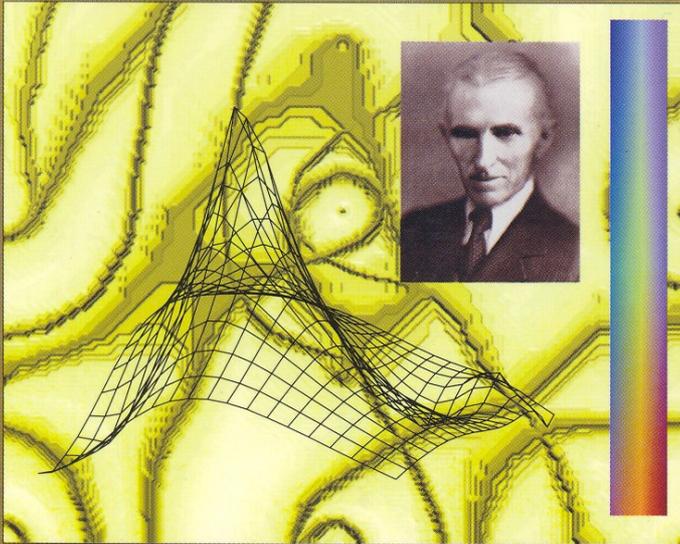


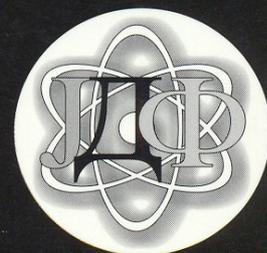
**10. КОНГРЕС
ФИЗИЧАРА
ЈУГОСЛАВИЈЕ**

**ВРЊАЧКА БАЊА
27.-29.3.2000**



**ЗБОРНИК
РАДОВА
КЊИГА I**

**ЈУГОСЛОВЕНСКО
ДРУШТВО
ФИЗИЧАРА**



ОПТИМИЗАЦИЈА ДВОСТРУКОГ ЦИЛИНДРИЧНОГ ОГЛЕДАЛСКОГ АНАЛИЗАТОРА

А. Милосављевић¹⁾, Б. Маринковић¹⁾, И. Чадеж²⁾ и М. Курепа^{1), 3)}

¹⁾ *Институт за физику, П.П. 68 11080 Земун*

²⁾ *Институт "Jožef Štefan", Ljubljana*

³⁾ *САНУ, 11000 Београд*

САДРЖАЈ-У овом раду су представљени резултати испитивања особина цилиндричног огледалског анализатора помоћу програма SIMION. Исправност симулације проверавали смо у односу на експерименталне резултате добијене на апаратури УГРА, која се налаза у Лабораторији за атомске сударе Института за физику у Земуну. Испитивали смо фокусирајуће особине постојећег анализатора и његово енергијско разлагање. Такође је разматрана могућност оптимизације оваквог уређаја.

1. УВОД

Цилиндрични огледалски анализатор (ЦОА) је један од уређаја за анализу наелектрисаних честица у млазу. Припада класи дефлексионих електростатичких анализатора и основу његове конструкције чине две саосне цилиндричне електроде. Између ових електрода успоставља се осно симетрично поље које има фокусирајуће особине. Важна особина ЦОА је та да његова цилиндрична симетрија омогућава фокусирање јона са дивергенцијом угла од 360 [°] у равни нормалној на осу цилиндра. Додуше, ова повољност је ограничена самом конструкцијом. Поред тога, ЦОА може бити конструисан да прихвати јоне са релативно великим распоном упадног угла при чему не долази до значајне деградације разлагања.

2. ТЕОРИЈА

На слици 1. дата је схема цилиндричног огледалског анализатора. Наелектрисана честица се креће слободно пре уласка у област између цилиндара и након изласка из овог простора. Између цилиндричних електрода разлике потенцијала ΔU на електрон (или јон) делује радијална електростатичка сила. Решавањем једначина кретања добија се израз за растојање L_0 између предмета и лика:

$$L_0 = 2R_1 \cot \theta_0 [1 + (2K_0 \sin^2 \theta_0)^{1/2} \exp(K_0 \sin^2 \theta_0) \int_0^x \exp(-\frac{u^2}{2}) du]$$

$$(K_0 = (E_0/eV) \ln(R_2/R_1), x = (2K_0 \sin^2 \theta_0)^{1/2})$$

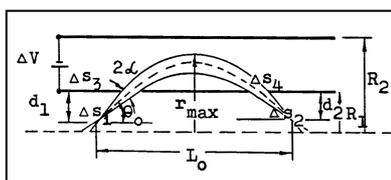
При извођењу је занемарен ефекат просторног наелектрисања и ефекат крајева.

