

10;12

Высокодисперсный энергоанализатор заряженных частиц из двух коаксиальных цилиндров с торцевой диафрагмой

© Т.Я. Фишкова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: fishkova@mail.ru

(Поступило в Редакцию 21 февраля 2012 г.)

Предложен энергоанализатор заряженных частиц на основе конструкции электростатической коаксиальной линзы, исследованной автором ранее. С помощью численного моделирования путем варьирования четырех независимых параметров определены оптимальные режимы работы такого анализатора. При этом величина линейной дисперсии по энергии на порядок превышает дисперсию широко распространенных энергоанализаторов типа плоского и цилиндрического зеркал, а также целого ряда других устройств для анализа заряженных частиц по энергии.

Введение

Энергоанализатор из двух коаксиальных цилиндров в зеркальном режиме работы нашел широкое применение ввиду высокой светосилы из-за наличия в устройстве осевой симметрии, а также фокусировки второго порядка по углу раствора пучка [1]. Однако этот режим достигается теоретически без учета краевых полей. Исключение влияния краевых полей достигается либо за счет значительной длины электродов, либо путем их компенсации при постановке с двух сторон по торцам нескольких электродов с потенциалами, обеспечивающими распределение поля в соответствии с логарифмическим законом.

С целью исключения краевых полей в работе [2] предложена более простая конструкция, в которой по торцам коаксиальных цилиндров перпендикулярно продольной оси системы установлены заземленные плоские электроды. Найдена аналитическая формула распределения потенциала такого устройства и оптимальный режим его работы, при котором параметры упрощенного энергоанализатора при больших углах раствора пучка не уступают классическому зеркалу [1]. Недостатком [1,2] является малая величина линейной дисперсии по энергии, равная приблизительно базе анализатора (расстоянию между источником заряженных частиц и детектором), что ограничивает разрешающую способность таких цилиндрических зеркал.

В последнее время большое внимание уделяется вопросам восстановления энергического спектра путем математической обработки выходного сигнала, поступающего на детектор электростатических спектрометров с постоянной траекторией заряженных частиц, при использовании аппаратной функции [3]. При этом не так важна степень фокусировки пучка, как высокая дисперсия. В этом случае можно использовать широкую выходную щель и тем самым снижать влияние различного рода помех за счет увеличения соотношения сигнал/шум. При этом существенно увеличивается разрешающая способность спектрометров.

В монографии [4] описаны двумерные энергоанализаторы с зеркальным ходом траекторий в плоскости симметрии, коэффициент линейной дисперсии которых за счет угла впуска заряженных частиц, близкого $\pi/2$, более чем на порядок превосходит базу анализатора. При этом не учитывается, что с ростом угла впуска сама база анализатора сильно уменьшается, поэтому дисперсия по энергии растет не так сильно. Недостатками описанных энергоанализаторов является сложная форма электродов и малая светосила.

Результаты

Целью настоящей работы является нахождение режимов с высокой дисперсией по энергии при использовании в качестве анализатора заряженных частиц конструкцию электростатической коаксиальной цилиндрической линзы, предложенной нами ранее [5]. Особенностью такого энергоанализатора, состоящего из двух коаксиальных цилиндров с заземленной торцевой диафрагмой на входе, является впуск через нее пучков

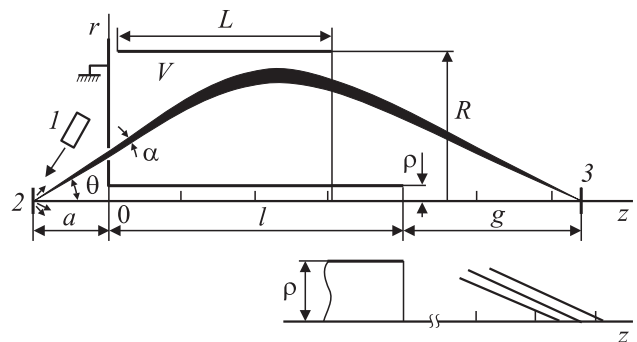


Схема предлагаемого энергоанализатора с траекториями заряженных частиц, а также фрагмент хода траекторий в районе точки фокусировки при разбросе по энергии в пучке, равном 0.3% (система имеет осевую симметрию относительно продольной оси z): 1 — источник первичного излучения, 2 — исследуемый объект, 3 — детектор.

