

ӘОЖ 53.083.5

ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕРДІҢ АҒЫНЫН ТАЛДАУ ҮШІН ЭНЕРГИЯ ТАЛДАҒЫШТАРДЫ ҚҰРАСТЫРУ

*Иманмұса Нұрай Сәкенқызы,
Аманкелді Аяулым Саятқызы*

студенттер, 6B05304 «Физика» білім беру бағдарламасы, физика –
техникалық факультет, академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды
университеті, Қарағанды, Қазақстан

Ғылыми жетекші: PhD докторы, қауымдастырылған профессор
Қамбарова Ж.Т.

Берілген мақалада зарядталған бөлшектер ағынын талдауға арналған энергия талдағыштардың құрылымы мен жұмыс принциптері қарастырылған. Электрстатикалық өрістер, оның ішінде мультипольдік өрістердің ерекшеліктері сипатталды. Зерттеу нәтижелері қатты дене беттерін электрондық спектроскопия әдістерімен талдауда қолданылуы мүмкін.

Кілт сөздері: энергия талдағыштар, мультипольдік өріс, зарядталған бөлшек, спектроскопия, электрстатикалық өріс.

Kіріспе

Қазіргі заманда зарядталған бөлшектердің ағынын зерттеу ғарыштық плазма, электрлік қозғалатын жүйелер және бөлшектер физикасы салаларында үлкен маңызға ие. Бұл бағыттағы ғылыми жұмыстар зарядталған бөлшектердің энергиясын, жылдамдығын, кеңістіктік таралуын және массалық құрамын анықтауға бағытталған. Мұндай зерттеулер үшін жоғары дәлдіктегі құралдар қажет, олардың ішінде энергия талдағыштар ерекше орын алады.

Энергия талдағыштар – бұл белгілі бір энергия/заряд (E/q) қатынасымен бөлшектерді тандап, олардың энергиялық спектрін тіркеуге мүмкіндік беретін құрылғылар. Олардың көмегімен плазмалық құрылымдарды сипаттауға, иондық ағындарды бақылауға және ғарыштық аппараттардың жұмысын оңтайландыруға болады.

Энергия талдағыштар алғаш рет XX ғасырдың ортасында плазмалық зерттеулерде қолданылған. Бүгінгі таңда ең кең таралған түрлері – электрстатикалық секторлық талдағыштар (ESA – Electrostatic Analyzer) және айна типті талдағыштар.

Соңғы он жылда қатты дененің бетін зерттейтін электрондық спектроскопияның әдістері өндірістегі технологиялық процестердің бірқатарын бақылау мен физикалық зерттеулерде жақсы қолданыс тапты. Бұл әдістердің негізі – зарядталған бөлшектер шоғын энергиясы бойынша кеңістіктік бөлетін және белгіленген ағындар мөлшерін қабылдағыш құрылғыға тоғыстаушы спектрометрлер арқылы зарядталған бөлшектер ағынын талдау болып табылады. Спектрометрдің негізгі бөлігі энергоанализатор болып табылады. Электрондық оптикадағы тоғыстаушы элементтердің негізгі бөлігі аксиальды-симметриялы электростатикалық және магниттік өрістерде орналасады. Электрондық спектроскопия әдістерінде (Оже-спектроскопия, фотоэлектрондық спектроскопия, энергия жоғалуын сипаттайтын спектроскопия және т.б.) қолданылатын аспаптарды қолдану – аналитикалық аспаптар жасау айналы осьтік симметриялы оптикаға бағытталуын көрсетті. Бұл негізгі екі себептерге: энергия бойынша ажыратудың жоғары көрсеткіштерімен үйлесімді жоғары жарық күшіне және сезгіштігіне байланысты алынған. Айна типті электростатикалық энергия анализаторларының – цилиндрлік және сфералық түрлері өте кең тараған [1-3].

