

УДК 537.533.34

Б.У.Ашимбаева¹, К.Ш.Чокин¹, А.Т.Исова¹, А.О.Саулебеков², Ж.Т.Камбарова³

¹Физико-технический институт, Алматы;

²Казахстанский филиал Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Астана;

³Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

(E-mail: bagilya@satsun.sci.kz, kanat@hotbox.ru)

Декапольно-цилиндрический зеркальный энергоанализатор

Предложена электронно-оптическая схема электростатического зеркального декапольно-цилиндрического анализатора. Описаны траектории заряженных частиц с угловой расходимостью пучка в аксиальной плоскости. Рассчитаны электронно-оптические характеристики предложенного анализатора с угловой фокусировкой второго порядка. Определена оптимальная схема анализатора.

Ключевые слова: энергоанализатор, электронно-оптическая схема, угловая фокусировка, траектория, заряженные частицы.

Введение

Математический метод построения нового класса мультипольно-цилиндрических полей (МЦП) на основе суперпозиции цилиндрического поля и круговых мультиполей, предложенный в работах [1, 2], открывает перспективу для разработки новых эффективных систем энергоанализа. На основе этого метода был рассчитан широкий ряд разнообразных потенциальных полей, представляющих практический интерес для разработки новых схем анализаторов с улучшенными характеристиками. Расчет и анализ потенциальных свойств синтезированных гексапольно-цилиндрических полей позволил определить новые схемы зеркальных энергоанализаторов, имеющих в сравнении с цилиндрическим зеркалом более широкие функциональные возможности [3, 4].

Описание траекторий заряженных частиц в декапольно-цилиндрическом поле

В данной работе исследуется схема электростатического зеркального энергоанализатора, отклоняющее поле которого является суперпозицией цилиндрического поля и цилиндрического кругового декаполя

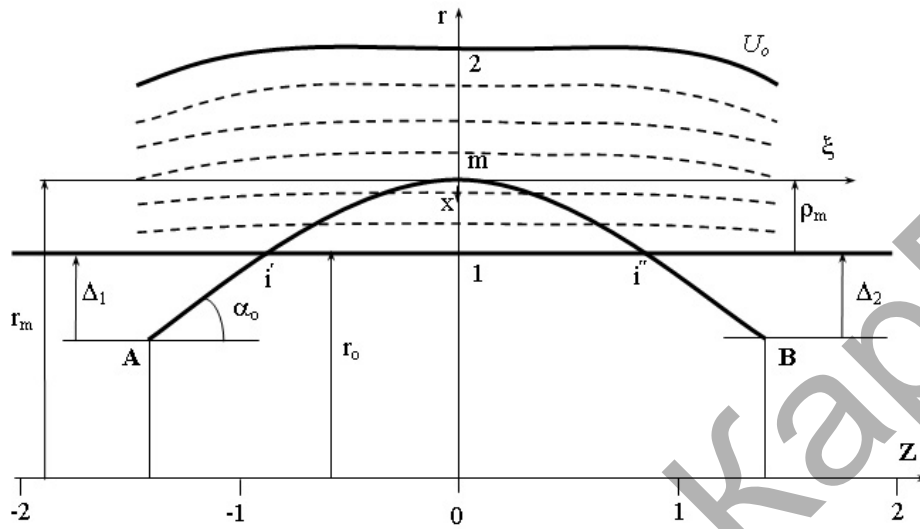
$$U(\rho, z) = \mu \ln(1+\rho) + \gamma U_d(\rho, z), \quad (1)$$

где $\mu \ln(1+\rho)$ — цилиндрическое поле; μ — коэффициент, задающий весовой вклад цилиндрического поля; $U_d(\rho, z) = \rho z^4 - 2\rho^3 z^2 + \frac{1}{2}\rho^2$ — круговой декаполь; γ — весовой вклад кругового декаполя.

