 2,3 ГэВ/с (1-ый класс). Ясно, что  $\pi$  и  $K$  в смешанной паре идентифицируются до того же импульса. Пары идентичных частиц  $\pi\pi$ ,  $KK$  в ограниченном интервале близких импульсов отличить по разнице времен пролета в счетчиках невозможно. Величина этого интервала зависит от наименьшего из импульсов двух частиц. Для разделения пар  $KK$  и  $\pi\pi$  при  $P_{\min} = 1,2$  ГэВ/с «окно неразличимости» по импульсу для второй частицы составляет  $1,2 \text{ ГэВ/с} \leq P_2 \leq 1,4 \text{ ГэВ/с}$ , для  $P_{\min} = 1,5$  ГэВ/с:  $1,5 \text{ ГэВ/с} \leq P_2 \leq 2 \text{ ГэВ/с}$ . Вопрос с отделением пар  $pp$  от  $KK$  возникает для импульсов, больших 2 ГэВ/с, где «не работает» привязка к фазе. При  $P_{\min} = 2,1$  ГэВ/с нет разделения в

\* С. И. Эйдельман — частное сообщение.

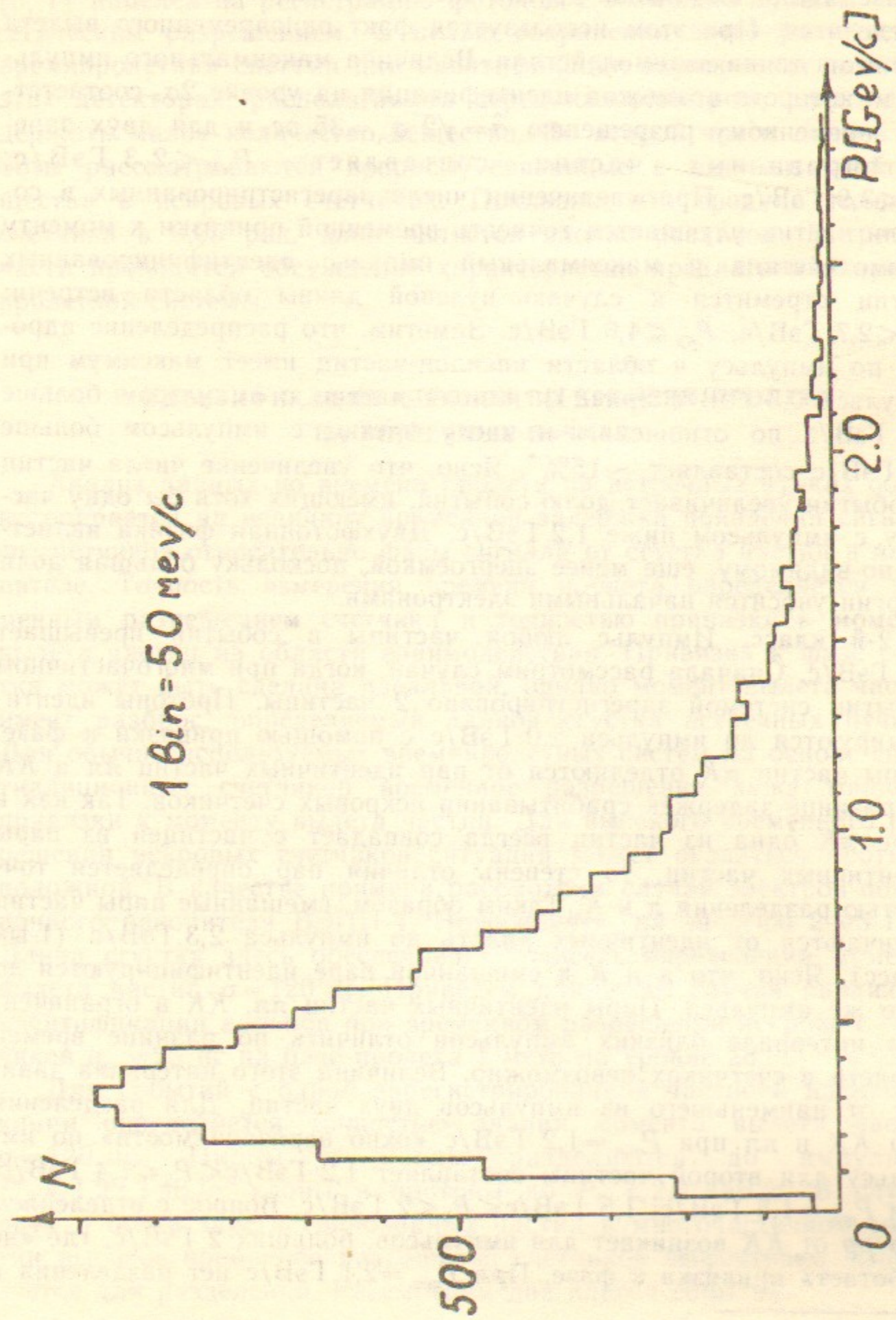


Рис. 1. Спектр прямых пионов при распаде резонанса  $\Upsilon(2S)$ .

интервале  $2,1 \leq P_2 \leq 2,4$  ГэВ/с, при  $P_{\min} = 3$  ГэВ/с — в интервале  $3 \leq P_2 \leq 4$  ГэВ/с. При регистрации системой в событии нескольких одинаковых частиц, принадлежащих к данному классу, интервал импульсов, где нет разделения, сохраняется. Однако, существенно сокращается число таких событий из-за малой вероятности всем частицам иметь близкие импульсы.

Таким образом, времяпролетная система на основе искровых счетчиков с разрешением  $\sigma_{\text{сч}} = 25$  нс при длине области взаимодействия  $\sigma = 120$  пс на базе пролета один метр на уровне  $2\sigma$  позволяет идентифицировать частицы вплоть до импульсов  $P_{\text{лк}} \leq 2,7$  ГэВ/с,  $P_{\text{кр}} \leq 4,6$  ГэВ/с. К числу неидентифицированных событий относятся лишь события с одинаковыми частицами, имеющими близкие по величине импульсы.

## 2. МИНИМАЛЬНАЯ ТОЛЩИНА ВЕЩЕСТВА ИСКРОВОГО СЧЕТЧИКА

Познакомимся с конструктивными особенностями искрового счетчика с локализованным разрядом на примере принципиальной

