

Электростатический анализатор энергии заряженных частиц

Классы МПК7:

(57) Реферат:

[H01J49/48 - с использованием электростатических анализаторов, например цилиндрических секторов, фильтров Вьена](#)

Полезная модель относится к спектрометрам по энергии и может быть использована для определения состава и свойств веществ по энергетическим спектрам заряженных частиц, эмитируемых образцом при его облучении рентгеновскими квантами, электронами или ионами. Задачи, решаемые предлагаемой полезной моделью - повышение чувствительности и разрешающей способности анализатора энергии заряженных частиц. Задачи решаются электростатическим анализатором энергии заряженных частиц с источником питания, источником заряженных частиц, размещенным на оси устройства, коаксиально расположенными внешним цилиндрическим электродом, внутренним цилиндрическим электродом с двумя кольцевыми окнами, системами защитных (корректирующих) электродов, а также детектором. Защитные электроды расположены на обоих торцах анализатора. Новым является выполнение внешнего цилиндрического электрода из трех электрически изолированных частей, разделенных зазорами, так что проекции зазоров на ось цилиндров расположены между проекциями входного и выходного окон внутреннего цилиндрического электрода на эту ось, а источник питания выполнен с возможностью подачи на боковые части внешнего электрода напряжения большего, чем на центральную часть.

1 сам. п. ф-лы, 3 илл., 1 п.

Авторы модели 120512:

[Баранова Любовь Александровна \(RU\)](#)

Владельцы модели:

[Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук \(RU\)](#)

Другие модели:

Полезная модель относится к области спектрометрии заряженных частиц, конкретно, к спектрометрам по энергии, и может быть использована в различных областях промышленности и в научных исследованиях для определения состава и свойств веществ по энергетическим спектрам заряженных частиц, эмитируемых образцом при его облучении рентгеновскими квантами, электронами или ионами.

Для определения энергетических спектров заряженных частиц используются энергоанализаторы, из которых наибольшее распространение получил электростатический анализатор типа цилиндрического зеркала, характеризующийся простотой конструкции и сравнительно высокой светосилой, а, следовательно, высокой чувствительностью. (В.В.Зашквара, М.И.Корсунский, О.С.Космачев. ЖТФ, т. XXXVI, в. 1, с.132, 1966).

Устройство состоит из помещенных в корпус, обеспечивающий вакуум, двух коаксиальных цилиндров с радиусами r_1 и r_2 . На оси симметрии цилиндров помещены источник заряженных частиц и детектор. Во внутреннем цилиндре вырезаны два кольцевых окна - входное и выходное. Внутренний цилиндр заземлен, на внешний цилиндр подается потенциал того же знака, что и знак заряда анализируемых частиц, то есть между цилиндрами приложено тормозящее поле. Через входное окно частицы, эмитированные источником, проникают в область тормозящего поля, через выходное окно частицы, отраженные этим полем, возвращаются в область нулевого потенциала и затем регистрируются детектором. Поле цилиндрического зеркала обладает диспергирующим действием, то есть по разному преломляет частицы разных энергий, а также фокусирующим действием по углу расходимости пучка, вылетающего из образца. В результате на детектор попадают частицы выделенной энергии, сфокусированные по углу вылета. Изменяя потенциал, приложенный к внешнему цилиндру, можно последовательно зарегистрировать на детекторе весь энергетический спектр заряженных частиц, вылетевших из образца.

Недостатками известного устройства являются ограниченные значения чувствительности и разрешающей способности, которые обусловлены структурой электростатического поля, формируемого цилиндрическим зеркалом.

Известен анализатор заряженных частиц (патент РФ № 2294579, H01J 49/40, 2006 г.), в котором задача повышения чувствительности и разрешающей способности решается за счет отказа от простой цилиндрической формы электродов. Анализатор включает в себя образец, эмитирующий расходящийся пучок заряженных частиц, внешний и внутренний осесимметричные коаксиальные электроды, входное и выходное кольцевые окна, вырезанные во внутреннем электроде, через которые пучок попадает в тормозящее электрическое поле и затем возвращается в бесполое пространство, и детектор заряженных частиц. Внешний и внутренний электроды анализатора выполнены в виде экспоненциально сближающихся на входе и выходе энергоанализатора осесимметричных поверхностей, описываемых полиномиальными уравнениями, между которыми приложено тормозящее поле,

Недостатком этого анализатора является чрезвычайно сложная форма электродов, которую трудно осуществить на практике, а любые погрешности в изготовлении и юстировке прибора неизбежно приводят к деградации его эксплуатационных качеств. В результате высокая чувствительность и разрешающая способность, продемонстрированные теоретическим расчетом, оказываются практически недостижимыми.

Наиболее близким по технической сущности является выбранный в качестве прототипа электростатический анализатор типа цилиндрического зеркала (а.с. СССР № 1711263, H01J 49/48, 1992 г.). Он состоит из источника заряженных частиц, размещенного

на оси прибора, коаксиальных внутреннего цилиндрического электрода с двумя окнами (входным и выходным для частиц), наружного цилиндрического электрода, приемника с диафрагмой (детектора), системы коаксиальных защитных (корректирующих) электродов на торце со стороны приемника. В межэлектродном пространстве за выходным окном установлена подвижная торцовая металлическая пластина, перпендикулярная оси симметрии. Торцовая металлическая пластина имеет потенциал внутреннего электрода и создает нужный эффект изменения (корректировки) фокусирующего поля по сравнению с цилиндрическим, в результате чего разрешающая способность при фокусировке пучков с большой угловой расходимостью повышается по сравнению с обычным цилиндрическим зеркалом. При этом становится ненужной система громоздких коаксиальных защитных электродов на торце со стороны приемника.