Схема зеркального энергоанализатора с декапольно-цилиндрическим полем (1), в котором доли цилиндрического поля и декаполя равны соответственно $\mu = 1$ и $\gamma = -\frac{1}{100}$, представлена на рисунке.

Вследствие малой составляющей кругового поля распределение эквипотенциалей декапольно-цилиндрического поля (ДЦП), имеющих небольшое отклонение от прямых линий, близко к распределению эквипотенциалей цилиндрического поля. Поле формируется в пространстве между двумя осесимметричными коаксиальными электродами, внутренний из которых имеет цилиндрическую

форму (радиуса r_o) и находится под потенциалом земли, на внешний электрод, имеющий профиль криволинейной формы, подается отклоняющий потенциал U_o . При определенном соотношении геометрических и энергетических параметров анализатора пучок заряженных частиц, выходящий из кольцевого источника A , отражается полем зеркала и фокусируется в кольцевое изображение B .



A — источник; i' — входная кольцевая щель; i'' — выходная кольцевая щель; B — приемник

Рисунок. Схема энергоанализатора на основе ДЦП

Для дальнейших расчетов переведем точку начала отсчета траектории в ее вершину m , и в эту же точку поместим начало координат x, ξ . Здесь и в дальнейшем все линейные размеры будут выдержаны в долях радиуса внутреннего цилиндрического электрода r_o .

$$\frac{r}{r_o} = \frac{r_o + r_o \rho}{r_o} = 1 + \rho, \quad x = \rho_m - \rho, \quad \xi = \frac{z}{r_o}. \quad (2)$$

Распределение ДЦП (1) в координатах x, ξ имеет следующий вид:

$$U(x, \xi) = U_o g(x, \xi), \quad (3)$$

где

$$g(x, \xi) = \ln(R-x) - \frac{1}{100} \left[(R-x-1) \xi^4 - 2(R-x-1)^3 \xi^2 + \frac{1}{5}(R-x-1)^5 \right], \quad R = 1 + \rho_m. \quad (4)$$

Движение заряженной частицы в поле (3) описывается системой уравнений:

$$m \ddot{x} = q U_o \varepsilon_1, \quad \varepsilon_1 = -\frac{\partial g(x, \xi)}{\partial x}, \quad (5a)$$

$$m \ddot{\xi} = q U_o \varepsilon_2, \quad \varepsilon_2 = -\frac{\partial g(x, \xi)}{\partial \xi}. \quad (5b)$$

Интегрируя сумму уравнений (5a) и (5b) вдоль траектории частицы в пределах от вершины m до произвольной точки, придем к закону сохранения энергии для частицы, движущейся в электростатическом поле, связывающему изменение кинетической энергии с разностью потенциалов:

$$\frac{m v_m^2}{2} - \frac{m}{2} \left(\dot{x}^2 + \dot{\xi}^2 \right) = -q \left(U_m - U(x, \xi) \right) = -q U_o (g_o - g_x). \quad (6)$$

Здесь $U_m = U_o g(x_m, \xi_m) = U_o g_o$ — потенциал поля в точке m , где $x_m = \xi_m = 0$, $g_x = g(x, \xi(x))$.

Величину $\frac{m\dot{\xi}^2}{2}$ определим из уравнения (5b), интегрируя его в пределах от t до произвольной точки траектории, учитывая при этом, что $v_m^2 = \dot{\xi}_m^2 + \dot{x}_m^2 = \dot{\xi}_m^2$, так как в вершине траектории $\dot{x}_m = 0$, а также, используя соотношение $\dot{\xi} = \frac{d\xi}{dt} = \frac{d\xi}{dx} \frac{dx}{dt} = \xi' \dot{x}$, получим:

$$\frac{mv_m^2}{2} - \frac{m\dot{\xi}^2}{2} = q U_o \int_0^{x_m} \frac{\partial g(x, \xi)}{\partial \xi} \frac{d\xi}{dx} dx = q U_o \int_0^x \frac{\partial g(x, \xi)}{\partial \xi} \xi' d\xi. \quad (7)$$