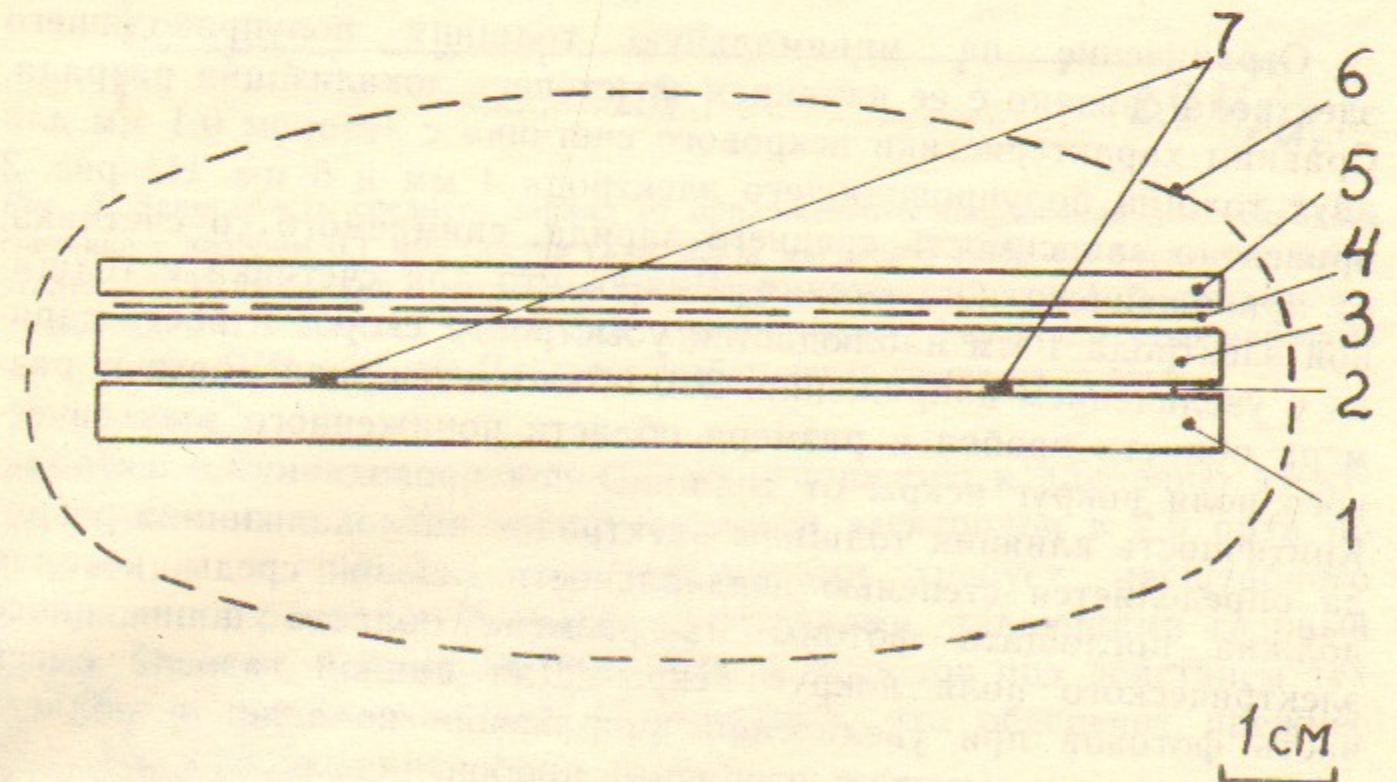


Рис. 2. Принципиальная конструкция искрового счетчика с локализованным разрядом [5]:

1 — катод из обычного стекла с проводящим покрытием; 2 — газовый зазор; 3 — анод из полупроводящего стекла; 4 — проводящие полоски для снятия сигнала; 5 — пластина из диэлектрика; 6 — контейнер; 7 — проставки, задающие газовый зазор.

конструкции счетчика площадью  $10 \times 150 \text{ см}^2$ , описанной в докладе [5]. Искровой счетчик представлял собой два плоскопараллельных электрода 1 и 3 (рис. 2), разделенных газовым зазором 2. Величина газового зазора задавалась проставками 7. Катод выполнен из обычного стекла толщиной 5 мм с проводящим покрытием, нанесенным со стороны газового зазора. Сигнал при пробое распространяется между проводящими полосками 4, нанесенными на внешнюю по отношению к зазору сторону полупроводящего электрода 3 толщиной 5 мм, и проводящим покрытием на катоде 1. Сверху полосок расположена пластина из диэлектрика 5 толщиной 3 мм для улучшения волновых свойств полосковых линий длинного счетчика [3]. Счетчик помещен в алюминиевый контейнер с толщиной стенок 5 мм. Контейнер заполнен газовой смесью под давлением 12 атм. Полная толщина вещества счетчика составляет 0,23 рад. длин. Около половины вещества приходится на стенки контейнера, половина — на электроды с диэлектрической пластиной. Рассмотрим возможности по уменьшению количества вещества в счетчике.

### 2.1. Выбор толщины электродов счетчика

Ограничение на минимальную толщину полупроводящего электрода связано с ее влиянием на степень локализации разряда. Сравним характеристики искрового счетчика с зазором 0,1 мм для двух толщин полупроводящего электрода 1 мм и 5 мм. На рис. 3 приведена зависимость среднего заряда, снимаемого со счетчика, от приложенного напряжения. Видно, что для счетчика с толщиной электрода 1 мм наблюдается ускорение скорости роста заряда с увеличением напряжения. Это объясняется зависимостью размера области пробоя и размера области пониженного электрического поля вокруг искры от толщины полупроводящего электрода. Критичность влияния толщины электродов на локализацию разряда определяется степенью неидеальности газовой среды, которая должна поглощать фотоны на размере области пониженного электрического поля вокруг искры. Для данной газовой смеси часть фотонов при увеличении напряжения попадает в область сильного поля и вызывает вторичные пробои.

