

14
В-61

182

+



А.С. Вовенко, Б.А. Кулаков, М.Ф. Лихачев, А.Л. Любимов
Ю.А. Матуленко, И.А. Савин, В.С. Ставинский

P-782

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ГАЗОВЫЙ
ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК

ИТЭ, 1962, № 2, с. 49-52.

А.С. Вовенко, Б.А. Кулаков, М.Ф. Лихачев, А.Л. Любимов
Ю.А. Матуленко, И.А. Савин, В.С. Ставинский

P-782

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ГАЗОВЫЙ
ЧЕРЕНКОВСКИЙ СЧЕТЧИК

Направлено в ЖЭТФ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1192/5 стр.

Газовые черенковские счетчики применяются для разделения по скоростям частиц высокой энергии. При этом используются как пороговые газовые черенковские счетчики /п.г.с./^{/1,2/}, регистрирующие частицы со скоростями выше данной, так и дифференциальные /угловые/ газовые черенковские счетчики /д.г.с./, регистрирующие частицы в некотором интервале скоростей^{/3,4/}. Комбинируя эти два типа счетчиков, можно выделять редкие частицы на большом фоне всех остальных.

В настоящей статье дается описание д.г.с., разработанного в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ в 1959 г. и в течение длительного времени используемого в пучках синхрофазотрона для выделения К-мезонов с импульсом от 3 до 5 Бэв/с^{/5,6/}. Краткое описание д.г.с. было дано ранее^{/7/}

Скорость частицы β , показатель преломления среды n и угол θ , образуемый черенковским излучением частицы с направлением ее движения, связаны известным соотношением;

$$\cos \theta = \frac{1}{n\beta}, \quad /1/$$

откуда видно, что угловое разрешение

$$\frac{d\theta}{d\beta} = \frac{1}{\beta} \operatorname{ctg} \theta$$

улучшается с уменьшением угла. Уменьшение θ облегчает создание оптической системы счетчика и уменьшает ее абберации. С другой стороны, уменьшение угла свечения приводит к уменьшению интенсивности излучения I , т.к. $I \propto \sin^2 \theta$. Таким образом, при разработке конструкции д.г.с. должен быть выбран некоторый оптимальный угол θ .

Оптическая система с фокусным расстоянием f собирает черенковское излучение быстрой частицы в кольцо радиуса

$$f \cdot \operatorname{tg} \theta.$$

Это кольцо является в некотором смысле "изображением" частицы, т.е. частица как источник света эквивалентна бесконечно удаленному кольцу.

Ширина кольцевого "изображения" определяется угловой шириной конуса черенковского излучения $\Delta \theta$ и ошибками оптической системы. Величина $\Delta \theta$ для одной частицы определяется в основном дисперсией че -

ренковского излучения в пределах спектральной чувствительности катода фотоумножителя и многократным рассеянием в газе счетчика. Для пучка частиц одной массы "изображение" дополнительно размывается вследствие разброса частиц по импульсам и углам.

Конструкция счетчика схематически изображена на рис. 1. Черенковское излучение, образуемое частицей в газе, фокусируется сферическим зеркалом на кольцевую диафрагму, помещенную перед плексигласовой пробкой, через которую свет попадает на фотокатод фотоумножителя ФЭУ-24. Плоскость фотокатода перпендикулярна направлению пучка частиц. Оптическая схема счетчика сходна с одной из схем простых зеркальных астрономических телескопов типа Ломоносова-Гершеля /см., напр., /8/. Максимальный диаметр пучка частиц равен 10 см, ось фотоумножителя смещена от оси пучка на 12 см. Угол свечения θ равен 4° .

Сферическое зеркало в данном случае является частью, "вырезанной" из большего сферического зеркала, ось которого совпадает с осью фотоумножителя. Это увеличивает сферическую абберацию по сравнению со случаем, когда ось фотоумножителя наклонена к пучку частиц и направлена в центр реального зеркала, но зато уменьшает кому и астигматизм, так что суммарная оптическая ошибка оказывается меньше. Оценки показывают, что за счет всех оптических аббераций происходит размытие кольцевого "изображения" на 3-4 мм.

