

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА»
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

**«ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
НА ЭНЕРГИИ ДО 20 КЭВ»**

Выполнила студентка
4 курса 423 группы
Лазарева Ксения Алексеевна

Научный руководитель:
к.ф.-м.н., с.н.с.
Шемухин Андрей Александрович

Москва
2020 г.

Зачем изучать спектры пучков?

С развитием новых методик исследования вещества появилась необходимость энергетического анализа заряженных частиц. Под действием рентгеновского, ультрафиолетового и электронного облучения на образец происходит эмиссия электронов. При анализе их энергетического спектра определяют положение максимумов и интенсивность отдельных линий. Положение характеристических пиков специфично для атомов различных химических элементов, а небольшой сдвиг от положения чистого элемента позволяет судить о химическом состоянии атомов. Зная интенсивность пиков, можно судить о количестве атомов в образце. Изучение спектров пучков заряженных частиц также актуальны и для космических исследований, например, для изучения влияния солнечных вспышек на ионосферу Земли.

Способы анализа спектров заряженных частиц.

Для измерения энергии и углового распределения электронов, испускаемых из какого-либо источника, доступны различные варианты, и тщательное рассмотрение характеристик источника и экспериментальных требований может привести к улучшению экспериментальных возможностей путем оптимизации выбора используемого анализатора энергии электронов.

Действие времяпролетного анализатора основано на анализе времени пролёта. Ионы вылетают из источника и попадают во времяпролетную трубу, где отсутствует электрическое поле (бесполевой промежуток). Пролетев некоторое расстояние, ионы регистрируются детектором ионов с плоской или почти плоской регистрирующей поверхностью. Этот способ эффективен при низких энергиях и для определения энергии тяжелых частиц.

В анализаторе задерживающего поля используется тормозящее электростатическое поле, пропускающее на коллектор только те электроны, кинетическая энергия которых превышает созданный потенциальный барьер. Его главным недостатком является плохое соотношение сигнал/шум, так как все

электроны с энергией, большей, чем задерживающий потенциал, попадают на коллектор и генерируют дробовой шум.

Пространственное разделение заряженных частиц возможно и с помощью набора электродов и/или магнитов. При движении заряженных пучков в магнитном и/или электрическом поле анализатора происходит отклонение частиц. Главным недостатком магнитного анализатора является вес (особо актуально для проведения экспериментов в космосе) и габариты. При невысоких энергиях частиц появляется необходимость работать со слабым магнитным полем, что проблематично из-за явлений остаточной намагниченности, а также трудностей с локализацией полей. Однако требуемая при таких энергиях напряженность электрического поля невелика и может быть просто обеспечена. Электрические анализаторы универсальны (не ограничены низкими энергиями, как метод времени пролета), относительно компактны, совместимы со сверхвысоким вакуумом (что создает некоторые проблемы для магнитных устройств, требующих изолированного провода) и предлагает множество привлекательных функций. По этим причинам подробнее рассмотрим только анализаторы типа электростатического отклонения.

Электростатический анализаторы

Анализаторы энергии электронов с различной геометрией имеют широкое применение в экспериментах для выполнения энергоанализа пучков заряженных частиц. Для эффективности экспериментов требуется высокая собирающая способность, большие телесные углы, высокоэнергетическое разрешение и высокое разрешение импульса. Для получения анализатора, который бы удовлетворял всем этим требованиям, было создано бесчисленное количество различных конфигураций, включая параллельную пластину анализатор [1], анализатор типа цилиндрическое зеркало [2], 127° цилиндрический дефлекторный анализатор (Bundaleski et al., 2002), анализатор типа полусферический дефлектор [3], тороидальный анализатор [4], гиперболический [5] и так называемый «цилиндр»

[6] и анализаторы «Bessel box» [7]. Хотя несколько критериев сравнения анализаторов были разработаны, их не стоит использоваться без разбора, как подчеркивали Рой и Тремблей [8], Тем не менее, эти критерии показывают, что 180 сферический спектрометр является разумным выбором для большинства приложения (Доган и др., 1998)[9].