Толщина полупроводящего электрода, равная 2 мм, по-видимому, еще обеспечит условия локализации, близкие к результатам с электродом толщиной 5 мм. Толщина второго электрода может быть выбрана также 2 мм, так как единственным ограничением на ее величину, которое относится и к полупроводящему электроду,

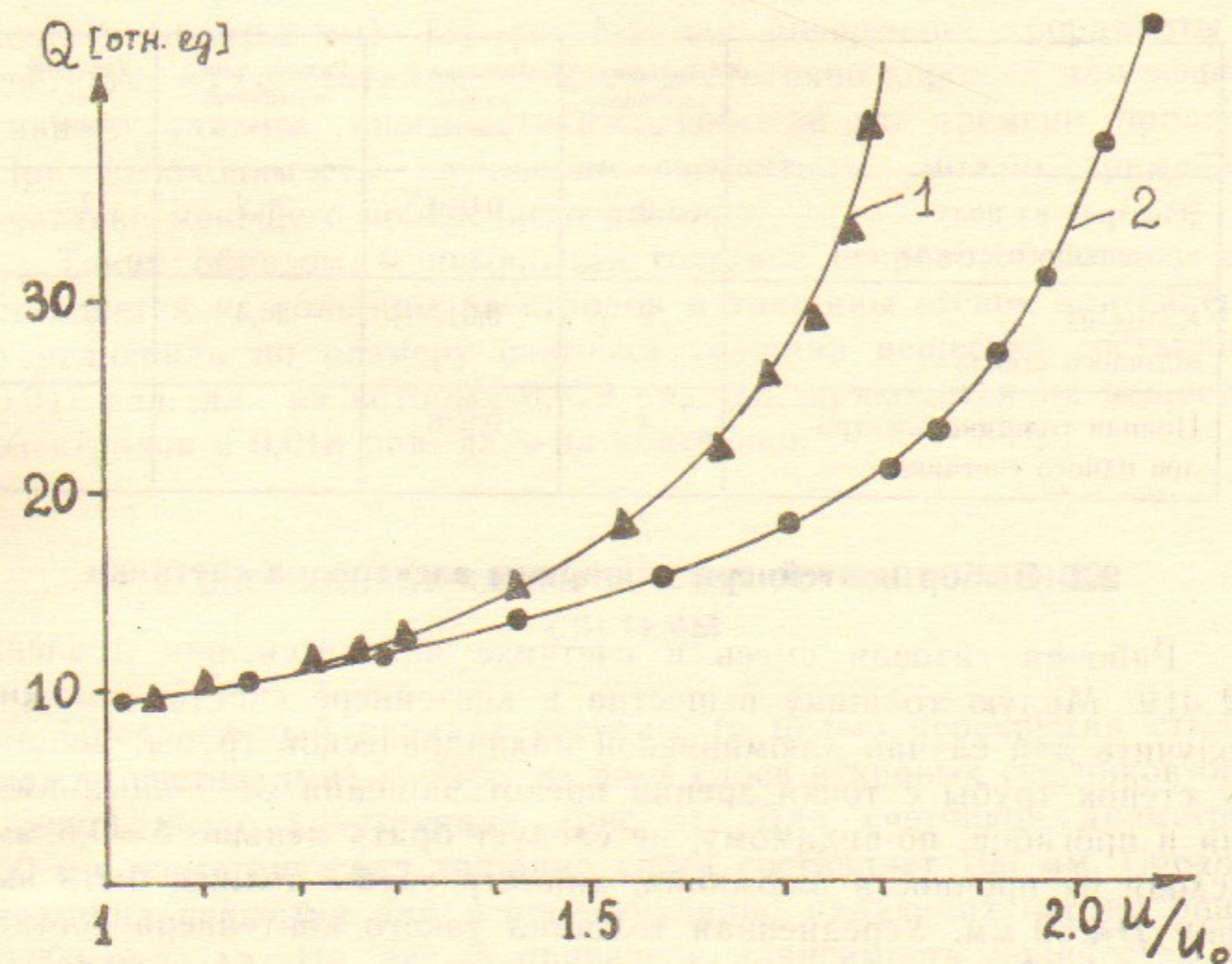


Рис. 3. Зависимость среднего заряда от приложенного напряжения для искрового счетчика с зазором 0,1 мм. Состав газа: 2,5% метилалая, 2,5% 1,3 бутадиена, 1,9% этилена, 10% изобутана и остальное аргон при давлении 12 атм. 1, 2 — толщина полупроводящего электрода 1 мм и 5 мм, соответственно. Амплитуды отнормированы при  $U/U_0 = 1,1$ , где  $U_0$  — порог срабатывания счетчиков от частиц.