Согласно рисунку, при $x = \rho_m$, $\frac{m\dot{\xi}^2}{2} = W \cos^2 \alpha_o$, поэтому уравнение (7) можно переписать относительно $\frac{mv_m^2}{2}$ следующим образом:

$$\frac{mv_m^2}{2} = W \cos^2 \alpha + q U_o f_m, \quad f_m = \int_0^{\rho_m} \frac{\partial g(x, \xi)}{\partial \xi} \xi' dx. \quad (8)$$

Подставив (7), (8) в (6), получим интегро-дифференциальное уравнение движения заряженной частицы в ДЦП (3):

$$(\xi')^2 [g_o - g_x + f_x] = P^2 \text{Ctg}^2 \alpha_o + f_m - f_x, \quad (9)$$

где

$$g_o = g(x_m, \xi_m) = \text{Ln}(R) - \frac{1}{500} (R-1)^5, \quad (10)$$

$$f_x = \int_0^x \frac{\partial g(x, \xi)}{\partial \xi} \xi' d\xi = \gamma \left\{ \begin{aligned} & (R-x-1)\xi^4 - 2(R-x-1)^3 \xi^2 + \\ & \int_0^x \xi^4 dx - 6 \int_0^x (R-x-1)^2 \xi^2 dx \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

и $P_o^2 = \frac{W}{qU} \sin^2 \alpha_o$ — параметр отражения, связывающий геометрические и энергетические параметры декапально-цилиндрического зеркала.

Решение интегро-дифференциального уравнения (9) ищем в виде разложения в степенной ряд с неопределенными коэффициентами, которые рассчитываются из уравнения (9) при подстановке в него степенного ряда. Интегро-дифференциальное уравнение (9) имеет в точке $x = 0$ особую точку, так как множитель $(\xi')^2$ в этом случае обращается в нуль, поэтому для интегрирования уравнения используется метод разложения решения уравнения ξ в дробно-степенной ряд [5]

$$\xi = \sqrt{x} (C_o + C_1 x + C_2 x^2 + C_3 x^3 + C_4 x^4 + C_5 x^5 + C_6 x^6 + \dots). \quad (12)$$

Ниже представлены коэффициенты C_n , рассчитанные из условия удовлетворения уравнения (9) при подстановке в него дробно-степенного ряда (11):

$$C_o^2 = 4 \frac{P^2 \text{Ctg}(\alpha_o)^2 + f_m}{\omega}, \quad \omega = \frac{1}{R} - \frac{1}{100} R^4 + \frac{1}{25} R^3 - \frac{3}{50} R^2 + \frac{1}{25} R - \frac{1}{100}, \quad (13)$$

$$\frac{C_1}{C_o} = \frac{1}{\omega} \left[\left(\frac{2R - R^2 - 1}{200} \right) C_o^2 - \frac{1}{12R^2} - \frac{1}{60} R^3 + \frac{1}{20} R^2 - \frac{1}{20} R + \frac{1}{60} \right], \quad (14)$$

$$\frac{C_2}{C_o} = -\frac{9}{10} \left(\frac{C_1}{C_o} \right)^2 + \frac{1}{\omega} \left\{ \begin{aligned} & \left[\frac{11}{500} (2R - R^2 - 1) C_o^2 - \frac{3}{10R^2} - \frac{7}{250} R^3 + \frac{21}{250} R^2 - \frac{21}{250} R + \frac{7}{250} \right] \frac{C_1}{C_o} \\ & \left[\frac{1}{3000} C_o^4 + \frac{1}{125} (R-1) C_o^2 - \frac{1}{30R^3} + \frac{7}{500} R^2 - \frac{7}{250} R + \frac{7}{500} \right] \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