Таким образом, в прототипе применена простая цилиндрическая форма полезающих электродов с усовершенствованной системой торцовых корректирующих электродов, благодаря чему и достигается эффект увеличения разрешающей способности и чувствительности устройства.

Недостатком такого устройства является то, что торцовая пластина расположена в стороне от основного пути пучка заряженных частиц, и ее влияние на траектории становится заметным только когда частицы приближаются к выходному окну. В результате торцовая пластина оказывает слишком слабое воздействие на траектории заряженных частиц, и ее установка приводит лишь к незначительному повышению чувствительности и разрешающей способности.

Задачи, решаемые предлагаемой полезной моделью - повышение чувствительности и разрешающей способности анализатора энергии заряженных частиц при сохранении простой формы полезающих электродов.

Задачи решаются тем, что в электростатическом анализаторе энергии заряженных частиц, включающем источник заряженных частиц, размещенный на оси анализатора, коаксиально расположенные внешний и внутренний цилиндрические электроды и системы защитных электродов, размещенные на обоих торцах анализатора, детектор, помещенный на оси, и источник питания, внешний цилиндрический электрод выполнен из центральной и боковых цилиндрических электрически изолированных частей одинакового радиуса, разделенных зазорами, подсоединенных к источнику питания, выполненному с возможностью подачи на боковые части внешнего электрода напряжения, большего, чем на его центральную часть, внутренний цилиндрический электрод выполнен с входным и выходным кольцевыми окнами, а проекции зазоров на упомянутую ось расположены между проекциями окон на эту ось.

Новым в предлагаемом устройстве является выполнение внешнего цилиндрического электрода из трех электрически изолированных частей, разделенных зазорами, проекции которых на ось анализатора расположены между проекциями входного и выходного окон внутреннего цилиндрического электрода на эту ось, и подсоединенных к источнику напряжения таким образом, что напряжение, поданное на боковые части внешнего цилиндра, по абсолютной величине больше напряжения, поданного на его центральную часть.

Сущность предлагаемой полезной модели заключается в том, что, согласно исследованиям автора, в такой конструкции и при подаче на боковые части внешнего цилиндра напряжения по абсолютной величине большего напряжения, поданного на его центральную часть, в области траекторий движения частиц (между входным и выходным окнами) формируется структура электростатического поля, существенно отличная от структуры поля как в обычном цилиндрическом зеркале, так и в прототипе. Напряженность поля обычного цилиндрического зеркала имеет только радиальный компонент, перпендикулярный оси цилиндров, и эквипотенциальные линии имеют вид прямых, параллельных образующим цилиндров. Поле прототипа помимо радиального содержит также продольный компонент напряженности, однако этот компонент невелик и сосредоточен в малой области, прилегающей к выходному окну, в результате чего достигаемый полезный эффект также невелик и эксплуатационные параметры прототипа незначительно превосходят параметры обычного цилиндрического зеркала. В предлагаемой полезной модели напряженность поля помимо радиального содержит весьма существенный продольный компонент во всей области движения заряженных частиц. Эквипотенциальные линии искривляются, они разрежены в центре устройства и сгущаются в направлении торцов. Качество фокусировки в поле такой структуры значительно выше по сравнению с чисто цилиндрическим полем, так и с прототипом. В результате, при одном и том же угле раствора пучка на входе, размер сфокусированного пятна на детекторе гораздо меньше, чем в прототипе, т.е. существенно выше разрешающая способность предлагаемого анализатора. Если задаться одинаковым размером пятна на детекторе, т.е. одинаковым разрешением, то можно значительно увеличить угол раствора пучка на входе, а, следовательно, светосила (чувствительность) предлагаемого прибора будет превосходить светосилу прототипа.

Очевидно, что величина каждого зазора между частями внешнего цилиндра Δ должна удовлетворять неравенству $\Delta_{\min} \leq \Delta \leq \Delta_{\max}$. Здесь величина Δ_{\min} определяется из условия отсутствия электрического пробоя между частями цилиндра. Экспериментально установлено, что зазор шириной 1 мм выдерживает разность потенциалов 3 кВ, т.е. напряженность поля H_{\max} в зазоре не должна превышать 3 кВ/мм. Следовательно, минимальная величина зазора Δ_{\min} (мм) определяется формулой:

$$\Delta_{\min} = (V_c - V_b) / H_{\max},$$

где: V_c - потенциал средней части внешнего цилиндра, кВ;

V_b - потенциалы боковых частей внешнего цилиндра, кВ;

H_{\max} - максимально возможная напряженность поля без пробоя в зазоре, кВ/мм.

Величина Δ_{\max} находится из того условия, что провисание поля в зазорах должно быть ограничено малой областью вблизи самого зазора и не оказывать негативного влияния на ход траекторий заряженных частиц. Рассмотрение хода траекторий в предлагаемом анализаторе показывает, что это условие выполняется при $\Delta_{\max} = (r_2 - r_1) / 10$, где r_2 и r_1 - радиусы внешнего и внутреннего цилиндров, соответственно.

Выполнение таких условий при выборе приемлемой ширины зазоров не составляет трудности для среднего специалиста по электрическим устройствам.

На Фиг.1 схематически показано продольное сечение предлагаемого анализатора, где:

- 1 - источник заряженных частиц;
- 2 - внутренний цилиндрический электрод;
- 3 - входное окно внутреннего цилиндрического электрода;
- 4 - выходное окно внутреннего цилиндрического электрода;
- 5 и 7 - боковые части внешнего цилиндрического электрода;
- 6 - центральная часть внешнего цилиндрического электрода;
- 8, 9 - зазоры между частями внешнего цилиндрического электрода;
- 10, 11 - системы коаксиальных защитных электродов на торцах анализатора;
- 12 - детектор;
- 13 - траектории заряженных частиц;
- 14 - источник питания;
- 15 - делитель напряжения.