является достаточная жесткость по отношению к давлению электростатических сил. Уменьшение толщин электродов в 2,5 раза по сравнению с работающими счетчиками требует масштабного уменьшения расстояния между проставками, задающими газовый зазор. При этом величины прогибов электродов под действием тех же электростатических сил сохраняются, что обеспечит прежние временные разрешения.

Данные по материалу электродов счетчика приведены в таблице 1.

Таблица 1

	Толщина электрода, мм	Толщина в радиац. длинах	Радиац. длина материала, г/см <sup>2</sup>	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>
Электрод из полупроводящего стекла	2	0,019	26,2	2,5
Катод из обычного стекла	2	0,017	26,4	2,2
Полная толщина электродов одного счетчика	4	0,036		

## 2.2. Выбор контейнера и ширины электродов счетчика

Рабочая газовая смесь в счетчике находится при давлении 12 атм. Малую толщину вещества в контейнере счетчика можно получить для случая алюминиевой цилиндрической трубы. Толщину стенок трубы с точки зрения предотвращения случайных вмятин и прогибов, по-видимому, не следует брать меньше  $\delta = 0,5$  мм. Исходя из прочности алюминия, диаметр трубы должен быть выбран  $D \leq 50$  мм. Усредненная толщина такого контейнера составляет  $\pi\delta = 0,018$  рад. дл., что в два раза меньше количества вещества в электродах счетчика.

Ширину электродов счетчика для диаметра трубы 50 мм удобно выбрать 40 мм, оставив 9 мм на конструктивный размер поддержек электродов. Заметим, что выбранная ширина электродов как раз в масштабный коэффициент 2,5 раза меньше размера реально работающих счетчиков. По сути дела в этом случае мы имеем масштабно меньший вариант работающего счетчика. В качестве контейнеров счетчиков можно рассматривать трубы меньшего диаметра. При этом ширина электродов счетчика соответственно уменьшится. Если оставлять толщину стенки трубы постоянной, то среднее количество вещества в счетчике не изменится. Выигрыш при этом состоит в уменьшении места, занимаемого счетчиками в детекторе, пропорционально возрастает число счетчиков.

## 2.3. Толщина вещества счетчика и сегментация

С целью уменьшения толщины вещества счетчиков предлагается отказаться от разбиения сигнального электрода на полосы 4

(рис. 2) и сделать его сплошным, так как при этом можно не ставить диэлектрик 5. При этом упрощении теряется возможность точной ( $\sigma_x \approx 0,2$  мм) [3] регистрации поперечной координаты в счетчике, но сегментация остается достаточно хорошей для эффективного анализа многочастичных событий по времени пролета. При необходимости улучшения сегментации можно применять счетчики меньшего поперечного размера.

Таким образом, минимальная толщина искрового счетчика составляет из толщины электродов и толщины стенок контейнера. Усредненная по размеру счетчика толщина вещества составляет 0,047 рад. дл., из которых 0,029 рад. дл. приходится на вещество электродов и 0,018 рад. дл. — на контейнер.

## 3. ОБСУЖДЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЯПРОЛЕТНОЙ СИСТЕМЫ

Предлагаемый вариант системы (с целью перекрытия стыков между счетчиками) состоит из двух слоев искровых счетчиков описанной выше конструкции (рис. 4). Для счетчиков диаметром 50 мм геометрическая толщина слоев составляет 100 мм. Средняя толщина вещества для перпендикулярно падающих частиц равна 0,094 рад. дл. На рис. 5 приведена зависимость количества вещества в системе от поперечной координаты частиц для случая перпендикулярного падения частиц на слои счетчиков. Наибольшая толщина вещества, когда частица идет по касательной к контейнеру счетчика, составляет 0,16 рад. дл., минимальная толщина — 0,056 рад. дл.

Отметим некоторые особенности и резервы данной системы.

1. В магнитном поле, направленном вдоль оси счетчиков, появляются траектории частиц, проходящие между счетчиками первого и второго рядов. Такие частицы исчезают из анализа по времени пролета. Для расстояния от места встречи до системы счетчиков в 1 метр средний (перпендикулярный к полю) импульс таких частиц лишь на 10% превышает импульс частиц, при котором они вообще достигают системы счетчиков. Таким образом, сколько-нибудь существенных проблем с введением магнитного поля не возникает.

