

05;10;12

О формировании треков заряженных частиц в стекловолоконных микроструктурах

© В.В. Аммосов, Е.М. Гуцин, П. Иоанну,
С.В. Сомов, А.А. Семак

Институт физики высоких энергий, Протвино
Московский государственный инженерно-физический институт
(технический университет)
Афинский институт, Греция

Поступило в Редакцию 13 сентября 1999 г.

Показана возможность использования стекловолоконных оптических шайб, предназначенных для передачи изображения, в качестве мишеней микроканального черенковского трекового детектора (МКД). Рассчитанный коэффициент захвата черенковского излучения волокном шайб хорошо согласуется с результатами эксперимента, что подтверждает гипотезу о черенковском механизме образования треков заряженных частиц в несцинтиллирующих микроволоконных структурах.

Стекловолоконные шайбы используются в электронно-оптических преобразователях (ЭОП), которые являются основным элементом микроканальных трековых детекторов (МКД). МКД обычно состоит из трехкаскадной сборки ЭОП, работающей в режиме регистрации отдельных фотоэлектронов. На вход первого каскада устанавливается мишень, представляющая собой микрокапиллярный блок, заполненный жидким сцинтиллятором, или блок из тонких сцинтиллирующих пластических или стеклянных волокон (см., например, [1]). Часть света (обычно 4–6%) захватывается капилляром (волоконном), транспортируется за счет эффекта полного внутреннего отражения к фотокатоду, усиливается и регистрируется телевизионной камерой с последующей оцифровкой изображения и его записью в ЭВМ для дальнейшего анализа. Основным недостатком сцинтилляционного МКД является плохая светоизоляция капилляров (волокон), что вызывает "растекание" света и ухудшение пространственного разрешения. Этот эффект особенно сильно про-

является при регистрации взаимодействий, сопровождающихся вылетом частиц с высокой плотностью ионизации. При этом большое энерговыделение вблизи вершины взаимодействия "засвечивает" эту область и делает невозможным ее анализ.

Некоторое время тому назад при исследовании сцинтилляционного МКД мы обнаружили, что треки быстрых заряженных частиц наблюдаются при отсутствии сцинтилляционной мишени, когда частица проходит через входную шайбу первого ЭОП [2,3]. При этом плотность точек на зарегистрированном треке частицы $n = 2-3 \text{ mm}^{-1}$ неожиданно оказалась сравнима с плотностью точек, получаемой в сцинтилляционной мишени. Аналогичный эффект наблюдался и тогда, когда в качестве мишени использовались несцинтиллирующие стекловолоконные шайбы, предназначенные для передачи изображения. Поскольку световыход стекла, используемого в керне волокна оптических шайб, по нашим измерениям не превышает 0.01% от световыхода пластического сцинтиллятора, было высказано предположение, что в этом случае трек формируется черенковским излучением. Действительно, несмотря на низкую по сравнению со сцинтилляциями интенсивность черенковского света, вследствие направленности излучения коэффициент его захвата в волокне шайбы может достигать до 1, т.е. значительно превышать коэффициент захвата изотропного излучения.

Поскольку величина коэффициента захвата, следовательно плотность трека для черенковского излучения, должна зависеть от угла θ между осью волокна и траекторией частицы, мы предварительно рассчитали эту зависимость для следующих характеристик реальных волоконно-оптических шайб: диаметр керна волокна $d = 5 \mu\text{m}$, коэффициент преломления керна $n_1 = 1.812$, коэффициент преломления оболочки $n_2 = 1.49$. При расчете для фиксированного угла θ коэффициент захвата усреднялся по всем возможным значениям расстояния R между осью волокна и траекторией частицы ($0 \leq R \leq d/2$); полагалось, что при $0 \leq \theta < 90^\circ$ частица движется по направлению к фотокатоду, а при $90^\circ < \theta < 180^\circ$ — от него. Как видно из рис. 1, эта зависимость имеет максимум при $\theta = 30-50^\circ$, причем $k > 0$ вплоть до $\theta = 147^\circ$.

Практическое значение имеет не собственно коэффициент захвата излучения, а плотность точек на треке частицы. Поскольку регистрируется не сам трек, а его проекция на плоскость фотокатода, то $n \sim k / \sin \theta$ и зависимость плотности точек от угла θ , представленная на рис. 2, имеет несколько иной характер, нежели зависимость $k(\theta)$.