Параметры энергоанализатора при $R/\rho = 10$

a	l	L	F	g	D_+	D_-	Θ°	α°	s_i	α°	s_i
5	20	15	0.80	13.1	154	134	32.2	1.0	0.08	2.0	0.27
10	20	20	0.71	11.8	125	120	28.3	1.0	0.04	2.0	0.15
15	20	25	0.64	12.0	108	101	23.5	1.0	0.05	2.0	0.20

заряженных частиц. Преимуществом такого ввода пучка является возможность расположения исследуемого объекта и источника того или иного первичного излучения вне поля (см. рисунок). Кроме того, при поисках режимов работы накладывалось требование о необходимости положения детектора также вне поля.

Расчет режимов работы описанного выше энергоанализатора произведен численно по программе автора для осесимметричной задачи. В процессе расчета менялись четыре независимых параметра, указанных на рисунке: радиус внешнего цилиндра R при постоянном радиусе внутреннего цилиндра ρ , положение объекта a , угол входа центральной траектории пучка Θ , длины внутреннего l и внешнего L электродов, а также оптическая сила анализатора $F = V/\varepsilon_0$, где V — потенциал внешнего цилиндра (внутренний цилиндр и торцевая диафрагма заземлены), ε_0 — начальная энергия пучка.

Найдены оптимальные режимы работы с максимальной возможной величиной коэффициента линейной дисперсии по энергии D при малом размере сфокусированного по углу раствора пучка на продольной оси системы s_i . Результаты расчета при соотношении радиусов внешнего и внутреннего цилиндрических электродов, равного $R/\rho = 10$, сведены в таблицу, в которой все линейные размеры выражены в единицах радиуса внутреннего цилиндра ρ . В ней кроме указанных выше параметров введены также g — расстояние от торца внутреннего цилиндрического электрода до изображения (положение детектора) и α — начальный угол раствора пучка. Следует отметить, что величины коэффициентов линейной дисперсии D_+ для пучков, у которых энергия больше энергии настройки, на 5–10% превышают аналогичные коэффициенты D_- для меньших энергий. Поскольку чем больше энергия частиц, тем ближе их траектории подходят к внешнему цилиндру, где мала напряженность поля и слабее его действие.

Разрешение по энергии исследованной системы в оптимальных режимах работы, приведенных в таблице, при угле раствора пучка на входе $\alpha = 1^\circ$ составляет $\Delta\varepsilon/\varepsilon_0 = (3-6) \cdot 10^{-4}$. При этом светосила, характеризующая пропускную способность анализатора, за счет осесимметричного хода траекторий пучка достигает 6–8%. Следует отметить, что в двумерных энергоанализаторах даже при наличии пространственной фокусировки по углу величина светосилы не превышает 0.1–0.2%.

Заключение

Исследована возможность использования в качестве энергоанализатора заряженных частиц конструкцию

электростатической коаксиальной цилиндрической линзы, предложенной автором ранее. Найдены оптимальные режимы работы такого устройства, обеспечивающие высокую дисперсию по энергии, более чем на порядок превышающую дисперсию наиболее часто используемых энергоанализаторов типа плоского и цилиндрического зеркал, а также двумерных энергоанализаторов типа коробочки, двугранного угла, усеченного цилиндра и др. Конструкция предлагаемого осесимметричного энергоанализатора много проще, а светосила практически на 2 порядка больше, чем у двумерных высокодисперсионных энергоанализаторов, описанных в [4].

Список литературы

- [1] *Зашквара В.В., Корсунский М.И., Космачев О.С.* // ЖТФ. 1966. Т. 36. Вып. 1. С. 132–138.
- [2] *Овсянникова Л.П., Фишкова Т.Я.* // ЖТФ. 1994. Т. 64. Вып. 10. С. 174–177.
- [3] *Голиков Ю.К., Краснова Н.К., Марциновский И.А.* // Научное приборостроение. 2011. Т. 21. № 3. С. 68–82.
- [4] *Голиков Ю.К., Краснова Н.К.* Теория синтеза электростатических энергоанализаторов. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2010. С. 97–108.
- [5] *Овсянникова Л.П., Фишкова Т.Я.* // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. Вып. 16. С. 39–44.