Устройство состоит из источника 1 заряженных частиц (исследуемый образец), внутреннего цилиндрического электрода 2 с входным 3 и выходным 4 кольцевыми окнами, внешнего цилиндрического электрода, образованного тремя электрически изолированными частями - боковыми 5, 7, и центральной - 6, разделенными зазорами 8, 9, двух систем коаксиальных защитных электродов 10, 11, расположенных на торцах анализатора, и детектора 12. Показаны также траектории 13 заряженных частиц. Источник питания 14 через делитель 15 подключен к боковым частям 5 и 7 внешнего цилиндра и к его центральной части 6.

Анализатор работает следующим образом.

От источника питания 14 через делитель напряжения 15 подаются одинаковые потенциалы V_b на боковые части 5 и 7 внешнего цилиндра, а на центральную часть 6 внешнего цилиндра подается потенциал V_c , который по абсолютной величине должен быть меньше, чем V_b , т.е. $|V_c| < |V_b|$. Внутренний цилиндрический электрод 2 заземлен. Заряженные частицы, испускаемые исследуемым образцом 1 через входное окно 3 поступают в электростатическое поле, тормозятся этим полем и отражаются по

исследуемым образцом 1, через входное окно 3 поступает в электростатическое поле, тормозится этим полем и отражается по направлению к оси. Поскольку тормозящее электростатическое поле по-разному преломляет частицы разных энергий, то первоначальный пучок заряженных частиц разделяется на отдельные пучки, характеризующиеся разной энергией. Пучок с выделенной энергией (так называемой энергией настройки) проходит через выходное окно 4 и фокусируется на детектор 12. При выполнении условия $|V_c| < |V_b|$ в устройстве формируется структура электростатического поля, обеспечивающая более высокое качество фокусировки заряженных частиц по сравнению с прототипом. Изменяя потенциалы на внешнем цилиндре, но сохраняя при этом неизменным их отношение V_c/V_b , можно последовательно зарегистрировать на детекторе весь энергетический спектр заряженных частиц.

Пример конкретного исполнения предлагаемой полезной модели.

Создано устройство, состоящее из источника 1 заряженных частиц (исследуемый образец), расположенного на оси анализатора, коаксиальных внутреннего цилиндрического электрода 2 с входным 3 и выходным 4 кольцевыми окнами, внешнего цилиндрического электрода, образованного тремя электрически изолированными частями 5, 6, 7, разделенными зазорами 8, 9, двух систем коаксиальных защитных электродов 10, 11, расположенных на торцах анализатора, детектора 12 и источника напряжения 14 с делителем 15. Исследуемый образец 1 облучался пучком рентгеновских квантов, вызывавших эмиссию электронов с поверхности образца. В качестве детектора 12 использовался каналтрон. Радиус внутреннего цилиндрического электрода 2 равен 20 мм, радиус внешнего цилиндра равен 52 мм, длина внутреннего цилиндра равна длине внешнего цилиндра и равна 126 мм. Внешний цилиндр состоит из трех последовательно расположенных частей 5, 6, 7 с длинами 28 мм, 68 мм и 28 мм, соответственно. Ширина зазоров 8 и 9 между частями цилиндра составляет 1 мм. Проекция ближайшей к источнику 1 кромки входного окна 3 на ось находится от источника на расстоянии 12 мм, а ширина входного окна равна 12 мм, проекция ближайшей к детектору 12 кромки выходного окна 4 на ось находится от детектора на расстоянии 12 мм, а ширина выходного окна равна 12 мм. Входное 3 и выходное 4 окна затянуты тонкими продольно натянутыми проволочками, которые образуют сетку высокой прозрачности и предотвращают провисание поля в окнах. Расстояние между образцом 1 и детектором 12 равно 130 мм. Системы защитных электродов 10 и 11 на обоих торцах анализатора выполнены одинаковыми и состоят из трех плоских коаксиальных колец каждая, причем внутренний и наружный радиусы первого кольца равны, соответственно 26 мм и 30 мм, второго кольца - 34 мм и 38 мм и третьего кольца - 42 мм и 46 мм.

Внутренний цилиндр 2 находится под нулевым потенциалом. Потенциалы на части внешнего цилиндра 5, 6 и 7 подаются от источника питания 14 через делитель напряжения 15 таким образом, что отношение потенциала, поданного на центральную часть 6, к потенциалу, поданному на боковые части 5 и 7, составляет $V_c/V_b = 0.6$. Потенциалы, поданные на три кольцевых электрода каждой защитной системы 10 и 11 на торцах анализатора, рассчитаны так, чтобы максимально точно воспроизвести на торце распределение, соответствующее известному цилиндрическому конденсатору. Они равны соответственно $0.35 V_b$, $0.62 V_b$ и $0.82 V_b$, и также должны быть поданы через делитель напряжения, чтобы их отношение к V_b оставалось неизменным при сканировании спектра.

На Фиг.2 показаны рассчитанные эквипотенциальные линии и траектории в продольном сечении предлагаемого анализатора. Видно, что эквипотенциальные линии в центральной части анализатора существенно отличаются от прямых линий, характерных для цилиндрического конденсатора, они разрежены в центре устройства и сгущаются на краях. В прототипе эквипотенциали представляют собой прямые линии в большей части межэлектродного пространства, где происходит движение заряженных частиц, и только вблизи правого торца происходит некоторое искривление и сгущение эквипотенциальных линий. Такое различие в распределении поля и обуславливает достижение в предлагаемом устройстве положительного эффекта - увеличение чувствительности и разрешающей способности предлагаемого анализатора по сравнению с прототипом.