Зеркало изготовлено из стекла, сферическая поверхность которого алюминизирована и напыленный слой закреплен. Юстировка зеркала проводилась с помощью специального коллиматора, изготовленного Ленинградским институтом точной механики и оптики.

Стальная труба радиатора черенковского света длиной $\sim 1,5$ м закрыта с двух сторон фланцами из нержавеющей стали толщиной 1 мм. Первоначально она была отполирована. Однако в процессе испытания счетчика выяснилось, что от качества полировки сильно зависит фон счетчика /эффективность счетчика при регистрации частиц, излучающих черенковский свет под углом $\geq 5^\circ$; см. рис. 3/. Поэтому вся внутренняя поверхность счетчика была покрыта черным бархатом для того, чтобы работать на свете, попавшем непосредственно на зеркало.

Бархатное покрытие уменьшило эффективную рабочую длину счетчика приблизительно до 0,7 м. На такой длине пути частица при угле свечения 4° образует ~ 150 фотонов черенковского излучения. Следовательно, чтобы получить высокую эффективность счетчика, требуется тщательный подбор фотоумножителя с высокой квантовой эффективностью и большим усилением. Электронная аппаратура должна быть чувствительной к импульсам, соответствующим 1 фотоэлектрону с фотокатода ФЭУ. С различными экземплярами ФЭУ-24 эффективность счетчика колебалась от 40 до 96%.

Схема включения д.г.с. в быструю схему совпадений приведена на рис. 2. Исследование работы счетчика осуществлялось на пучке положительных частиц синхрофазотрона ОИЯИ^{/7/}. На рис. 3 приведены кривые зависимости эффективности д.г.с. от давления воздуха для π -мезонов с импульсом 3 Бэв/с. Кривая 1 относится к случаю, когда труба радиатора была отполирована; кривая 2 - вся внутренняя поверхность счетчика покрыта черным бархатом; кривая 3 - бархатное покрытие и перед плексигласовой пробкой кольцевая диафрагма шириной 10 мм.

Характерной особенностью этих кривых является наличие фона при больших давлениях, когда угол свечения таков, что свет не должен попадать на ФЭУ. Это, по-видимому, связано с недостаточно хорошей полировкой отражающих поверхностей - трубы радиатора и зеркала, приводящей к изотропному рассеянию малой доли света по всему объему счетчика. Бархатное покрытие /кривая 2/ и диафрагма /кривая 3/ уменьшают количество изотропно рассеянного света, падающего на ФЭУ, что приводит к уменьшению постоянного фона счетчика.

На рис. 4 показаны эффективности двух д.г.с. к π -мезонам с импульсом 3,4 Бэв/с с кольцевыми диафрагмами разной ширины:

Y_1 - 10 мм, Y_2 - 4 мм. Внутренний радиус диафрагм один и тот же. Для счетчика Y_2 фон составляет $\sim 2\%$. Оценки показывают, что с такой вероятностью π -мезоны будут регистрироваться д.г.с. через δ -электроны^{/8/}. Для дальнейшего уменьшения фона необходимо использовать газы с меньшей плотностью при том же показателе преломления, например, этилен, этан.

От ширины пика эффективности д.г.с. зависит разрешающая способность счетчика по скорости. Для счетчика Y_2 полуширина пика от максимума до уровня постоянного фона составляет ~ 10 атм. воздуха. Легко показать, что разрешающая способность счетчика по скорости в этом случае равна $\Delta\beta = 3 \times 10^{-3}$. Это означает, что в пучке частиц с одинаковым импульсом данный счетчик может отделять К-мезоны от π -мезонов до импульсов 6 Бэв/с. Включение Y_1 и Y_2 на совпадение улучшает разрешение и снижает постоянный фон / $y_1 + y_2$ на рис. 4/. Из рис. 4 видно, что эффективность д.г.с. в максимуме не зависит от величины диафрагмы. Это обстоятельство свидетельствует о том, что кольцевое "изображение" π -мезонов имеет ширину ≤ 4 мм, что совпадает с произведенными оценками.