Изједначавањем првог извода једначине са нулом налази се услов за фокусирање првог реда. Нумеричким решавањем показује се да овај услов може бити испуњен за било који угао $0 < \vartheta_0 < 90$ [°], при чему једној вредности K_0 одговарају два таква угла [1]. Једнозначност се постиже само за угао $\theta_0 = 43,2$ [°] када је испуњен услов за фокусирање другог реда што је еквивалентно услову да други извод растојања L по углу θ_0 буде нула. Овај резултат добијен је под претпоставком да се и предмет и лик налазе на оси цилиндра. У раду Рислиа (Risley) [2] показано је да фокусирање другог реда може бити постигнуто за велики број углова θ_0 којима одговара неко укупно нормално растојање предмета и лика од улазног и излазног отвора. За оптималне услове и за $\theta_0 < 15$ [°] енергијско разлагање анализатора је приближно [3]: $\Delta E/E = 0,92(\Delta s_1/L_0)$.

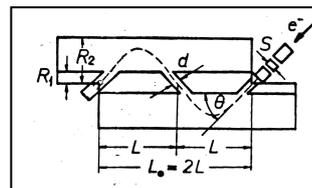
Спајањем два ЦОА на ред добија се двоструки цилиндрични огледалски анализатор (ДЦОА). Основна његова предност је та што у приличној мери елиминира дисторзију слике проузроковану ванаксијалним зрацима који бивају заустављени средњим отвором на унутрашњем цилиндру. Тиме се побољшава енергијско разлагање. Поред тога ДЦОА има исту линеарну дисперзију ($\Delta Z/Z$) као и ЦОА при дупло мањем пречнику спољашњег цилиндра. Мана ДЦОА је смањена пропусна моћ.

3. ПОСТОЈЕЋИ УРЕЂАЈ

У Лабораторији за атомске сударе Института за физику (ИФ) у Земуну, у склопу апаратуре УГРА, за енергијску анализу наелектрисаних честица користи се управо двоструки цилиндрични огледалски анализатор. Уређај је развио Чубрић и сарадници, а конструисан је у ИФ [3], [4]. На слици 2. приказана је схема попречног пресека овог анализатора.



Слика 1.



Слика 2.

Карактеристични параметри анализатора су: $\vartheta_0 = 45$ [°], $K_0 = 1,3230$, $R_1 = 6$ [mm], $R_2 = 16$ [mm], $\Delta\alpha = 10$ [°], $d = 2$ [mm], $L_0 = 74,28$ [mm]. Са овим вредностима теоријски се добије: $\Delta U = 0,74 \cdot E_0$; $\Delta E/E \cong 0,03$.

С обзиром да се ради о ДЦОА, оптимално решење је да први лик буде на оси цилиндра како би се на одговарајући начин пресликао на излазни отвор. На основу наведених теоријских прорачуна јасно је да са оваквим конструкцијским параметрима анализатор не може да постигне фокусирање другог реда. Међутим, фокусирање првог реда би требало да постоји. При томе, теоријски добијена крива фокусирања за упадни угао млаза од 45 [°] не одступа много од криве фокусирања за оптимални угао од 42,3 [°].

4. РАД СА ПРОГРАМОМ SIMION

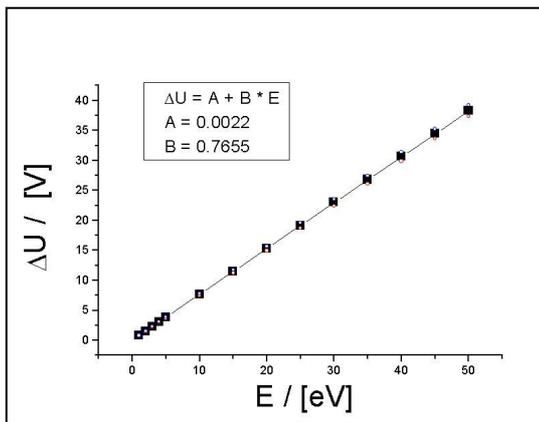
Прорачуни приказани у овом раду добијени су уз помоћ комерцијалног програма SIMION ver. 6.0 [5]. На почетку рада се уцртају тачке које припадају електродама, а затим програм изврши прорачун електричног поља у свим осталим тачкама. Број тачака одређује резолуцију простора и ограничен је меморијом рачунара и самим програмом. Прорачун поља врши се нумеричким решавањем Лапласове (Laplace) једначине методом релаксација.