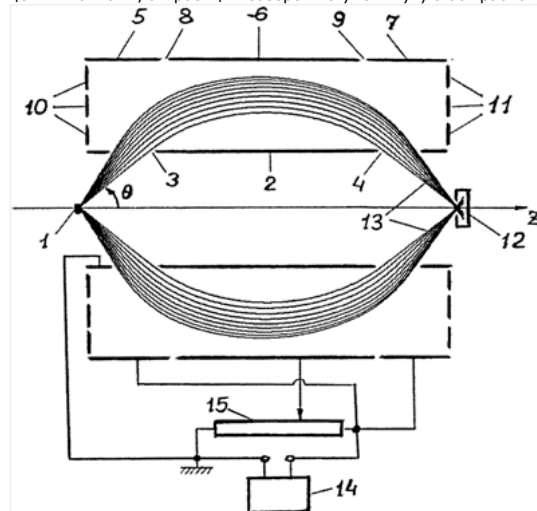
Фиг.3 позволяет сравнить качество фокусировки в предлагаемом устройстве и в прототипе. На ней показана экспериментальная зависимость координаты точки пересечения траектории частиц с осью z от угла θ наклона траектории на входе в анализатор. Кривая 1 соответствует прототипу, кривая 2 - предлагаемому анализатору. Видно, что диапазон углов, в котором координата пересечения

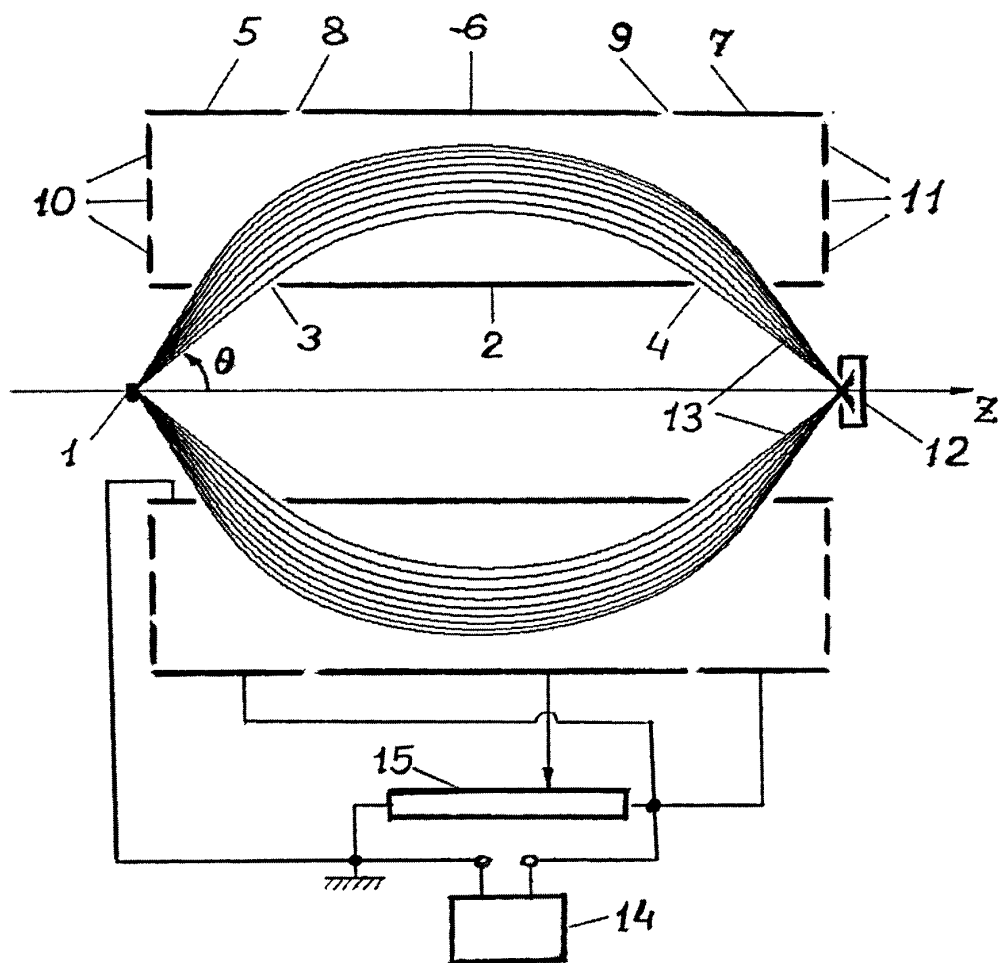
траектории с осью z практически не зависит от угла θ , в предлагаемой модели гораздо шире, чем в известном устройстве. Это позволяет при одинаковой разрешающей способности получить существенно большую светосилу (а значит чувствительность), или, наоборот, повысить разрешающую способность при сохранении светосилы, или наконец, повысить оба параметра, при этом, однако, не достигая их максимально возможных значений.

При ширине входного и выходного окон, указанных выше, а именно 12 мм, угол раствора входящего в анализатор пучка составляет 20° , а разрешение составляет $p = \frac{\Delta}{E/E} = 0.5\%$. В прототипе такое разрешение можно получить только при угле раствора пучка, по крайней мере, вдвое меньшем, т.е. при вдвое меньшей светосиле. Можно несколько уменьшить светосилу предлагаемого анализатора и за счет этого улучшить его разрешение. Например, если ширину окон в предлагаемом анализаторе уменьшить до 9 мм каждое, что соответствует углу раствора 14.5° , то разрешение составит 0.1%. Разрешение прототипа при таком угле раствора входящего пучка (т.е. при той же самой светосиле), как определено автором, почти на порядок хуже.

Следует отметить, что внешний цилиндр может быть выполнен из трех как равных, так и неравных частей, или равных боковых частей и неравной им центральной части, и при этом, как установлено автором, чувствительность и разрешающая способность предлагаемого анализатора будут выше, чем у прототипа.