2. Обычно в детекторах на встречных пучках времяпролетная система располагается перед калориметром. Для получения лучшего энергетического разрешения  $\gamma$ -квантов в калориметре можно ис-

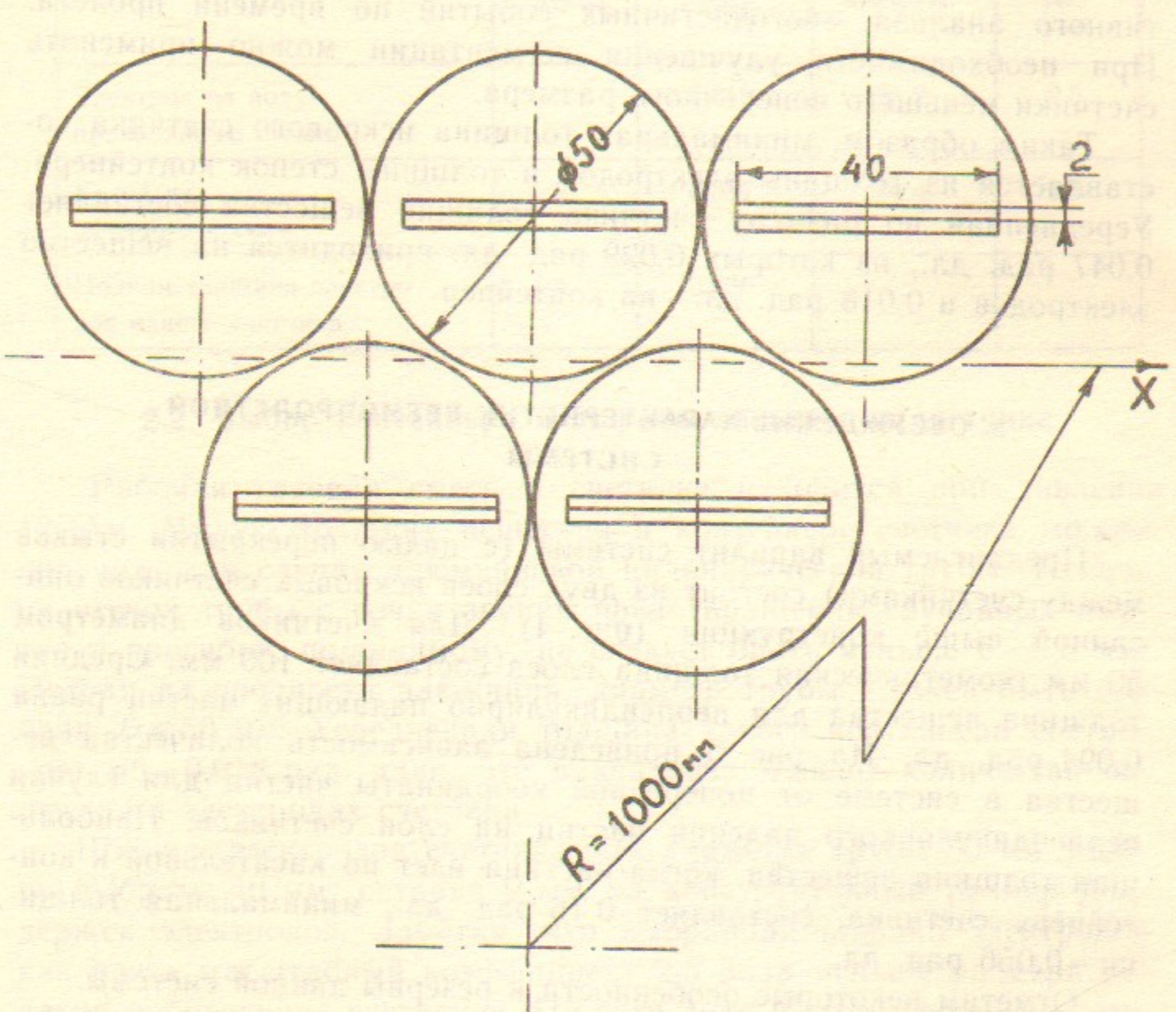


Рис. 4. Проект тонкой по веществу времяпролетной системы на основе искровых счетчиков с локализованным разрядом.