$$\frac{C_3}{C_o} = -\frac{15}{7} \frac{C_1 C_2}{C_o^2} + \frac{1}{\omega} \left[\begin{aligned} & \left[\frac{33}{1400} (2R - R^2 - 1) C_o^2 - \frac{5}{14R^2} - \frac{9}{350} R^3 + \frac{27}{350} R^2 - \frac{27}{350} R + \frac{9}{350} \right] \frac{C_2}{C_o} + \\ & \left[\frac{3}{80} (2R - R^2 - 1) C_o^2 - \frac{9}{28R^2} - \frac{13}{700} R^3 + \frac{39}{700} R^2 - \frac{39}{700} R + \frac{13}{700} \right] \left(\frac{C_1}{C_o} \right)^2 + \\ & + \left[\frac{3}{1400} C_o^4 + \frac{23}{700} (R-1) C_o^2 - \frac{11}{350} (2R - R^2 - 1) C_o^2 - \frac{1}{7R^3} \right] \frac{C_1}{C_o} - \\ & - \frac{1}{336} C_o^2 - \frac{1}{56 R^4} - \frac{9}{1400} R + \frac{9}{1400} \end{aligned} \right], \quad (16)$$

и т.д., включительно до 6 порядка по величине x .

Радиальную составляющую точки поворота траектории $R = 1 + \rho_m$, необходимую для расчета ξ , можно определить, используя интегро-дифференциальное уравнение траектории (9) для точки $x = \rho_m$.

В этом случае $(\xi')^2 = C \operatorname{tg}^2 \alpha_o$, $g_{x=\rho_m} = 0$ и

$$g_o + f_m = P^2. \quad (17)$$

Подставив g_o из уравнения (10) в (16), приходим к выражению

$$\ln R = P^2 - f_m + \frac{\gamma}{5} (R-1)^5, \quad (18)$$

из которого величина R определяется методом последовательных приближений. В качестве нулевого приближения используются параметры цилиндрического зеркального анализатора (ЦЗА):

$$R_o = \exp(P^2) = 1 + P^2 + \frac{1}{2} P^4 + \frac{1}{6} P^6 + \frac{1}{24} P^8 + \dots \text{ и } f_{m_o} = 0. \quad [6].$$

Схема расчета будет следующей: с помощью нулевого приближения определяем коэффициенты C_n , затем методом последовательных приближений из уравнения (17) находим в первом приближении радиальную координату точки поворота траектории R_1 , определяем коэффициенты C_n и f_m в первом приближении. С помощью данных первого приближения определяем во втором приближении величину R_2 и т.д.

Ниже приведены конечные результаты расчета траектории, полученные в виде разложения в ряд по величине параметра отражения зеркала P с точностью до 14 порядка включительно. Все расчеты выполнены с помощью программного средства Mathcad Professional:

$$\rho_m = P^2 + \frac{1}{2} P^4 + \frac{1}{6} P^6 + \frac{1}{24} P^8 + \left[\frac{4}{75} C \operatorname{tg}^4(\alpha_o) - \frac{1}{50} C \operatorname{tg}^2(\alpha_o) + \frac{31}{3000} \right] P^{10} + \\ + \left[\frac{17}{75} C \operatorname{tg}^4(\alpha_o) - \frac{59}{750} C \operatorname{tg}^2(\alpha_o) + \frac{151}{18000} \right] P^{12} + \dots \quad (19)$$

ξ_m — проекция траектории на ось симметрии зеркала от точки входа траектории в поле до точки поворота траектории m определяется из уравнений (12)–(16) при условии $x = \rho_m$.