Энергоанализатор типа сферический дефлектор

Пространство для размещения источника и детектора не ограничено размерами анализатора. Обладает астигматической фокусировкой в двух направлениях. Полусферический анализатор удобен для одновременного углового и энергетического распределения. Благодаря своим характеристикам сферический дефлектор оказался наиболее удобным инструментом для исследования потоков заряженных частиц в космосе. Работа [10] содержит описание конструкции сферического дефлектора с энергией до 1 кэВ. В работе [11] анализатор использовался для энергетического и углового анализа положительных ионов с энергиями до 10 кэВ. Описанный прибор имеет секторный угол $\varphi_s = \pi/2$. Восемь детекторов позволяют также анализировать распределение частиц по углам. В статье [12] описывается использование $1/4$ сферического конденсатора для исследования компонент плазмы с энергиями до 16 кэВ. Прибор также содержал $1/4$ сферический конденсатор с радиусом основной траектории $r_0 = 3$ см, $r_2 - r_1 = 0,25$ см, площадь входной щели $S_1 = 0,5$ см² и давал разрешение 6,5-8,5%. В работе [13] описывается анализатор, который позволял изучать одновременно спектры протонов и электронов с энергиями до 20 кэВ. Он состоял из трёх полусферических электродов, на которые подавались такие потенциалы, чтобы между первым и вторым в нужную стороны отклонялись электроны, а между вторым и третьим- протоны. Анализатор обладал следующими характеристиками: $r_0 = 0,5$ см, $r_1 = 0,48$ см $r_2 = 0,52$ см, разрешение $\sim 10\%$, при том что он захватывал частицы с углами от $\pm 5^\circ$ до $\pm 14^\circ$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Kořver, A., Laricchia, G., 2001. A parallel-plate analyser with time focusing. *Meas. Sci. Technol.* 12 (2001), 1875–1880.
- [2] Read, F., 2002. The parallel cylindrical mirror electron energy analyzer. *Rev. Sci. Instrum.* 73 (3), 1129–1139.
- [3] Zouros, T.J.M., Benis, E.P., 2002. The hemispherical deflector analyser revisited. I. Motion in the ideal $1/r$ potential, generalized entry conditions, Kepler orbits and spectrometer basic equation. *J. Elect. Spec.* 125, 221–248.
- [4] Matsumoto, J., Kobayashi, N., Danjo, A., Yoshino, M., 2004. Data analysis process of a toroidal analyzer for electron-ion collision experiments. *Rev. Sci. Instrum.* 75 (2), 360–366.
- [5] Leas-Quiros, E., Prelas, M.A., 1990. A hyperbolic energy analyzer. *Rev. Sci. Instrum.* 61, 1708–1712.
- [6] Sablik, J.D., Golimowski, D., Sharber, J.R., Winningham, J.D., 1988. Computer simulation of a 360° field-of-view “top-hat” electrostatic analyzer. *Rev. Sci. Instrum.* 59, 146–155.
- [7] Downie, P., Reynolds, D.J., Powis, I., 1995. Parallel, multichannel energy and angle resolving electrostatic electron analyzer. *Rev. Sci. Instrum.* 66 (7), 3807–3817.
- [8] Roy, D., Tremblay, D., 1990. Design of electron spectrometer. *Rep. Progr. Phys.* 53, 1621–1674.
- [9] Dogan, M., Crowe, A., Bartschat, K., Marchalant, P.J., 1998. Simultaneous excitation-ionization of Helium to the $\text{He}^+(2p)$ state. *J. Phys.* B 31, 1611–1624.
- [10] В.В. Мельников, И.А. Савенко, Б.И. Савин, Б.И. П.И. Шаврин. Опыт применения электростатического анализатора на спутнике «Космос-12». *Геомагнетизм и аэронавигация*

- [11] J. H. Wolfe, R. W. Silva, D. D. McKibbin, R. H. Mason. The compositional, anisotropic, and nonradial flow characteristics of the solar wind
- [12] J. H. Wolfe, R. W. Silva, M. A. Mayers. Observation of the Solar wind during the flight of Imp 1.
- [13] L. M. Chase. Energy spectra of Auroral zone particles.