Рис. 5 показывает пример выделения из пучка положительных частиц с импульсом 4,75 Бэв/с частиц разной массы - π -мезонов, К-мезонов и протонов. Здесь два д.г.с. включены на совпадение друг с другом. Д.г.с. заполнялись этиленом. При давлении, соответствующем максимуму счета К-мезонов, фон счетчика составляет $\sim 1\%$ от величины К-мезонного пика.

По положению максимумов на рис. 5 можно определять средний импульс частиц в пучке. В самом деле, если n_1 и n_2 - показатели преломления газа, соответствующие максимальным эффективностям в разных пиках, то из /1/

$$n_1 \beta_1 = n_2 \beta_2 \quad /2/$$

Т.к. импульс частиц одинаков, то

$$\beta_1 = p / \sqrt{p^2 + m_1^2}, \quad \beta_2 = p / \sqrt{p^2 + m_2^2} \quad /3/$$

Подставляя /3/ в /2/, получим

$$p = \sqrt{\frac{m_2^2 n_1^2 - m_1^2 n_2^2}{n_2^2 - n_1^2}}$$

Возникающая при этом ошибка определяется выражением

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{n_1 n_2 \sqrt{n_1^2 + n_2^2} (m_2^2 - m_1^2)}{P^2 (n_2^2 - n_1^2)^2} \Delta n, \quad \text{где}$$

Δn - ошибка в определении показателя преломления, соответствующего пику эффективности.

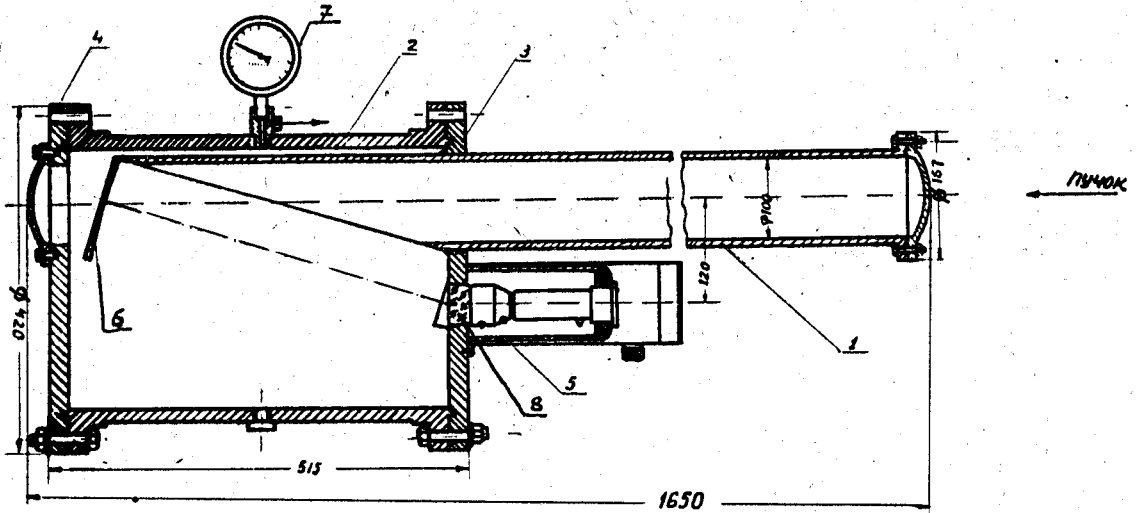
При определении импульса частиц по двум пикам на рис. 5 - π -мезонному и К-мезонному - ошибка составляет $\frac{\Delta P}{P} \approx 2\%$. Наличие трех пиков позволяет уменьшить $\frac{\Delta P}{P}$ до 1%. Если считать, что полуширина π -мезонного пика определяется только дисперсией черенковского излучения и оптическими aberrациями, то по изменению полуширины в К-мезонном и протонном пиках можно определить разброс частиц в пучке по импульсам. Этот метод определения импульса частиц в пучке может применяться тогда, когда требуется получить точность лучше, чем методом токнесущей проволоки или когда последний не применим.

В заключении авторы выражают благодарность И.Н. Какурину за участие в конструировании счетчика и И. Захаркину за помощь в работе.