$$\xi_m = \xi(x)|_{x=\rho_m} = \sqrt{\rho_m} C_o S, \quad (20)$$

где

$$C_o = C \operatorname{tg} \alpha_o \sqrt{4P^2 + 4P^4 + 2P^6 + \frac{2}{3} P^8 + \left(-\frac{16}{75} C \operatorname{tg}^2 \alpha_o + \frac{43}{150} \right) P^{10} + \left(\frac{16}{75} C \operatorname{tg}^4 \alpha_o - \frac{74}{75} C \operatorname{tg}^2 \alpha_o + \frac{129}{250} \right) P^{12} + \dots} \quad (21)$$

$$\begin{aligned}
 S &= \left(1 + \frac{C_1}{C_o} \rho_m + \frac{C_2}{C_o} \rho_m^2 + \frac{C_3}{C_o} \rho_m^3 + \frac{C_4}{C_o} \rho_m^4 + \frac{C_5}{C_o} \rho_m^5 + \frac{C_6}{C_o} \rho_m^6 \right) = \\
 &= 1 - 0,08333 P^2 + 0,01308 P^4 - 0,05839 P^6 + \\
 &+ \left(0,00533 C \operatorname{tg}^4 \alpha_o + 9,52 \cdot 10^{-5} C \operatorname{tg}^2 \alpha_o - 0,11151 \right) P^8 + \\
 &+ \left(0,01308 C \operatorname{tg}^4 \alpha_o + 0,00231 C \operatorname{tg}^2 \alpha_o - 0,15763 \right) P^{10} + \\
 &+ \left(0,01686 C \operatorname{tg}^4 \alpha_o + 0,00609 C \operatorname{tg}^2 \alpha_o - 0,16554 \right) P^{12} + \dots
 \end{aligned} \tag{22}$$

Полная проекция траектории на ось симметрии Z от источника A до его изображения B есть следующая сумма:

$$l = \frac{L}{r_o} = 2(\Delta C \operatorname{tg} \alpha_o + \xi_m), \Delta = \Delta_1 = \Delta_2, \tag{23}$$

где Δ_1, Δ_2 — удаленность источника и его изображения от поверхности внутреннего цилиндрического электрода.

Электронно-оптические характеристики декапольно-цилиндрического анализатора

Коэффициенты пространственной фокусировки 1, 2 и 3-го порядков $A_I = \frac{dl}{d\alpha}$, $A_{II} = \frac{1}{2!} \frac{d^2l}{d\alpha^2}$, $A_{III} = \frac{1}{3!} \frac{d^3l}{d\alpha^3}$ были рассчитаны дифференцированием уравнений (20)–(23) по величине угловой расходимости частиц в аксиальной плоскости $\Delta \alpha$. Определены условия угловой фокусировки второго порядка $\frac{dl}{d\alpha} = \frac{d^2l}{d\alpha^2} = 0$, при выполнении которых aberrации изображения пропорциональны кубу угловой расходимости пучка заряженных частиц $\Delta \alpha_o$.

Основные электронно-оптические параметры анализатора, рассчитанные в зависимости от параметра отражения P и угла входа траектории α_o , удовлетворяющие условиям угловой фокусировки второго порядка, приведены в таблице: α_o — угол входа траектории; $\Delta = \Delta_1 = \Delta_2$ — величина удаления источника и его изображения от поверхности внутреннего цилиндрического электрода; $R = 1 + \rho_m$ — координата точки поворота траектории; ξ_m — половинная проекция траектории на ось симметрии в поле декапольно-цилиндрического зеркала; l — фокусное расстояние, равное полной проекции траектории на ось симметрии зеркала от источника до его изображения, удовлетворяющее условиям фокусировки; $D = \frac{\partial l}{\partial \varepsilon}$ — относительная линейная дисперсия по энергии, определяемая

дифференцированием уравнения (20) по величине энергетического разброса в пучке частиц $\varepsilon = \frac{\Delta \omega}{\omega}$;

$A_{III} = \frac{1}{3!} \frac{d^3l}{d\alpha^3}$ — коэффициент кубической угловой aberrации.