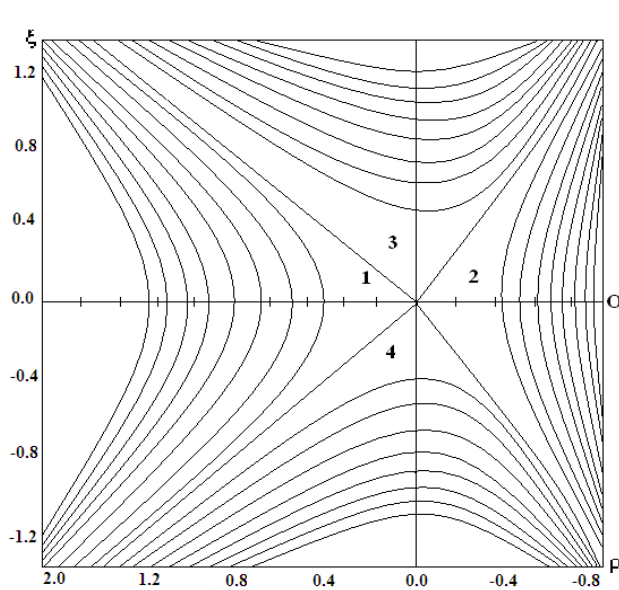
Электростатикалық өрістерді сипаттау үшін мультипольдерді қолдану

Электростатикалық осьтік симметриялы айнадағы бөлшектің базалық траекториясының өріс аймағында төбесі болады және ол жалпы жағдайда элементар функциямен сипатталмайды (сурет 1). Мұндай жазық траектория [4, 5] - жұмыстарда “кері қайтатын” деп аталады. Зарядталған бөлшектердің “кері қайтатын” траекториясы төбелеріне қатысты симметриялы екі тармақтан тұрады. Кері қайтатын траекторияны аксиальды-симметриялы электростатикалық өрістерде дәрежелік қатарлар кесінділерінің үйлесімді алынған суперпозициялары көмегімен жуықтап-талдауға болады.

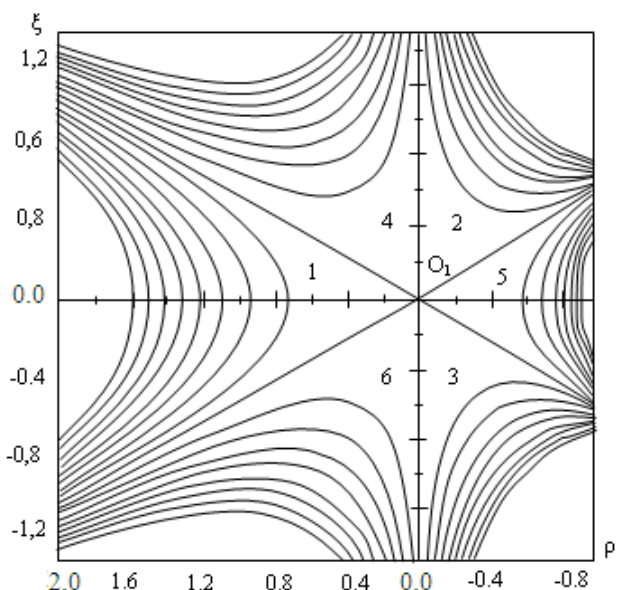
Корпускулалы-оптикалық жүйелерді есептеу теориясында электростатикалық өрістерді мультипольдік жуықтау ерекше маңызды. Мультипольдік өрістер симметрияның немесе антисимметрияның саны N болатын бірдей орналасқан жазықтарымен сипатталады. Олардың атауының себебі бар, ондай өрістерді электродтар мен полюстер жиынтығымен құрастыруға болады. Әдетте олар электрондық және иондық оптикада тоғыстаушы, ауытқушы және түзеткіш элементтер ретінде қолданылады. Симметрияның N жазықтықтан тұратын мультипольдік өріс үшін цилиндрлік өрісте потенциалды келесідей жазуға болады:

$$u(r, \alpha, z) = \sum_{n=0}^{\infty} A_{n,N}(r, z) r^{nN} \cos nN\alpha \quad (1)$$