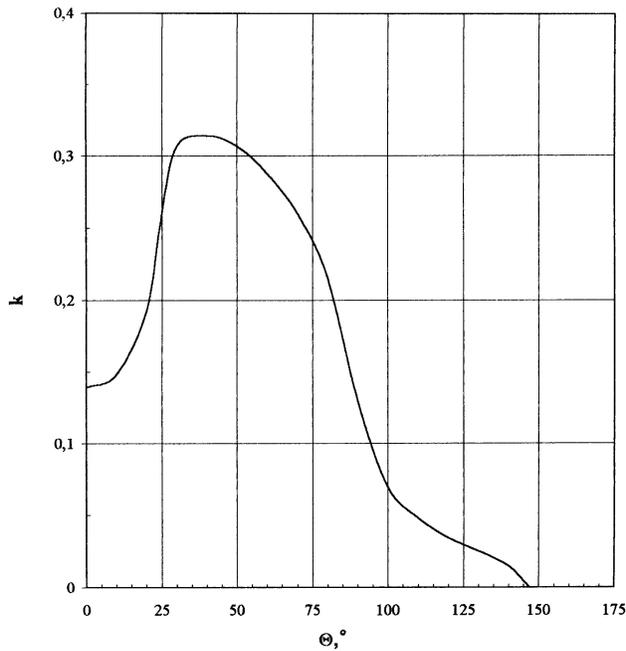


Рис. 1. Зависимость коэффициента захвата черенковского излучения в стеклянном микроволокне от угла между осью волокна и траекторией заряженной частицы.

При расчете плотности точек мы учитывали спектральный состав черенковского излучения и спектральную характеристику квантового выхода бищелочного фотокатода первого ЭОП. Далее мы исследовали МКД в пучке протонов с энергией 70 GeV под различными углами к оси пучка и нашли, что измеренная зависимость плотности точек на треках протонов, зарегистрированных во входной шайбе первого ЭОП, хорошо согласуется с результатами расчетов (рис. 2). Видно, что наилучшими условиями экспонирования черенковского МКД является его расположение под углом 25–45° относительно оси пучка частиц. При больших углах плотность точек на треке резко уменьшается, а при меньших анализ трека затрудняется вследствие сокращения длины

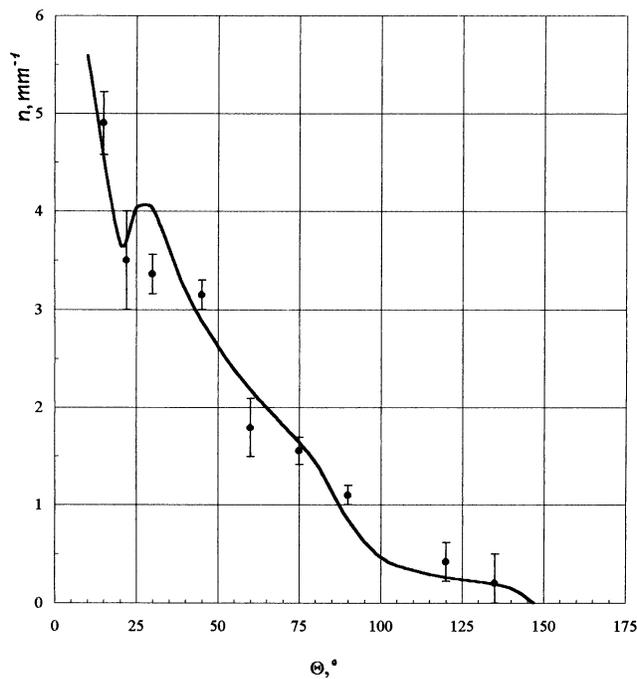


Рис. 2. Зависимость плотности точек на треке быстрой заряженной частицы, зарегистрированной во входной микроволоконной шайбе МКД, от угла между осью волокна и траекторией частицы. Сплошная линия — расчет по результатам, представленным на рис. 1, точки — экспериментальные данные, полученные в протонном пучке.

его проекции на плоскость фотокатода. Как показал дальнейший анализ зарегистрированных взаимодействий, оптимальным является угол $\theta \approx 40-45^\circ$.

Таким образом, проведенный расчет и результаты измерений подтверждают предположение о формировании треков заряженных частиц в стекловолоконных структурах черенковским излучением. В таком случае открывается возможность построения нового типа трекового детектора с пространственным разрешением $\sim 10-100 \mu\text{m}$ — черенковского МКД, который будет нечувствительным к сильноионизи-

рующим частицам. Важным преимуществом черенковского МКД на базе стандартных волоконно-оптических шайб, предназначенных для передачи изображения, является хорошая светоизоляция ядра волокон вследствие наличия третьей непрозрачной оболочки, а также отсутствие принципиальных ограничений на их размеры. Последнее обстоятельство позволяет эффективно использовать такой МКД в нейтринных пучках.

Данная работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 98-02-17139), Минобразования России (грант 1998 г. по разделу "Ядерная физика и физика высоких энергий", а также Госцентра "Интерфизика").

Список литературы

- [1] *Proc. of 3rd Conference on Scintillation Fiber Detectors* / Ed. by A.D. Bross, R.C. Ruchti, M.R. Wayne. Woodbury, 1998. 627 p.
- [2] Гуцин Е.М., Сомов С.В., Рябов В.А. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 17. С. 42-45.
- [3] Гуцин Е.М., Сомов С.В., Рябов В.А. // ПТЭ. 1996. № 4. С. 15-21.