

УДК 539. 108

ИДЕНТИФИКАТОР РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ ДЛЯ БАЛЛОННОГО МАГНИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА

Э. А. Богомолов¹, Г. И. Васильев¹, С. Ю. Крутьков¹, М. С. Шулакова,
Л. А. Разоренов

Представлены результаты разработки идентификатора релятивистских частиц для баллонного магнитного спектрометра "Стратомаг", позволяющего проводить разделение электронов, мюонов и протонов в энергетической области 3 – 30 ГэВ в стратосферных экспериментах по исследованию спектров и состава космического излучения.

Идентификация заряженных частиц в релятивистской области энергий порядка десятков гигаэлектронвольт является сложной экспериментальной задачей. Использование магнитного анализа позволяет при высокой отклоняющей способности магнита и хорошей точности траекторных измерений определить жесткость регистрируемых прибором частиц и знак их заряда. Для разделения частиц по массе в магнитном спектрометре в области релятивистских энергий для частиц с лоренц-факторами ниже 10 достаточно эффективно могут быть использованы черенковские детекторы, при лоренц-факторах $10^2 - 10^3$ – детекторы переходного излучения. В промежуточной энергетической области для идентификации частиц на современных ускорителях используются идентификаторы релятивистских частиц, основанные на прецизионном измерении наиболее вероятных ионизационных потерь. Как правило, это многометровые конструкции, состоящие из десятков слоев пропорциональных камер, работающих при давлениях газовой среды в камерах, близких к атмосферному. В баллонных и спутниковых экспериментах по исследованию спектров и состава космических лучей габариты и вес применяемых

¹Физико-технический институт РАН, С.-Петербург

детекторов ограничены. Использование пропорциональных камер, работающих при высоких давлениях газовой смеси, позволяет создать идентификатор релятивистских частиц, удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к баллонной или спутниковой аппаратуре.

Необходимость использования многослойного детектора связана с вероятностным характером ионизационных потерь энергии заряженных частиц в среде детектора, поэтому для определения наиболее вероятных ионизационных потерь частиц Δ для каждой регистрируемой частицы требуется измерить вероятностное распределение потерь. Необходимая точность измерения наиболее вероятных потерь определяется условиями эксперимента и составляет величину порядка нескольких процентов. Ионизационное разрешение W_n (в процентах) зависит от числа слоев n , их толщины l (в сантиметрах), давления газовой среды P (в атмосферах) и приближенно описывается [1] соотношением:

$$W_n = 96n^{-0,46}(lP)^{-0,32}.$$

Коэффициент сепарации частиц S_n , характеризующий достоверность идентификации частиц (например, мюонов и протонов), в единицах относительного стандартного отклонения σ_n согласно [2] равен:

$$S_n(\mu/p) = (\Delta(\mu) - \Delta(p))/(\Delta(\mu)\sigma_n),$$

где $W_n = 2,36\sigma_n$.

Наиболее вероятные ионизационные потери зависят от параметров частицы, ее скорости, параметров среды, в частности давления. При повышении давления улучшается ионизационное разрешение, но из-за поляризации атомов электромагнитным полем частицы замедляется релятивистский рост ионизационных потерь (эффект плотности), снижающий возможности сепарации частиц по сравнению с использованием среды при низком давлении. С учетом всех этих эффектов на основе работы [3] были проведены расчеты наиболее вероятных ионизационных потерь протонов, пионов, мюонов, электронов, ядер дейтерия и гелия в области импульсов 1 – 40 ГэВ/с в аргоне и ксеноне в диапазоне давлений от 1 до 50 атм. Отношения наиболее вероятных ионизационных потерь к минимальным потерям Δ_{min} для протонов, мюонов и электронов в зависимости от импульса частицы в аргоне и ксеноне при давлении 30 атм представлены на рис. 1. Результаты расчетов коэффициентов сепарации для протонов, мюонов и электронов для идентификатора релятивистских частиц, состоящего из 20 камер толщиной 0,6 см,

работающих при давлении 30 и 40 атм, представлены на рис. 2. Расчетное стандартное отклонение σ_n равно 4,1% при давлении 30 атм и 3,7% при давлении 40 атм.