Электростатический анализатор энергии заряженных частиц, включающий источник заряженных частиц, размещенный на оси анализатора, коаксиально расположенные внешний и внутренний цилиндрические электроды и системы защитных электродов, размещенные на обоих торцах анализатора, детектор, помещенный на оси, и источник питания, внешний цилиндрический электрод выполнен из центральной и боковых цилиндрических электрически изолированных частей одинакового радиуса, разделенных зазорами, подсоединенных к источнику питания, выполненному с возможностью подачи на боковые части внешнего электрода напряжения, большего, чем на его центральную часть, внутренний цилиндрический электрод выполнен с входным и выходным кольцевыми окнами, а проекции зазоров на упомянутую ось расположены между проекциями окон на эту ось.





10

Реферат.

(57) Полезная модель относится к спектрометрам по энергии и может быть использована для определения состава и свойств веществ по энергетическим спектрам заряженных частиц, эмитируемых образцом при его облучении рентгеновскими квантами, электронами или ионами. Задачи, решаемые предлагаемой полезной моделью – повышение чувствительности и разрешающей способности анализатора энергии заряженных частиц. Задачи решаются электростатическим анализатором энергии заряженных частиц с источником питания, источником заряженных частиц, размещенным на оси устройства, коаксиально расположенными внешним цилиндрическим электродом, внутренним цилиндрическим электродом с двумя кольцевыми окнами, системами защитных (корректирующих) электродов, а также детектором. Защитные электроды расположены на обоих торцах анализатора. Новым является выполнение внешнего цилиндрического электрода из трех электрически изолированных частей, разделенных зазорами, так что проекции зазоров на ось цилиндров расположены между проекциями входного и выходного окон внутреннего цилиндрического электрода на эту ось, а источник питания выполнен с возможностью подачи на боковые части внешнего электрода напряжения большего, чем на центральную часть.

1 сам. п. ф-лы, 3 илл., 1 п.

Референт Новикова Т.В.

2012118935



М.кл.8: Н01J49/48

Электростатический анализатор энергии заряженных частиц.

Полезная модель относится к области спектрометрии заряженных частиц, конкретно, к спектрометрам по энергии, и может быть использована в различных областях промышленности и в научных исследованиях для определения состава и свойств веществ по энергетическим спектрам заряженных частиц, эмитируемых образцом при его облучении рентгеновскими квантами, электронами или ионами.

Для определения энергетических спектров заряженных частиц используются энергоанализаторы, из которых наибольшее распространение получил электростатический анализатор типа цилиндрического зеркала, характеризующийся простотой конструкции и сравнительно высокой светосилой, а, следовательно, высокой чувствительностью. (В.В. Зашквара, М.И. Корсунский, О.С. Космачев. ЖТФ, т. XXXVI, в. 1, с.132, 1966).

Устройство состоит из помещенных в корпус, обеспечивающий вакуум, двух коаксиальных цилиндров с радиусами r_1 и r_2 . На оси симметрии цилиндров помещены источник заряженных частиц и детектор. Во внутреннем цилиндре вырезаны два кольцевых окна – входное и выходное. Внутренний цилиндр заземлен, на внешний цилиндр подается потенциал того же знака, что и знак заряда анализируемых частиц, то есть между цилиндрами приложено тормозящее поле. Через входное окно частицы, эмитированные источником, проникают в область тормозящего поля, через выходное окно частицы, отраженные этим полем, возвращаются в область нулевого потенциала и затем регистрируются детектором. Поле цилиндрического зеркала обладает диспергирующим действием, то есть по разному преломляет частицы разных энергий, а также фокусирующим действием по углу расходимости пучка, вылетающего из образца. В результате на детектор попадают частицы выделенной энергии, сфокусированные по углу вылета. Изменяя потенциал, приложенный к внешнему цилиндру, можно последовательно зарегистрировать на детекторе весь энергетический спектр заряженных частиц, вылетевших из образца.

Недостатками известного устройства являются ограниченные значения чувствительности и разрешающей способности, которые обусловлены структурой электростатического поля, формируемого цилиндрическим зеркалом.

Известен анализатор заряженных частиц (патент РФ №2294579, Н01J49/40, 2006г.), в котором задача повышения чувствительности и

разрешающей способности решается за счет отказа от простой цилиндрической формы электродов. Анализатор включает в себя образец, эмитирующий расходящийся пучок заряженных частиц, внешний и внутренний осесимметричные коаксиальные электроды, входное и выходное кольцевые окна, вырезанные во внутреннем электроде, через которые пучок попадает в тормозящее электрическое поле и затем возвращается в бесполовое пространство, и детектор заряженных частиц. Внешний и внутренний электроды анализатора выполнены в виде экспоненциально сближающихся на входе и выходе энергоанализатора осесимметричных поверхностей, описываемых полиномиальными уравнениями, между которыми приложено тормозящее поле,

Недостатком этого анализатора является чрезвычайно сложная форма электродов, которую трудно осуществить на практике, а любые погрешности в изготовлении и юстировке прибора неизбежно приводят к деградации его эксплуатационных качеств. В результате высокая чувствительность и разрешающая способность, продемонстрированные теоретическим расчетом, оказываются практически недостижимыми.

Наиболее близким по технической сущности является выбранный в качестве прототипа электростатический анализатор типа цилиндрического зеркала (а.с. СССР №1711263, H01J49/48, 1992г.). Он состоит из источника заряженных частиц, размещенного на оси прибора, коаксиальных внутреннего цилиндрического электрода с двумя окнами (входным и выходным для частиц), наружного цилиндрического электрода, приемника с диафрагмой (детектора), системы коаксиальных защитных (корректирующих) электродов на торце со стороны приемника. В межэлектродном пространстве за выходным окном установлена подвижная торцовая металлическая пластина, перпендикулярная оси симметрии. Торцовая металлическая пластина имеет потенциал внутреннего электрода и создает нужный эффект изменения (корректировки) фокусирующего поля по сравнению с цилиндрическим, в результате чего разрешающая способность при фокусировке пучков с большой угловой расходимостью повышается по сравнению с обычным цилиндрическим зеркалом. При этом становится ненужной система громоздких коаксиальных защитных электродов на торце со стороны приемника.