Из данных таблицы следует, что условие угловой фокусировки второго порядка в зеркальном энергоанализаторе на основе ДЦП реализуется в большом интервале значений параметров P и α_o для схем фокусировки заряженных частиц из кольцевого источника в кольцевой детектор, так как $\Delta_1 + \Delta_2 < 1$. Единственная схема декапольно-цилиндрического анализатора, фокусирующего по схеме «ось-ось» с параметрами $P = 0,7074$, $\alpha_o = 35,7820$, $\Delta_1 = \Delta_2 = 1$ не представляет практического интереса, так как коэффициент кубической угловой aberrации, пропорциональный aberrации изображения прибора, велик $A_{III} \sim -48,150$.

Электронно-оптические характеристики ДЦП

№	α_0 (град.)	P	$R = 1 + \rho_m$	ξ_m	Δ	l	D	A_{III}
1	0,1000	30,3270	1,0101	0,0344	0,0101	0,1033	0,0693	-0,312
2	0,1500	30,7247	1,0228	0,0769	0,0228	0,2306	0,1560	-0,681
3	0,2000	31,2624	1,0408	0,1353	0,0411	0,4061	0,2779	-1,166
4	0,2500	31,9220	1,0645	0,2092	0,0653	0,6281	0,4359	-1,749
5	0,3000	32,6817	1,0942	0,2980	0,0960	0,8954	0,6320	-2,417
6	0,3500	33,5162	1,1303	0,4016	0,1342	1,2082	0,8692	-3,177
7	0,4000	34,3950	1,1736	0,5203	0,1809	1,5692	1,1527	-4,052
8	0,4500	35,2801	1,2246	0,6557	0,2381	1,9844	1,4903	-5,106
9	0,5000	36,1199	1,2844	0,8103	0,3085	2,4661	1,8939	-6,469
10	0,5500	36,8346	1,3543	0,9896	0,3968	3,0386	2,3834	-8,438
11	0,5954	37,2600	1,4281	1,1826	0,5000	3,8798	2,9332	-11,387
12	0,6000	37,2845	1,4362	1,2043	0,5122	3,7541	2,9964	-11,798
13	0,6100	37,3224	1,4543	1,2533	0,5400	3,9231	3,1399	-12,796
14	0,6205	37,3366	1,4740	1,3076	0,5714	4,1132	3,3005	-14,035
15	0,6300	37,3234	1,4924	1,3595	0,6021	4,2985	3,4558	-15,369
16	0,6500	37,1981	1,5336	1,4798	0,6755	4,7396	3,8213	-19,121
17	0,7000	36,0717	1,6557	1,8809	0,9438	6,3530	5,1304	-41,457
18	0,7074	35,7820	1,6774	1,9588	1,0000	6,6923	5,4070	-48,150
19	0,7500	33,5829	1,8384	2,5567	1,4789	9,5684	7,8919	-136,277

Наиболее оптимальные по электронно-оптическим характеристикам зеркальные анализаторы с ДЦП находятся в области значений $0.40 < P < 0.60$, в которых абберационные коэффициенты третьего порядка невелики, их значения в 2–3 раза меньше кубической угловой абберации широко известного цилиндрического зеркала [6]. Схема зеркального декапольно-цилиндрического анализатора, представленная на рисунке, соответствует следующим электронно-оптическим характеристикам: параметр отражения, связывающий геометрические и энергетические параметры декапольно-цилиндрического зеркала, $P = 0.55$, угол входа в поле зеркала осевой траектории равен $\alpha_0 = 36.8346$, начальный угловой разброс для боковых ветвей составляет 12° , ($\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0 = \pm 6$). Ширина линии изображения вблизи гауссова фокуса, вызванная начальной угловой расходимостью пучка, была определена с помощью численного метода расчета траекторий и для угла 12° составила величину $\Delta l = l(\alpha) - l(\alpha_0) = 0,0076$. Ширина линии изображения пучка частиц с таким же угловым разбросом в цилиндрическом зеркальном анализаторе примерно в 5 раз больше: $\Delta l = 0,036$ [6].