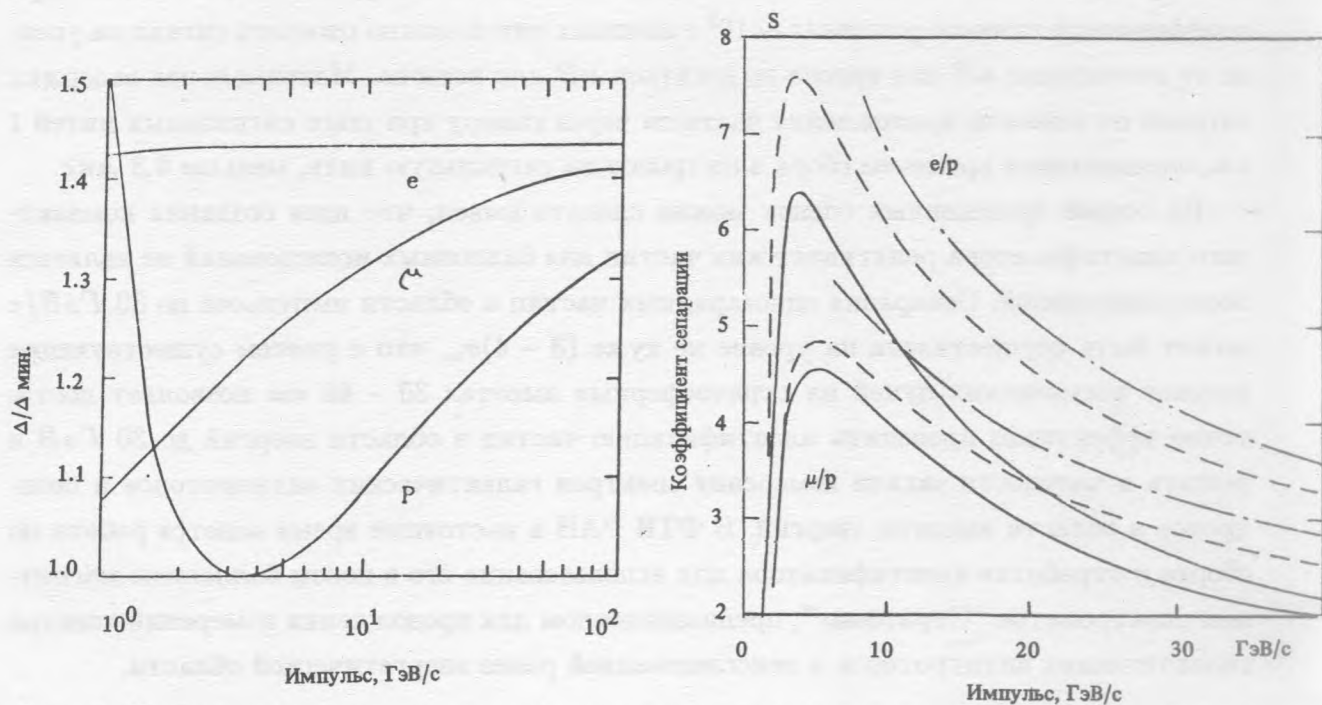


Рис. 1. Отношения вероятных потерь к минимальным для протонов, мюонов и электронов в зависимости от импульса E/c .

Рис. 2. Коэффициенты сепарации S электронов и мюонов от протонов при наполнении камеры ксеноном до 40 атм (- · -), 30 атм (- -) и аргоном до 30 атм (—) в зависимости от импульса E/c .

Для идентификации релятивистских частиц необходимо выбрать состав газовой смеси для пропорциональных камер и оценить электрические параметры камер. В качестве газовой смеси на основе анализа выбрана смесь с добавкой углекислого газа. Использование сигнальных (анодных) нитей диаметром 20 мкм в камерах с расстоянием между катодными плоскостями 0,6 см при напряжении анод-катод 6 – 7 кВ, позволяет получить коэффициент газового усиления $10^2 - 10^3$. Работа при бóльших коэффициентах газового усиления может привести к негативным последствиям, связанным с эффектами объемного заряда. Развитие лавины в процессе газового усиления происходит в основном в области нескольких десятков микрон от поверхности сигнальной нити. Максимальная амплитуда сигнала, деленная на коэффициент газового усиления, для камеры

с характерной емкостью ~ 10 пФ в отсутствие нагрузки составит ~ 20 мкВ для аргона и ~ 90 мкВ для ксенона. При нагрузке 10 – 100 кОм амплитуда сигнала составит соответственно $\sim 25 - 45\%$ от сигнала при бесконечной нагрузке. Ширина фронта импульса, определяемая подвижностью ионов, оценивается на уровне $\sim 0,5 - 3$ мкс. При коэффициенте газового усиления $\sim 10^3$ с анодных нитей можно ожидать сигнал на уровне от нескольких мВ для аргона до десятков мВ для ксенона. Максимальная задержка сигнала от момента прохождения частицы через камеру при шаге сигнальных нитей 1 см, определяемая временем сбора электронов на сигнальную нить, меньше 0,3 мкс.

На основе проведенных оценок можно сделать вывод, что идея создания компактного идентификатора релятивистских частиц для баллонных исследований не является бесперспективной. Сепарация однозарядных частиц в области импульсов до 30 ГэВ/с может быть осуществлена на уровне не хуже $(3 - 4)\sigma_n$, что с учетом существующих потоков космических лучей на стратосферных высотах 30 – 40 км позволяет достаточно эффективно проводить идентификацию частиц в области энергий до 30 ГэВ и решать в частности задачи измерения спектров галактических антипротонов и позитронов в области высоких энергий. В ФТИ РАН в настоящее время ведется работа по сборке и отработке идентификатора для использования его в новом баллонном магнитном спектрометре "Стратомаг", предназначенном для продолжения измерений спектра галактических антипротонов в неисследованной ранее энергетической области.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Allison W. W. M., Cobb J. N. Ann. Rev. Nucl. Sci., 30, 253 (1980).
- [2] Будагов Ю. А., Мерзон Г. И., Ситар Б., Чечин В. А. Ионизационные измерения в физике высоких энергий, Энергоатомиздат, М., 1988.
- [3] Sternheimer R. M., Peierls R. F. Phys. Rev. B, 3, 3681 (1970).

Поступила в редакцию 19 января 1994 г.