Одређени прорачуни за цилиндрични огледалски анализатор по програму SIMION су већ рађени [1]. У нашем раду је по први пут коришћено моделовање у три димензије како би се добила што вернија копија постојећег анализатора и постигли реалнији услови кретања јона у њему. Модел који смо направили заснован је на анализатору ДЦОА који се користи на апаратури УГРА. Циљ рада је био пре свега испитивање особина постојећег селектора и могућност оптимизације таквог уређаја. Због ограничене резолуције кружни отвори у унутрашњем цилиндру реалног селектора замењени су отворима квадратног пресека. Резолуција у којој смо радили је 1 [grid] = 1 [mm]. Без обзира што је то прилично груба слика реалности, она омогућава добру квалитативну анализу. Најзад, исправност модела проверавали смо поређењем са раније добијеним експерименталним резултатима. За потребе овог рада направљено је и неколико програма у програмском језику SIMION.

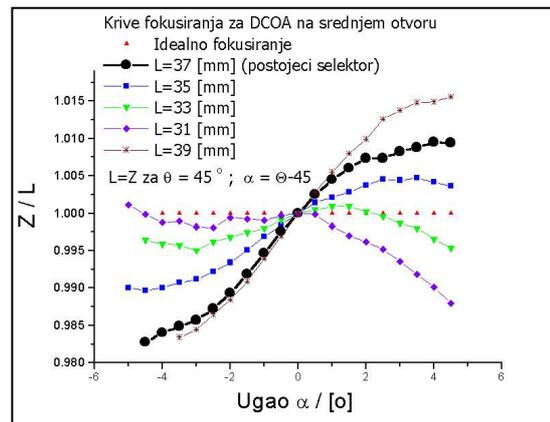
5. РЕЗУЛТАТИ

На слици 3. је приказана добијена зависност разлике напона на цилиндрима од енергије јона који пролазе кроз селектор. За дату енергију јона, који полази из фиксне тачке на оси цилиндра под углом од 45° , континуално смо мењали ΔU и испитивали да ли јон пролази кроз ДЦОА. На графику су приказани највећи и најмањи напон при коме је трансмисија могућа. Линеарни фит је урађен за њихову аритметичку средину. Добијена вредност за коефицијент правца $(\Delta U/E) = 0,7655$ веома се добро слаже са експериментално добијеном величином $0,76$ [3]. Теоријска вредност је $0,74$.

На слици 4. су дате криве фокусирања добијене симулирањем путања јона у анализатору. L је растојање дуж осе цилиндра од предмета (или извора јона) до тачке у којој јон први пут пресеца осу цилиндра за упадни угао од 45° . Z је то исто растојање за угао $\vartheta = (\alpha + 45)^\circ$.



Слика 3.



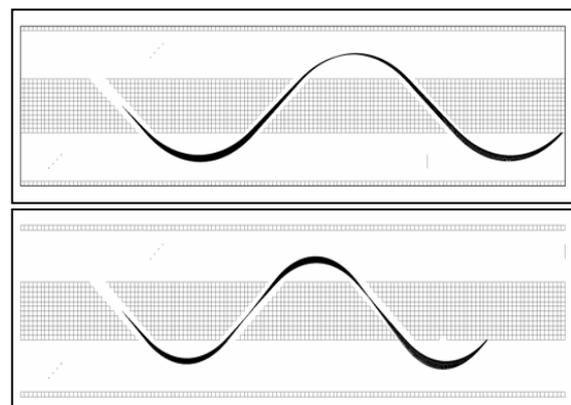
Слика 4.

За постојећу геометрију система теоријски би требало да постоји фокус у близини осе унутар првог отвора. Међутим, са слике 4. (крива којој одговара растојање $L_0 = 37$ [mm]) види се да се то не дешава и да крива фокусирања веома одступа од идеалног случаја.

Сличан резултат је добио Степановић [1]. Разлог оваквог драстичног одступања би могао бити занемаривање ефекта крајева у теоријским прорачунима који се јављају на отворима на унутрашњем цилиндру. Наиме, при прорачуну путање јона сматра се да се он потпуно слободно креће до уласка у електрично поље. У нашој симулацији се види да у близини отвора долази до промене конфигурације поља. Ово би могло да створи фокусирајуће ефекте који можда доводе до промене путање јона.

Одређено фокусирање млаза се ипак јавља и то у простору између цилиндричних електрода, што се може видети на слици 5. А. Ово наравно није оптимално решење јер такав лик не може да се пренесе на трећи (излазни) отвор где се налази детектор јона.

У оквиру постојеће конструкције, пратили смо место фокусирања у зависности од упадног угла млаза и промене места извора дуж правца упада јона. Угаона дивергенција млаза је при томе била мања од 10° .