Величина удельной дисперсии по энергии, характеризующая разрешающую способность ДЦП, рассчитанная для частиц с начальным угловым разбросом в 12° , равна $\delta = \frac{D}{\Delta l} = 313,6$, что в два раза превышает величину удельной дисперсии цилиндрического зеркального анализатора $\Delta L (\pm 6) = 0,036$,

$$\delta = \frac{D}{\Delta l(\pm 6)} = \frac{5,6}{0,036} = 155,6 \quad [6].$$

Таким образом, предлагаемый зеркальный анализатор с электростатическим декапольно-цилиндрическим полем может работать в режиме высокой разрешающей способности и максимальной светосилы, обеспечиваемой свойством пространственной фокусировки осесимметричного зеркала и возможностью острой фокусировки широких пучков в аксиальной плоскости.

4. Выводы

Определены уравнения для траекторий движения заряженной частицы в электростатическом декапольно-цилиндрическом поле. Рассчитаны электронно-оптические параметры зеркальных энергоанализаторов на основе ДЦП, удовлетворяющих режиму угловой фокусировки второго порядка для траекторий частиц с угловой расходимостью пучка в аксиальной плоскости. Установлено, что на основе декапольно-цилиндрических полей могут быть построены светосильные энергоанализаторы

с угловой фокусировкой 2 порядка, если источник и его изображение находятся в области внутреннего цилиндрического электрода. Найдена наиболее оптимальная по светосиле и разрешающей способности схема зеркального анализатора с декапольно-цилиндрическим полем.

References

- 1 *Zashkvara V.V., Tyndyk N.N.* Axial-symmetrical multipoles, their application // *Zh. Tech. Phys.* — 1991. — Vol. 61. — № 4. — P. 148–157.
- 2 *Zashkvara V.V., Tyndyk N.N.* Potential fields based on circular multipole series // *Nuclear Instrum. and Meth.* — 1996. — A370 — P. 452–460.
- 3 *Ashimbaeva B.U., Chokin K.Sh., Saulebekov A.O.* Focusing Properties of a mirror analyzer with hexapole cylindrical field // *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena.* — 2005. — 143. — C. 29–32.
- 4 *Ashimbaeva B.U., Chokin K.Sh., Saulebekov A.O., Kambarova Zh.T.* Modeling of electron-optical scheme of the analyzer with hexapole cylindrical field // *Prikladnaya fizika.* — 2012. — № 2. — P. 45–48.
- 5 *Smirnov V.I.* Course of higher mathematics. — Moscow, 1974. — T. 2. — P. 129.
- 6 *Zashkvara V.V., Korsunskii M.I., Kosmachev O.S.* Focusing properties of electrostatic mirror with cylindrical field // *Zh.Tech.Phys.* — 1966. — Vol. 36. — № 1. — P. 132–138.

Б.У.Әшімбаева, К.Ш.Чокин, А.Т.Исова, А.О.Сәулебеков, Ж.Т.Қамбарова

Декапольді-циліндрлік айналық энергоанализатор

Электростатикалық айналық декапольді-циліндрлік анализатордың электронды-оптикалық сұлбасы ұсынылған. Аксиал жазықтағы шоқтың бұрыштық таралуымен зарядталған бөлшектердің траекториялары көрсетілген. Екінші ретті бұрыштық тоғыстауға ие болатын ұсынылған анализатордың электронды-оптикалық сипаттамалары есептелген. Анализатордың оңтайлы сұлбасы анықталған.

B.U.Ashimbaeva, K.Sh.Isova, A.O.Saulebekov, Zh.T.Kambarova

Decapole-cylindrical mirror energy analyzer

The electron-optical scheme of the electrostatic mirror decapole-cylindrical analyzer is proposed. The trajectories of charged particles with a beam's angular divergence of the in the axial plane are described. The electronic-optical characteristics of the proposed analyzer with an angular second-order focusing are calculated. The optimal scheme of analyzer is determined.