

ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

УДК 539.1.07

DOI: 10.17223/00213411/64/2/15

Е.А. МОРОЗОВ¹, А.Р. МОРОЗОВА¹, Л.Е. МОРОЗОВА²

К РАСЧЕТУ МАГНИТНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ

Обосновывается использование аксиально-асимметричных магнитных полей в конструкции магнитных спектрометров, позволяющее улучшить основные рабочие характеристики указанных приборов, – их энергетическое разрешение и светосилу. Строится математическая модель прибора, включающая как геометрию фазового ансамбля движущихся частиц, так и геометрию технических устройств, обеспечивающих формирование ансамбля. Определяется класс геометрических преобразований типа сжатия-растяжения, сохраняющих фокусирующие и дисперсионные свойства магнитного поля энергоанализатора прибора. Доказывается возможность повышения степени фокусировки частиц и увеличения их дисперсии по энергиям при использовании несимметричных полей. Обосновывается использование эллиптических контуров с током в конструкции энергоанализатора магнитного спектрометра для создания магнитного поля с улучшенными характеристиками. Общий характер построенной теории открывает возможность конструирования магнитных спектрометров самой различной аксиально-несимметричной конфигурации с более высокой светосилой и энергетическим разрешением.

Ключевые слова: электронные магнитные спектрометры, бета-спектрометры, фокусирующие магнитные поля, электронная спектроскопия, бета-спектроскопия.

Введение

Аксиально-симметричные магнитные поля находят применение в приборах электронной оптики, в частности в рентгено-электронных [1] и бета-спектрометрах [2], а также в индукционных ускорителях. Фокусирующие и дисперсионные свойства таких полей в настоящее время достаточно хорошо исследованы и, по-видимому, достигнутые параметры этих приборов – энергетическое разрешение и светосила – близки к пределу. Одним из возможных направлений дальнейшего улучшения характеристик является отказ от аксиальной симметрии в пользу использования полей более сложной геометрии.

В этой связи возникает общая задача теоретического обоснования самой возможности использования аксиально-асимметричных магнитных полей для фокусировки и разделения заряженных частиц по энергии (дисперсии). Другой задачей является выбор геометрической конфигурации прибора, позволяющей улучшить его параметры. Решению этих задач посвящена данная работа.

1. Аффинные преобразования

Математической формализацией движения заряженных частиц в приборе является поток [3] – область фазового пространства, определяющая положения и импульсы частиц в любой момент времени. Под фазовым пространством будем понимать аффинное пространство [4] – точечное множество A^7 с присоединенным к нему векторным пространством $\mathbf{R}^7 = \mathbf{R}_p^3 \oplus \mathbf{R}_x^3 \oplus \mathbf{R}_t$ импульсов p , координат x и времени t . Импульс как динамическую величину будем считать ковариантным вектором, а координату как кинематическую величину – контравариантным вектором [5].

Пусть $\mathbf{e}^1 \mathbf{e}^2 \mathbf{e}^3 \in \mathbf{R}_p^3$, $\mathbf{e}_1 \mathbf{e}_2 \mathbf{e}_3 \in \mathbf{R}_x^3$, $\mathbf{e}_0 \in \mathbf{R}_t$ – базисы $\mathbf{R}^7$. Центрируем аффинное пространство, выбирая точку $O \in A^7$ за начало отсчета. Отнесем к ней базисные векторы линейного пространства $\mathbf{R}^7$ и получим репер $O\mathbf{e}^1 \mathbf{e}^2 \mathbf{e}^3, \mathbf{e}_0 \mathbf{e}_1 \mathbf{e}_2 \mathbf{e}_3$ аффинного пространства как прямую сумму аффинных пространств импульсов, координат и времени.

Координатное представление точки аффинного пространства определяем посредством задания ее радиус-вектора

$$\mathbf{r} = \mathbf{e}^1 p_1 + \mathbf{e}^2 p_2 + \mathbf{e}^3 p_3 + \mathbf{e}_1 x^1 + \mathbf{e}_2 x^2 + \mathbf{e}_3 x^3 + \mathbf{e}_0 t = \mathbf{e}^i p_i + \mathbf{e}_i x^i + \mathbf{e}_0 t. \quad (1)$$

Здесь мы применили сокращенную запись, подразумевая суммирование по повторяющемуся индексу, если он встречается сверху и снизу. Такую форму записи будем применять в дальнейшем, считая каждый раз, что повторяющийся индекс принимает значения 1, 2, 3.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>