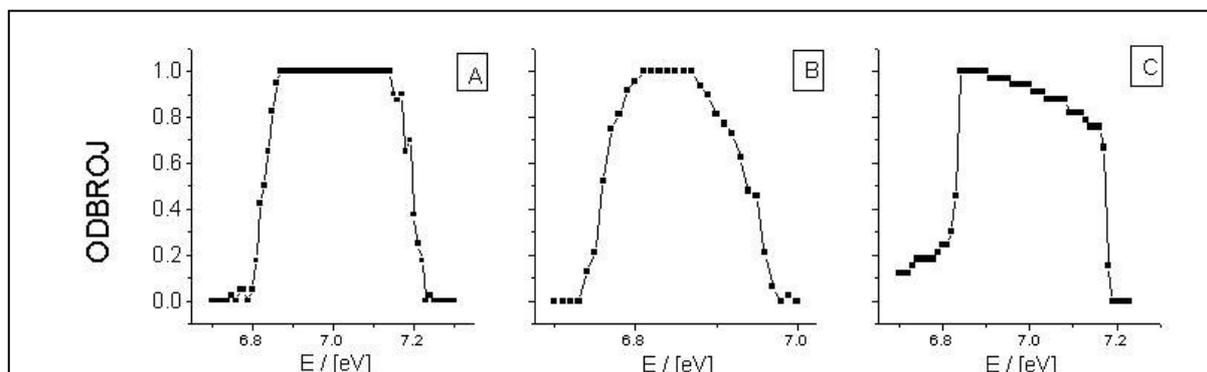
Слика 5. А (горе), Б (доле)

Испоставља се да се са повећањем угла фокус помера ка осци цилиндра. Добро фокусирање се постиже тек при угловима око 50° . Фокус се такође помера ка

идеалној тачки и са удаљавањем извора од осе дуж правца упада млаза (дуж осе улазног отвора). Овај параметар би у принципу могао да се мења подешавањем лика улазног сочива.

Испитивали смо и могућност оптимизације конструкције оваквог типа селектора. Испоставља се да смањење растојања између отвора, при непромењеним вредностима осталих параметара (ϑ_0 , R_1 , R_2 , d , Δs), даје боље фокусирање. При томе се, наравно, мења вредност калибрационе константе ($\Delta U/E$). На слици 4. дате су криве фокусирања селектора за разне вредности растојања између улазног и средњег отвора дуж осе система. Такође, на слици 5. Б приказана је симулација кретања млаза јона кроз скраћени селектор за случај $L = 31$ [mm]. Млаз се добро фокусира унутар првог отвора па је и други лик приближно на оси цилиндра. Сви до сада изложени прорачуни изведени су за константну енергију јона $E_0 = 7$ [eV].

На крају ће бити наведени резултати испитивања енергијског разлагања. Енергија јона мењана је у интервалу 0,5 [eV] око основне енергије од 7 [eV] и 5 [eV]. За сваку енергију праћен је одређен број јона и одређиван број оних који прођу кроз анализатор. У првом случају избачени јони крећу сви из исте тачке са различитим упадним угловима. У другом случају мењан је положај извора дуж осе цилиндра. У трећем случају мењан је положај извора дуж правца улазног отвора. На основу ове симулације може се разматрати утицај угаоне дивергенције млаза, односно коначне величине предмета на енергијско разлагање анализатора. На слици 6. приказани су добијени резултати за основну енергију од 7 [eV]. (А – мења се угао θ_0 , В – мења се место извора дуж Z осе, С – мења се место извора дуж правца улазног отвора). Добијено је: $(\Delta E/E_0) \cong 0,05$. Експериментална вредност је нешто мања од 0,04 [3].



Слика 6.

ЗАКЉУЧАК

На основу урађених симулација кретања јона у ДЦОА намеће се закључак да, највероватније због ефекта крајева, оптимална конструкција овог селектора одступа од досадашњих теоријских прорачуна. При конструкцији анализатора потребно је обратити пажњу на ову чињеницу уколико се захтева добро фокусирање и прецизно одређивање лика на излазу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Степановић, Семинарски рад, Београд, (1991), (непубликовано)
- [2] J. S. Risley, *Rev.Sci.Instr.* **43**, (1971) 95
- [3] Д.Ђ. Чубрић, Докторска дисертација, Физички Факултет, Београд, (1989)
- [4] D. Čubrić, S. Cvejanović and J. Jureta, SPIG 86, Šibenik, Contributed Papers ed. M. Kurepa, (1986) p.35
- [5] D. A. Dahl, SIMION 3D VERSION 6.0, User's Manual, (1995)