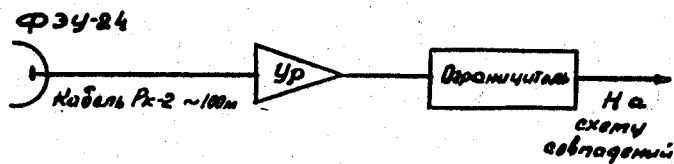
Л и т е р а т у р а

1. А.Н. Беляков и др. ПТЭ 1,32 /1961/.
2. J.H. Atkinson, V. Perez-Mendez, Rev. of Sci. Instr., 30, 10 (1959).
3. D.E. Baldwin et al, JRE Transactions on Nucl. Sci., 55, 177 (1958).
4. V. Cook et al, UCRL - 9386.
5. М.Ф. Лихачев и др. Proc. of the 1960 Ann. Intern. Conf. on High Energy Physics at Rochester.
6. А.С. Вовенко и др. Препринт ОИЯИ Д-721.
7. М.Ф. Лихачев и др. Proc. of an Intern. Conf. on Instrum. for High Energy Physics, Berkeley, 1960.
8. Д.Д. Максудов. Астрономическая оптика. М-Л 1946.
9. И. Захаркин. Дипломная работа. МГУ 1960.

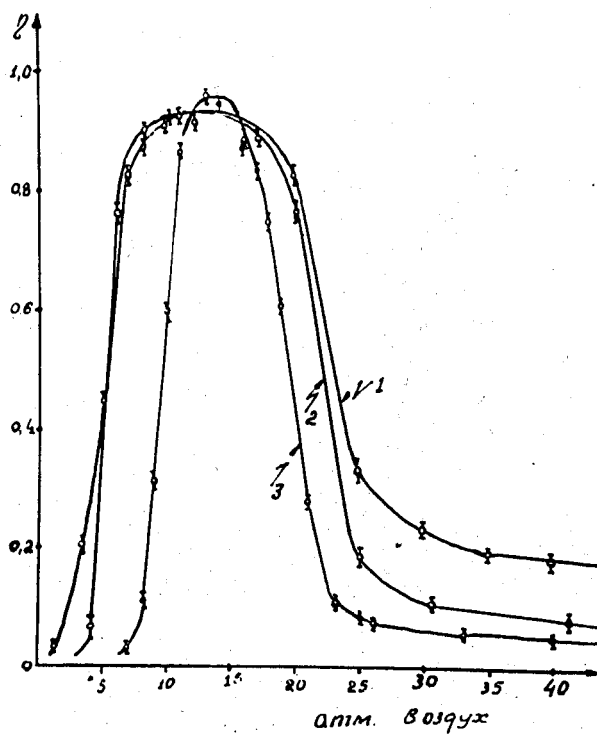
Рукопись поступила в издательский отдел
5 августа 1961 года



Р и с. 1. Конструкция дифференциального газового черенковского счетчика. 1- труба радиатора, 2- корпус, 5- экранированный кожух фотоумножителя, 6- сферическое зеркало, 7- манометр, 8- плексигласовая пробка. /Размеры в мм /.