Таким образом, в прототипе применена простая цилиндрическая форма ползающих электродов с усовершенствованной системой торцовых корректирующих электродов, благодаря чему и достигается эффект увеличения разрешающей способности и чувствительности устройства.

Недостатком такого устройства является то, что торцовая пластина расположена в стороне от основного пути пучка заряженных частиц, и ее влияние на траектории становится заметным только когда частицы приближаются к выходному окну. В результате торцовая пластина оказывает слишком слабое воздействие на траектории заряженных частиц, и ее установка приводит лишь к незначительному повышению чувствительности и разрешающей способности.

Задачи, решаемые предлагаемой полезной моделью — повышение чувствительности и разрешающей способности анализатора энергии заряженных частиц при сохранении простой формы ползающих электродов.

Задачи решаются тем, что в электростатическом анализаторе энергии заряженных частиц, включающем источник заряженных частиц, размещенный на оси анализатора, коаксиально расположенные внешний и внутренний цилиндрические электроды и системы защитных электродов, размещенные на обоих торцах анализатора, детектор, помещенный на оси, и источник питания, внешний цилиндрический электрод выполнен из центральной и боковых цилиндрических электрически изолированных частей одинакового радиуса, разделенных зазорами, подсоединенных к источнику питания, выполненному с

возможностью подачи на боковые части внешнего электрода напряжения, большего, чем на его центральную часть, внутренний цилиндрический электрод выполнен с входным и выходным кольцевыми окнами, а проекции зазоров на упомянутую ось расположены между проекциями окон на эту ось.

Новым в предлагаемом устройстве является выполнение внешнего цилиндрического электрода из трех электрически изолированных частей, разделенных зазорами, проекции которых на ось анализатора расположены между проекциями входного и выходного окон внутреннего цилиндрического электрода на эту ось, и подсоединенных к источнику напряжения таким образом, что напряжение, поданное на боковые части внешнего цилиндра, по абсолютной величине больше напряжения, поданного на его центральную часть.

Сущность предлагаемой полезной модели заключается в том, что, согласно исследованиям автора, в такой конструкции и при подаче на боковые части внешнего цилиндра напряжения по абсолютной величине большего напряжения, поданного на его центральную часть, в области траекторий движения частиц (между входным и выходным окнами) формируется структура электростатического поля, существенно отличная от структуры поля как в

4

обычном цилиндрическом зеркале, так и в прототипе. Напряженность поля обычного цилиндрического зеркала имеет только радиальный компонент, перпендикулярный оси цилиндров, и эквипотенциальные линии имеют вид прямых, параллельных образующим цилиндров. Поле прототипа помимо радиального содержит также продольный компонент напряженности, однако этот компонент невелик и сосредоточен в малой области, прилегающей к выходному окну, в результате чего достигаемый полезный эффект также невелик и эксплуатационные параметры прототипа незначительно превосходят параметры обычного цилиндрического зеркала. В предлагаемой полезной модели напряженность поля помимо радиального содержит весьма существенный продольный компонент во всей области движения заряженных частиц. Эквипотенциальные линии искривляются, они разрезаны в центре устройства и сгущаются в направлении торцов. Качество фокусировки в поле такой структуры значительно выше по сравнению как с чисто цилиндрическим полем, так и с прототипом. В результате, при одном и том же угле раствора пучка на входе, размер сфокусированного пятна на детекторе гораздо меньше, чем в прототипе, т. е. существенно выше разрешающая способность предлагаемого анализатора. Если задаться одинаковым размером пятна на детекторе, т. е. одинаковым разрешением, то можно значительно увеличить угол раствора пучка на входе, а, следовательно, светосилу (чувствительность) предлагаемого прибора будет превосходить светосилу прототипа.

Очевидно, что величина каждого зазора между частями внешнего цилиндра Δ должна удовлетворять неравенству $\Delta_{\min} \leq \Delta \leq \Delta_{\max}$. Здесь величина Δ_{\min} определяется из условия отсутствия электрического пробоя между частями цилиндра. Экспериментально установлено, что зазор шириной 1 мм выдерживает разность потенциалов 3 кВ, т. е. напряженность поля E_{\max} в зазоре не должна превышать 3 кВ/мм. Следовательно, минимальная величина зазора Δ_{\min} (мм) определяется формулой:

$$\Delta_{\min} = (V_c - V_b)/E_{\max},$$

где: V_c - потенциал средней части внешнего цилиндра, кВ;

V_b - потенциалы боковых частей внешнего цилиндра, кВ;

E_{\max} - максимально возможная напряженность поля без пробоя в зазоре, кВ/мм.

Величина Δ_{\max} находится из того условия, что провисание поля в зазорах должно быть ограничено малой областью вблизи самого зазора и не оказывать негативного влияния на ход траекторий заряженных частиц.

Рассмотрение хода траекторий в предлагаемом анализаторе показывает, что это условие выполняется при $\Delta_{\max} = (r_2 - r_1)/10$, где r_2 и r_1 – радиусы внешнего и внутреннего цилиндров, соответственно.

Выполнение таких условий при выборе приемлемой ширины зазоров не составляет трудности для среднего специалиста по электрическим устройствам.