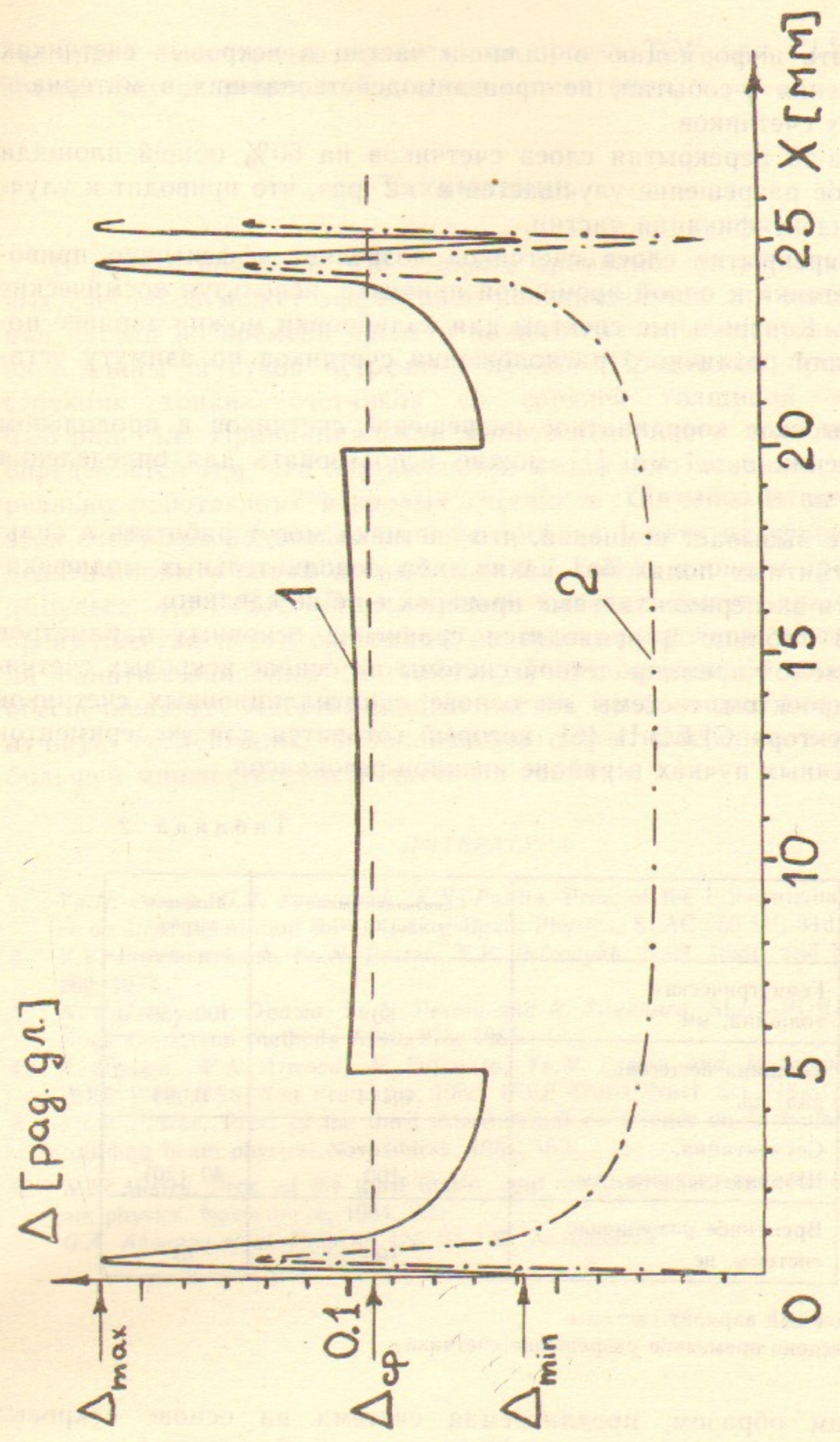


Рис. 5. Распределение толщины вещества в системе счетчиков от поперечной координаты частиц для случая перпендикулярного падения частиц на слой счетчиков: 1 — полная толщина вещества; 2 — вещество в трубках.

