

НАБЛЮДЕНИЕ ТРЕКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПО ЧЕРЕНКОВСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

Е.М.Гущин, В.А.Рябов, С.В.Сомов

Черенковское излучение используется обычно для определения скорости частицы. Регистрация трека частицы по черенковскому излучению считается невозможной из-за малой его интенсивности. С помощью микроканального трекового детектора (МКД) нами впервые зарегистрированы треки релятивистских частиц в черенковском спектре.

Основным элементом МКД является многокаскадный электронно-оптический преобразователь (ЭОП), который состоит из одного-двух электростатических ЭОП и ЭОП с микроканальной пластиной. Все ЭОП имеют волоконно-оптические шайбы на входе и выходе для минимизации потерь света в сочленении каскадов. На входе первого ЭОП устанавливается мишень из тонких (~ 10 мкм) сцинтиллирующих стеклянных или пластических волокон или капилляров, заполняемых жидким сцинтиллятором. Свет, возникающий в мишени при прохождении заряженной частицы, транспортируется по каналу за счет полного внутреннего отражения к ее торцевой поверхности, где и регистрируется многокаскадным ЭОП.

Сравнительно недавно при экспонировании МКД в пучке пионов с энергией 3 ГэВ мы обнаружили, что хорошо различимые треки наблюдаются даже при отсутствии сцинтилляционной мишени [1]. Улучшив характеристики нашего МКД путем замены электростатических ЭОП "Клев" с мультищелочным фотокатодом и "медленным" экраном К-71 на высокочувствительные ЭОП "Шторка" с бищелочным фотокатодом и "быстрым" экраном ФС-5, мы исследовали этот эффект более подробно.

В качестве мишеней мы использовали как собственно входную шайбу первого ЭОП "Шторка", так и волоконно-оптические шайбы из различных стекол (см. таблицу). Во всех мишенях мы наблюдали не только четкие треки отдельных частиц (рис. 1), но и характерную картину ядерных взаимодействий (рис. 2). Кроме указанных в таблице, аналогичные результаты получены нами также в волоконно-оптических шайбах из стекла ТК-16 и радиационно стойких стекол, легированных церием.

Характеристики исследованных мишеней. Средняя плотность точек на треке приводится для пучка, перпендикулярного оси волокна. Разница в плотности трека во входных шайбах ЭОП "Клен" и "Шторка" соответствует разнице в чувствительности их фотокатодов

Мишень	Диаметр, D , мм	Толщина, s , мм	Диаметр керна, d_k , мкм	Коэфф. заплн. α	$N = 4\alpha/\pi d$, 1/мм	$\langle n \rangle$, 1/мм
Шайба ЭОП "Клен"	42	4	5	0.55	140	1.6 ± 0.1
Шайба ЭОП "Шторка"	35	4	5	0.55	140	2.5 ± 0.2
Волоконные шайбы:						
ТБФ-10	20	10	5	0.55	140	1.5 ± 0.2
ТФ-105	49	7	5	0.55	140	1.7 ± 0.1
ТБФ-10	$20 \times 20 \times 100$		5.5	0.58	130	1.6 ± 0.1

На сегодняшний день плотность трека в МКД колеблется от 1–2 1/мм для мишеней из тонких сцинтилляционных волокон [2] до 5–6 1/мм для капиллярных мишеней [3]. Полученная нами величина $\langle n \rangle = 1.5–2.5$ 1/мм неожиданно высока, поскольку сцинтилляционный световыход стекол, из которых изготавливаются керны волокон оптических шайб, по нашим измерениям, не превышает 0.1% от световыхода пластического сцинтиллятора. Тогда, если наблюдаемые треки есть результат сцинтилляций, следовало ожидать $n < 0.01$ 1/мм, даже принимая во внимание высокий коэффициент захвата света волокном шайбы

$$\Omega = (1 - n_1/n_2)/2 \approx 0.08, \quad (1)$$

где n_1, n_2 — коэффициенты преломления оболочки и керна.

Другой возможный механизм формирования трека — черенковское излучение. В этом случае для релятивистской частицы

$$\langle n \rangle = N \left[1 - \exp(-\langle l \rangle \Omega K \sin^2 \theta) \right], \quad (2)$$

где $\langle l \rangle$ — средний путь частицы в отдельном волокне, $K = K_0 \alpha_m$ — коэффициент преобразования черенковского излучения в фотоэлектроны, α_m — квантовая чувствительность фотокатода в максимуме спектральной характеристики, $K_0 \approx 540$ 1/см для бищелочного фотокатода на стеклянной подложке, $\sin^2 \theta = 1 - 1/n_2^2$. Если пучок перпендикулярен

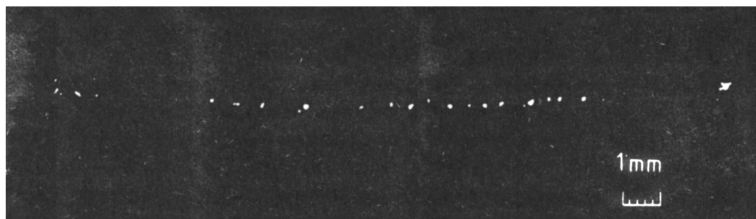


Рис. 1. Трек пиона во входной шайбе ЭОП "Шторка". Пучок перпендикулярен волокнам.