На Фиг.1 схематически показано продольное сечение предлагаемого анализатора, где:

- 1 - источник заряженных частиц;
- 2 - внутренний цилиндрический электрод;
- 3 – входное окно внутреннего цилиндрического электрода;
- 4 – выходное окно внутреннего цилиндрического электрода;
- 5 и 7 - боковые части внешнего цилиндрического электрода;
- 6 - центральная часть внешнего цилиндрического электрода;
- 8, 9 – зазоры между частями внешнего цилиндрического электрода;
- 10, 11 - системы коаксиальных защитных электродов на торцах анализатора;
- 12 – детектор;
- 13 - траектории заряженных частиц;
- 14 – источник питания;
- 15 – делитель напряжения.

Устройство состоит из источника 1 заряженных частиц (исследуемый образец), внутреннего цилиндрического электрода 2 с входным 3 и выходным 4 кольцевыми окнами, внешнего цилиндрического электрода, образованного тремя электрически изолированными частями - боковыми 5,7, и центральной – 6, разделенными зазорами 8, 9, двух систем коаксиальных защитных электродов 10, 11, расположенных на торцах анализатора, и детектора 12. Показаны также траектории 13 заряженных частиц. Источник питания 14 через делитель 15 подключен к боковым частям 5 и 7 внешнего цилиндра и к его центральной части 6.

Анализатор работает следующим образом.

От источника питания 14 через делитель напряжения 15 подаются одинаковые потенциалы V_b на боковые части 5 и 7 внешнего цилиндра, а на центральную часть 6 внешнего цилиндра подается потенциал V_c , который по абсолютной величине должен быть меньше, чем V_b , т. е. $|V_c| < |V_b|$. Внутренний цилиндрический электрод 2 заземлен. Заряженные частицы, испускаемые исследуемым образцом 1, через входное окно 3 поступают в электростатическое

поле, тормозятся этим полем и отражаются по направлению к оси. Поскольку тормозящее электростатическое поле по-разному преломляет частицы разных энергий, то первоначальный пучок заряженных частиц разделяется на отдельные пучки, характеризуемые разной энергией. Пучок с выделенной энергией (так называемой энергией настройки) проходит через выходное окно 4 и фокусируется на детектор 12. При выполнении условия $|V_c| < |V_b|$ в устройстве формируется структура электростатического поля, обеспечивающая более высокое качество фокусировки заряженных частиц по сравнению с прототипом. Изменяя потенциалы на внешнем цилиндре, но сохраняя при этом неизменным их отношение V_c/V_b , можно последовательно зарегистрировать на детекторе весь энергетический спектр заряженных частиц.

Пример конкретного исполнения предлагаемой полезной модели.

Создано устройство, состоящее из источника 1 заряженных частиц (исследуемый образец), расположенного на оси анализатора, коаксиальных внутреннего цилиндрического электрода 2 с входным 3 и выходным 4 кольцевыми окнами, внешнего цилиндрического электрода, образованного тремя электрически изолированными частями 5, 6, 7, разделенными зазорами 8, 9, двух систем коаксиальных защитных электродов 10, 11, расположенных на торцах анализатора, детектора 12 и источника напряжения 14 с делителем 15. Исследуемый образец 1 облучался пучком рентгеновских квантов, вызывавших эмиссию электронов с поверхности образца. В качестве детектора 12 использовался каналтрон. Радиус внутреннего цилиндрического электрода 2 равен 20 мм, радиус внешнего цилиндра равен 52 мм, длина внутреннего цилиндра равна длине внешнего цилиндра и равна 126 мм. Внешний цилиндр состоит из трех последовательно расположенных частей 5, 6, 7 с длинами 28 мм, 68 мм и 28 мм, соответственно. Ширина зазоров 8 и 9 между частями цилиндра составляет 1 мм. Проекция ближайшей к источнику 1 кромки входного окна 3 на ось находится от источника на расстоянии 12 мм, а ширина входного окна равна 12 мм, проекция ближайшей к детектору 12 кромки выходного окна 4 на ось находится от детектора на расстоянии 12 мм, а ширина выходного окна равна 12 мм. Входное 3 и выходное 4 окна затянуты тонкими продольно натянутыми проволочками, которые образуют сетку высокой прозрачности и предотвращают провисание поля в окнах. Расстояние между образцом 1 и детектором 12 равно 130 мм. Системы защитных электродов 10 и 11 на обоих торцах анализатора выполнены одинаковыми и состоят из трех плоских коаксиальных колец каждая, причем внутренний и наружный радиусы первого

кольца равны, соответственно 26 мм и 30 мм, второго кольца – 34 мм и 38 мм и третьего кольца – 42 мм и 46 мм.

Внутренний цилиндр 2 находится под нулевым потенциалом. Потенциалы на части внешнего цилиндра 5, 6 и 7 подаются от источника питания 14 через делитель напряжения 15 таким образом, что отношение потенциала, поданного на центральную часть 6, к потенциалу, поданному на боковые части 5 и 7, составляет $V_6/V_5 = 0.6$. Потенциалы, поданные на три кольцевых электрода каждой защитной системы 10 и 11 на торцах анализатора, рассчитаны так, чтобы максимально точно воспроизвести на торце распределение, соответствующее известному цилиндрическому конденсатору. Они равны соответственно $0.35V_6$, $0.62 V_6$ и $0.82 V_6$, и также должны быть поданы через делитель напряжения, чтобы их отношение к V_6 оставалось неизменным при сканировании спектра.

На Фиг. 2 показаны рассчитанные эквипотенциальные линии и траектории в продольном сечении предлагаемого анализатора. Видно, что эквипотенциальные линии в центральной части анализатора существенно отличаются от прямых линий, характерных для цилиндрического конденсатора, они разрежены в центре устройства и сгущаются на краях. В прототипе эквипотенциали представляют собой прямые линии в большей части межэлектродного пространства, где происходит движение заряженных частиц, и только вблизи правого торца происходит некоторое искривление и сгущение эквипотенциальных линий. Такое различие в распределении поля и обуславливает достижение в предлагаемом устройстве положительного эффекта – увеличение чувствительности и разрешающей способности предлагаемого анализатора по сравнению с прототипом.