пользовать информацию о наличии частиц в искровых счетчиках для мечения  $\gamma$ -событий, не провзаимодействовавших в материале искровых счетчиков.

3. Из-за перекрытия слоев счетчиков на 60% общей площади временное разрешение улучшается в  $\sqrt{2}$  раз, что приводит к улучшению идентификации частиц.

4. Перекрытие слоев счетчиков позволяет эффективно приводить счетчики к одной временной привязке, используя космические частицы. Контрольные спектры для калибровки можно заранее получить для различного расположения счетчиков по азимуту установки.

5. Высокое координатное разрешение счетчиков в продольном направлении  $\sigma_z \simeq 1$  мм [1] можно использовать для определения  $z$ -координаты событий.

6. Не вызывает сомнений, что счетчики могут работать в сильных магнитных полях без каких-либо дополнительных модификаций, хотя экспериментальных проверок еще не сделано.

7. В таблице 2 приводится сравнение основных параметров предлагаемой времяпролетной системы на основе искровых счетчиков с проектом системы на основе сцинтилляционных счетчиков для детектора CLEO-II [6], который готовится для экспериментов на встречных пучках в районе ипсилон-резонансов.

Таблица 2

	Сцинтилляционные счетчики CLEO-II	Искровые счетчики
Геометрическая толщина, мм	50	100 (50)*
Толщина вещества, рад. дл.	0,114	0,094
Сегментация. Ширина счетчика, мм	100	40 (20)*
Временное разрешение системы, пс	190	25**

\* Возможный вариант системы.

\*\* Приведено временное разрешение счетчика.

Таким образом, предлагаемая система на основе искровых

счетчиков существенно превосходит проект TOF для CLEO-II по временному разрешению и степени сегментации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано, что высокое временное разрешение искровых счетчиков может эффективно использоваться для идентификации частиц по времени пролета даже в случае относительно большой длины сгустков встречных пучков. Предложен проект конструкции тонких счетчиков со средней толщиной вещества 0,05 рад. дл. Принципиальная работоспособность этих счетчиков определяется тем, что они являются масштабно меньшим аналогом реально работающих искровых счетчиков. Система из двух слоев этих счетчиков позволяет на базе пролета 1 метр на уровне  $2\sigma$  отделять пионы и каоны до импульса 2,7 ГэВ/с, каоны и протоны до импульса 4,6 ГэВ/с. Предлагаемая система имеет два главных преимущества перед системами по времени пролета, основанными на сцинтилляционных счетчиках: лучшее временное разрешение, обеспечивающее идентификацию частиц до больших импульсов, и лучшую сегментацию, позволяющую вести измерения в условиях большей множественности частиц в событии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Yu.N. Pestov, G.V. Fedotov, K.N. Putilin. Proc. of the International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics, SLAC-250 UC-34d, 127, 1982.
2. V.V. Parchomchuk, Yu.N. Pestov, N.V. Petrovykh. Nucl. Instr. and Methods 93, 269, 1971.
3. N. Fujiwara, A. Ogawa, Yu.N. Pestov and R. Sugahara. SLAC-PUB-3063, 1983; Nucl. Instr. and Methods A240, 275, 1985.
4. A. Ogawa, W.N. Atwood, N. Fujiwara, Yu.N. Pestov and R. Sugahara. Proc. IEEE 1983, NSS, San Francisco, 1983; IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-31, 1984, 121.
5. Yu.N. Pestov. Proc. of the third international conference on Instrumentation for colliding beam physics. Novosibirsk, 1984, 163.
6. N.B. Mistry. Proc. of the third intern. conf. on Instrumentation for colliding beam physics. Novosibirsk, 1984, 265.
7. G.A. Aksenov et al. Preprint INF-85-125, Novosibirsk.



*Ю.Н. Пестов, К.Н. Путили*

**Проект системы искровых счетчиков  
для времяпролетных измерений  
в экспериментах на встречных пучках**

Ответственный за выпуск С.Г. Попов

Работа поступила 18 февраля 1986 г.  
Подписано в печать 28.03.1986 г. МН 11690  
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 1,1 печ.л., 0,9 уч.-изд.л.  
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 57

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-  
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и  
отпечатано на ротапинтере Института ядерной физики  
СО АН СССР,  
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*