оси волокна, $\langle l \rangle = \pi d_k / 4$. Тогда для объяснения наблюдаемой плотности трека при $d_k = 5$ мкм и $\alpha_m = 0.25$ необходимо принять $\Omega \approx 0.5$. Такой результат не представляется неожиданным, так как в случае черенковского излучения коэффициент захвата света волокном шайбы уже не описывается соотношением (1), справедливым только для изотропного излучения. Этот коэффициент определяется выполнением условия полного внутреннего отражения на границе пересечения конуса черенковского света с цилиндрической поверхностью раздела "кern-оболочка" и, следовательно, зависит от угла между траекторией частицы и осью волокна. Действительно, при дальнейших исследованиях мы обнаружили, что трек отсутствует, когда частица движется в направлении от фотокатода к внешней поверхности шайбы. При этом захваченный волокном свет вследствие не изотропности черенковского излучения распространяется только в одном направлении и не попадает на фотокатод. Однако, если внешняя поверхность шайбы покрыта отражающей пленкой, то треки наблюдаются, но имеют меньшую плотность, чем когда частица движется к фотокатоду.

Регистрация треков частиц по черенковскому излучению вследствие его порогового характера открывает возможность разработки нового типа трековых детекторов с пространственным разрешением ~ 10 мкм, нечувствительных к низкоэнергичным заряженным частицам.

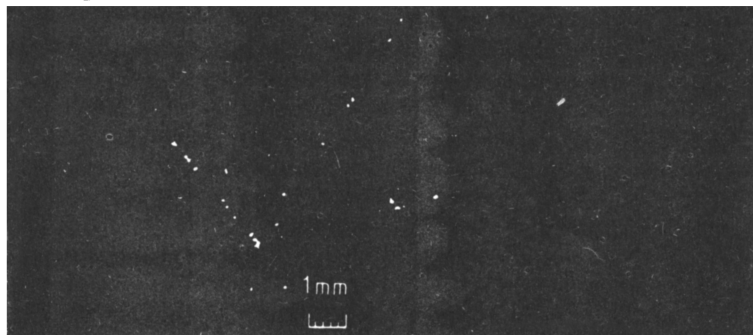


Рис. 2. Ядерное взаимодействие в волоконной шайбе из стекла ТФ-105. Пучок параллелен волокнам.

Плотность трека в волоконно-оптических шайбах, как видно из таблицы, одинакова в пределах ошибок измерений. Для черенковского излучения этот результат является естественным, так как стекла, используемые при изготовлении керны, имеют близкие коэффициенты преломления (обычно $n_2 = 1.64-1.812$, $n_1 = 1.48-1.52$). Преимуществом волоконно-оптических шайб как мишеней МКД является отсутствие принципиальных ограничений на их размеры. Это позволяет эффективно использовать такие структуры в нейтринных пучках, а также при продольном облучении, когда первичный пучок параллелен оси волокон (рис. 2). При этом возможно определение как азимутальных, так и полярных углов вылета вторичных частиц относительно траектории первичной частицы [4].

Вместе с тем во входной шайбе ЭОП получен более плотный трек, так как в этом случае нет потери света на стыке мишени и шайбы ЭОП вследствие того, что $\alpha < 1$. Поэтому мы разработали специальный ЭОП "Шторка-М" с максимально "быстрым" экраном КС-425 и входной шайбой толщиной 30 мм, что дает возможность с одинаковой эффективностью экспонировать его как в поперечном, так и в продольном пучке. Этот ЭОП планируется использовать в МКД-мишени спектрометра "ШАНС", нацеленного на исследование образования очарованных частиц в адронных взаимодействиях вблизи порога [5].

Вследствие характерного спектра черенковского излучения весьма перспективна также разработка ЭОП с "ультрафиолетовой" шайбой. Так, сдвигая коротковолновую границу пропускания керны к $\lambda \approx 250$ нм, можно увеличить плотность трека приблизительно в 2 раза.

Список литературы

- [1] Аммосов В.В., Гуцин Е.М., Рябов В.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 6. С. 1.
- [2] Adinolfi M., Angelini C., Bähr J. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 1992. V. A311. P. 91.
- [3] Cianfarani C., Duane A., Fabre J.-P. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 1994. V. A339. P. 449.
- [4] Winter K. // Proc. of Workshop on Application of Scintillating Fibers in Particle Physics. Blossin, 1990. P. 67.
- [5] Аммосов В.В., Брызгалов В.В., Васильев И.Л. и др. // СЕРПП-176, ИФВЭ. 1993.

Московский государственный
инженерно-физический институт
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
Москва

Поступило в Редакцию
3 июня 1995 г.