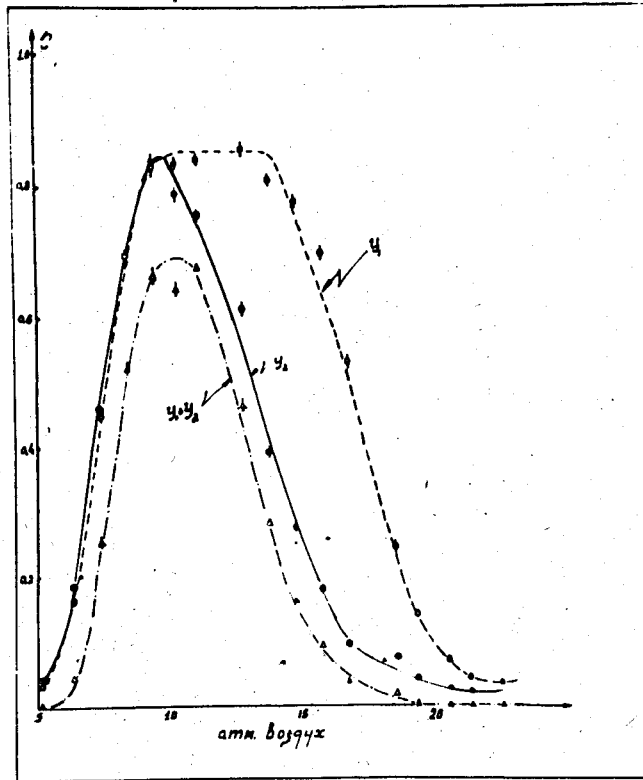


Р и с. 2. Схема включения д.г.с. в быструю схему совпадений. Ур -усилитель с распределенными параметрами, коэффициент усиления 20, полоса 150 мгц.



Р и с. 3.

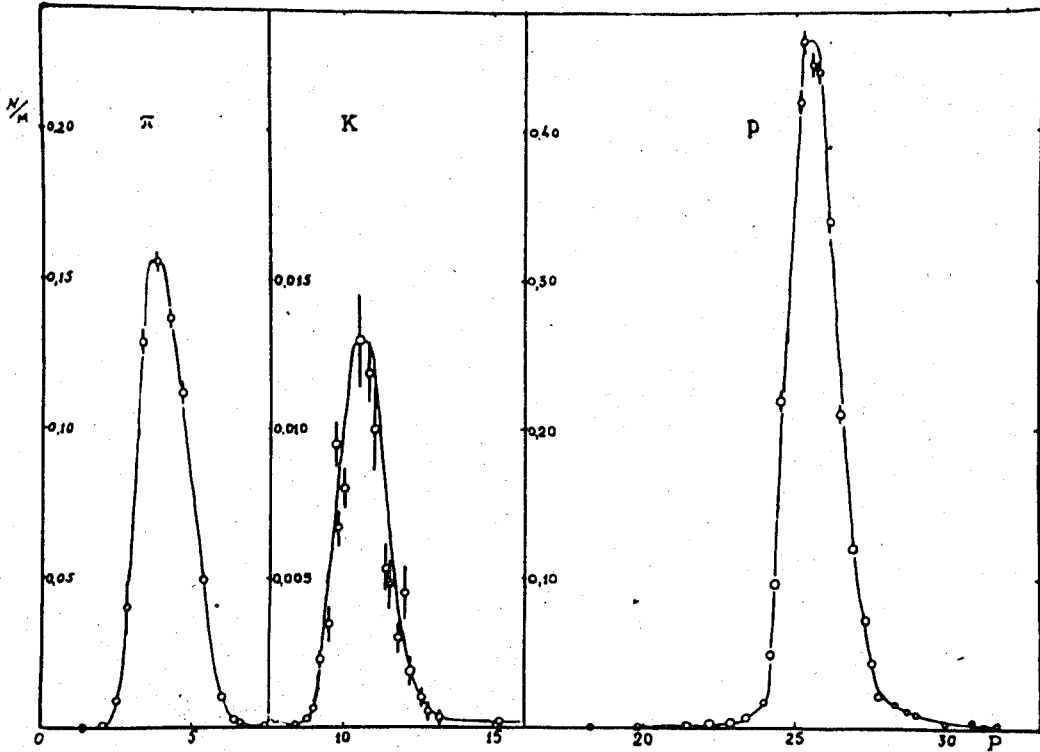
Кривые эффективности η д.г.с. к π -мезонам с импульсом 3 Бэв/с в зависимости от давления воздуха в нем. 1- полированная труба, 2- внутренняя поверхность счетчика, покрытая черным бархатом, 3- бархатное покрытие и кольцевая диафрагма шириной 10 мм.



Р и с. 4.

Кривые эффективности η д.г.с. к π -мезонам с импульсом 3,4 Бэв/с в зависимости от давления воздуха.

Y_1 - кольцевая диафрагма 10 мм, Y_2 - кольцевая диафрагма 4 мм. $Y_1 + Y_2$ - оба счетчика на совпадении друг с другом.



Р и с. 5.

Счет различных частиц в зависимости от давления этилена в двух д.г.с. По оси ординат отложен счет д.г.с. по отношению к сцинтилляционному монитору.