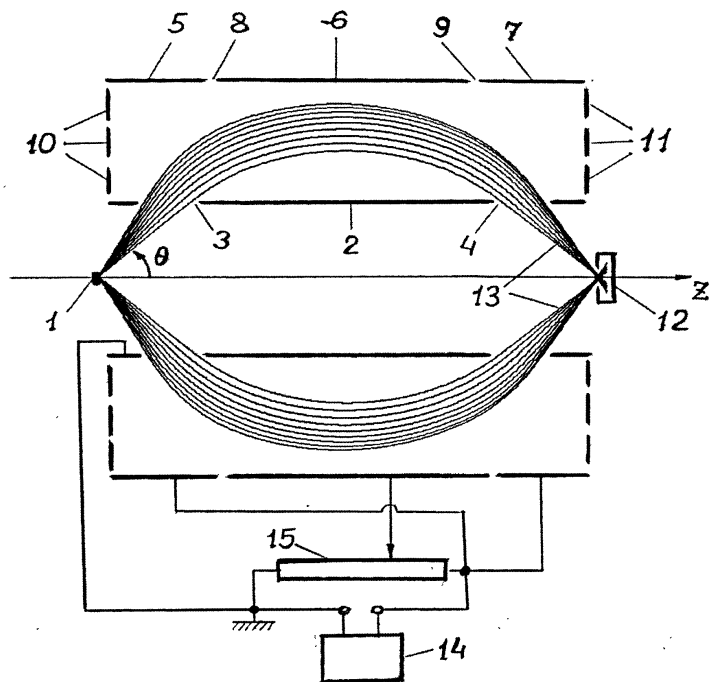
Фиг. 3 позволяет сравнить качество фокусировки в предлагаемом устройстве и в прототипе. На ней показана экспериментальная зависимость координаты точки пересечения траектории частиц с осью z от угла θ наклона траектории на входе в анализатор. Кривая 1 соответствует прототипу, кривая 2 – предлагаемому анализатору. Видно, что диапазон углов, в котором координата пересечения траектории с осью z практически не зависит от угла θ , в предлагаемой модели гораздо шире, чем в известном устройстве. Это

предлагаемой модели торцевого штифта, чем в известном устройстве. Это позволяет при одинаковой разрешающей способности получить существенно большую светосилу (а значит чувствительность), или, наоборот, повысить разрешающую способность при сохранении светосилы, или наконец, повысить

оба параметра, при этом, однако, не достигая их максимально возможных значений.

При ширине входного и выходного окон, указанных выше, а именно 12 мм, угол раствора входящего в анализатор пучка составляет 20° , а разрешение составляет $\rho = \Delta E/E = 0.5\%$. В прототипе такое разрешение можно получить только при угле раствора пучка, по крайней мере, вдвое меньшем, т.е. при вдвое меньшей светосиле. Можно несколько уменьшить светосилу предлагаемого анализатора и за счет этого улучшить его разрешение. Например, если ширину окон в предлагаемом анализаторе уменьшить до 9 мм каждое, что соответствует углу раствора 14.5° , то разрешение составит 0.1%. Разрешение прототипа при таком угле раствора входящего пучка (т. е. при той же самой светосиле), как определено автором, почти на порядок хуже.

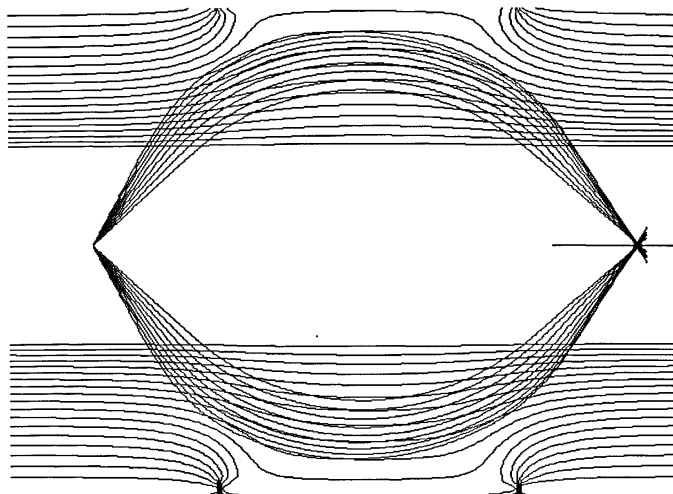
Следует отметить, что внешний цилиндр может быть выполнен из трех как равных, так и неравных частей, или равных боковых частей и неравной им центральной части, и при этом, как установлено автором, чувствительность и разрешающая способность предлагаемого анализатора будут выше, чем у прототипа.



Фиг. 1

2/3

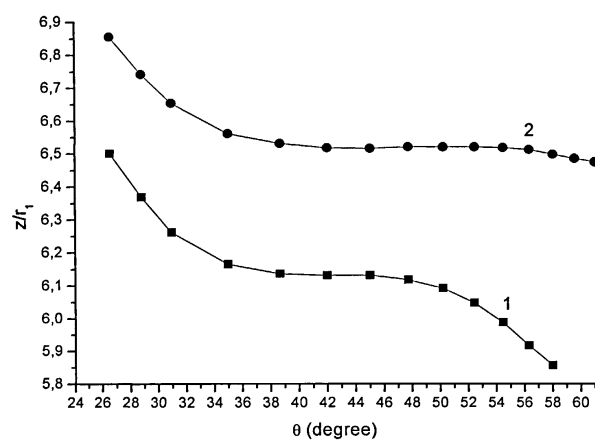
Электростатический анализатор
энергии заряженных частиц



Фиг. 2

3/3

Электростатический анализатор
энергии заряженных частиц



Фиг. 3