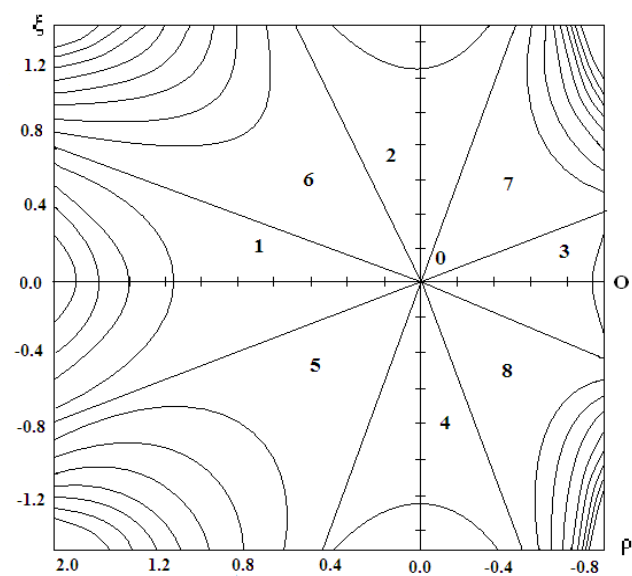
$n=0$ сәйкес келетін мүше өрістің аксиальды-симметриялық компонентасын сипаттайды. Басқа мүшелер үшін потенциалдар келесі түрде жазылады



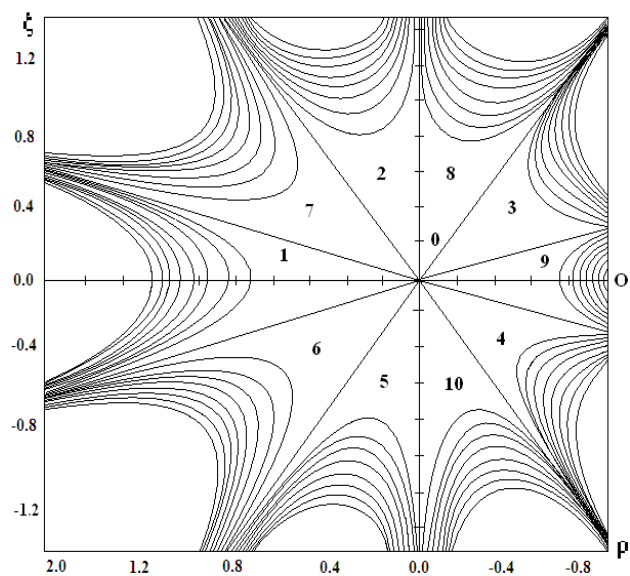
а) Цилиндрлік квадруполь



б) Цилиндрлік гексаполь



в) Цилиндрлік октуполь



г) Цилиндрлік декаполь

1-сурет. Симметрия жазықтығына ие болатын цилиндрлік мультипольдің эквипотенциалдар жиыны

$$u(r, \alpha, z) \Big|_{mN=m=const} = A_m(r, z) r^m \cos m\alpha \quad (2)$$

$m=1$ кезінде бұл теңдеу $u(x,y)=A_1x$ түрге ие болады, шексіз жазық конденсатор (диполь) потенциалының таралуын сипаттайды.

$m=2$ үшін бұл теңдеу $u(x,y)=A_2(x^2-y^2)$ түрге ие және идеал квадрупольмен индукцияланған потенциалдың таралуын сипаттайды, квадруполь дегеніміз оң және теріс потенциалдары кезектесетін төрт бірдей шексіз гиперболалық беттер.

Аналогия түрінде $m=3$ - гексапольге, $m=4$ - октупольге, $m=5$ – декапольге сәйкес келеді.

Мультипольдік-цилиндрлік өрістер суперпозицияларының әр түрлі жағдайларын қарастыруы электростатикалық энергия талдағыштардың кез келген сұлбасының маңыздылығын болжауға мүмкіндік береді. Себебі электростатикалық энергоанализатор құралатын қисықсызықты ауытқушы электродтың пішінін біз алған электростатикалық эквипотенциалдарының біреуінен таңдалуы мүмкін.

Берілген облыстағы одан арғы зерттеулер электрондық энергия талдағыштардың жаңа түрлердің болжауда және қазіргі энергия талдағыштардың етілдіруде маңызды. Нәтижелердің практикалық қолдануының аймағы: электронды спектроскопия әдістерімен қатты дене бетін зерттеу (оже-электрондық спектроскопия, ренгендік - электрондық спектроскопия және т.б.).

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Зигбан К., Нордлинг Т., Фальман А., Нордберг Р. Электронная спектроскопия. – М.: Мир, 1971. - 493с.
2. Leckey R.C.G. Recent developments in electron energy analyzers // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena.- 1987.- V.42.- P.183 – 214.
3. Еловигов С.С. Оже-электронная спектроскопия // Соросовский Образовательный Журнал. – 2001. – Т.7, № 2. – С.82 – 88.
4. Б.У.Ашимбаева, К.Ш.Чокин, А.О.Саулебеков. Расчет и анализ электронно-оптических характеристик электростатического гексапольно-цилиндрического поля. Известия НАН РК, сер.физ.-мат.- 2003.- №6. – С.48-54.
5. В.В.Зашквара, Б.У.Ашимбаева, К.Ш.Чокин, В.Е.Масягин. Расчет траекторий заряженных частиц в электростатическом неоднородном поле // Известия НАН РК, сер.физ.-мат.-2000.- №2.-С.72-78.

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТОКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Иманмұса Нұрай Сәкенқызы, Аманкелді Аяулым Саятқызы

В данной статье рассмотрены конструкция и принцип действия энергоанализаторов, предназначенных для анализа потоков заряженных частиц. Описаны особенности электростатических и мультипольных полей. Результаты исследования могут быть использованы для спектроскопического анализа поверхности твёрдого тела.

Ключевые слова: энергоанализатор, мультипольное поле, заряженная частица, спектроскопия, электростатическое поле.

DEVELOPMENT OF ENERGY ANALYZERS FOR THE ANALYSIS OF CHARGED PARTICLE BEAMS

Imanmusa N.S., Amankeldi A.S.

This article discusses the design and operating principles of energy analyzers used for the analysis of charged particle flows. The characteristics of electrostatic and multipole fields are described. The research results can be applied in the spectroscopic analysis of solid surfaces.

Keywords: energy analyzer, multipole field, charged particle, spectroscopy, electrostatic field.

REFERENCES

1. Zigban K., Nordling T., Fahlman A., Nordberg R. *Electron Spectroscopy*. – Moscow: Mir Publishers, 1971. – 493 p.
2. Leckey R.C.G. Recent developments in electron energy analyzers // *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 1987, Vol. 42, pp. 183–214.
3. Yelovikov S.S. Auger Electron Spectroscopy // *Soros Educational Journal*, 2001, Vol. 7, No. 2, pp. 82–88.
4. Ashimbayeva B.U., Chokin K.Sh., Saulebekov A.O. Calculation and analysis of electron-optical characteristics of an electrostatic hexapole–cylindrical field // *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Physics and Mathematics Series*, 2003, No. 6, pp. 48–54.
5. Zashkvara V.V., Ashimbayeva B.U., Chokin K.Sh., Masyagin V.E. Calculation of charged particle trajectories in an inhomogeneous electrostatic field // *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Physics and Mathematics Series*, 2000, No. 2, pp. 72–78.