



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО – МАТЕМАТИЧКИ
ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



Експерименти из нуклеарне физике изводљиви у средњошколском кабинету физике - мастер рад -

Ментор: проф.др Миодраг Крмар

Кандидат: Никола Новаковић

Нови Сад, 2014.

Садржај

Увод.....	1
1.Значај школског експеримента из физике.....	3
2. Електростатички и електрични уређаји.....	7
3. Јонизујуће зрачење.....	10
4. Опис експеримената.....	14
Закључак.....	30
Референце.....	31
Биографија кандидата.....	32

Увод

Експеримент представља неодвојив део физике као науке и физике као наставног предмета. Велики изазов наставе физике се огледа у избегавању чисто теоријске наставе, која се превише ослања на математички апарат, јер таква настава не може довести до жељеног резултата – стицања оперативног знања и мотивисања ученика за активно учешће у процесу наставе физике. Правилним креирањем или одабиром, а затим извођењем експеримената у оквиру наставе физике може се постићи истинско разумевање појаве, процеса или особине физичког објекта који се демонстрира. Истинско разумевање јесте предуслов за стицање квалитетног и трајног знања, чији се степен усвајања реално процењује могућношћу примене од стране ученика. Извођењем огледа, настава физике постаје динамичнија и занимљивија, а ученици стичу вољу за учење овог наставног предмета и развијају интересовање за физику као науку.

Циљ овог рада јесте креирање и опис експеримената из нуклеарне физике који се могу реализовати у оквиру наставе физике у четвртом разреду гимназије, уз употребу апаратуре која постоји у сваком, елементарно опремљеном физичком кабинету. Нуклеарна физика је одабрана као наставна област због тога што се њена теорија показала апстрактном за ученике, што може довести до формалног, репродуктивног знања и бројних заблуда. Показано је да је без улагања у додатну, специјалну опрему, могуће ефикасно и очигледно демонстрирање карактеристика јонизујућег зрачења.

1. Значај школског експеримента из физике

У науци, експеримент је метода истраживања, пут налажења истине и начин проверавања исправности теорије. Школски експеримент из физике је извор знања, метода учења, полазиште за успостављање логичких и математичких веза и операција, веза теорије и праксе, и најзад, средство за остваривање очигледности у настави.

Значај школског експеримента из физике у образовању је велики са педагошког становишта, али и са становишта избора занимања, а тиме и са становишта развоја физике као науке и целокупне технике. Као што физика као наука не може бити успешна уколико се ослања искључиво на теоријска истраживања, а занемарује експериментална истраживања, тако и настава физике не може бити квалитетна уколико не обухвата експерименте.

Са аспекта дидактичког значаја, школски експеримент из физике обухвата: демонстрационе експерименте, лабораторијске вежбе (фронталне и групне), лабораторијске експерименталне задатке, домаће експерименталне задатке и израду наставних учила. Према карактеру, експерименти из физике који се могу реализовати у школским условима, деле се у три групе: илустративни, фундаментални и истраживачки.

Илустративним експериментима се постиже очигледност физичке појаве или закона, поткрепљује теорија, демонстрира процес, показује руковање апаратима, упознаје метода или изучавани објекат (Еластичност чврстих тела, Хуков закон, топљење, интерференција светлости, итд.)

Фундаментални експерименти су они који су науци омогућили:

- а) формирање научних теорија и настајања нових грана науке и технике
- б) проверу теоријских хипотеза које су имале принципијелан значај за науку

Неки од фундаменталних експеримената се данас могу демонстрирати у оквиру наставе, а условно се могу поделити у четири групе:

- 1) Експерименти који су довели до открића најважнијих закона у физици (осциловање математичког клатна – Галилеј; закони електродинимике – Кулон, Ом, Ленц, Џул, Ампер, Фарадеј; гасни закони – Бојл, Мариот, Шарл; закон фотоефекта – Ајнштајн;).
- 2) Експерименти путем којих су откривене нове физичке појаве које теорија пре тога није познавала (електрична струја – Галвани; магнетна својства електричне струје – Ерстед; електромагнетна индукција – Фарадеј; рендгенско зрачење – Рендген; природна радиоактивност – Бекерел; цепање језгра уранијума под дејством неутрона – Хан, Штросман).
- 3) Експерименти који леже у основи физичких теорија или потврда неких последица (електронска теорија супстанце – Томсон; мерење брзине молекула гаса и расподела по брзинама – Штерн).
- 4) Експерименти путем којих је први пут одређена вредност дате физичке константе (гравитациона константа – Кевендиш; брзина светлости у вакууму – Ремер, Физо; елементарно наелектрисање – Миликен).

Експерименти у којима је доминантан неки неубичајени проблем, чије решење није познато ученицима, а може се тражити у условима школске лабораторије, називају се истарживачким. У извођење таквих експеримената укључују се ученици који показују не само интересовање за експеримент из физике, него и поседују потребно знање и способности. То су углавном ученици који се истичу у учењу физике.

1.1. Демонстрациони експерименти

Показивање физичких појава, процеса или особина одговарајућих објеката назива се демонстрационим експериментом. Ову врсту школског експеримента претежно изводи наставник, али је веома корисно да у извођењу демонстрационог експеримента на одређен начин учествују и ученици.

У вези са извођењем демонстрационих експеримената наставник треба да зна:

- а) коју сврху има демонстрациони оглед
- б) које захтеве треба испунити при извођењу огледа
- в) у чему се састоји методика извођења демонстрационих огледа
- г) шта чини технику демонстрационог огледа

Са становишта теорије наставе сврха демонстрационог експеримента може бити: мотивација, очигледност у изучавању градива, конкретизација примене теоријских знања, стицање умења и вештина на конкретном примеру, повећање интересовања за изучавање градива, илустрација принципа и закона, као и развијање критичког начина мишљења.

Чињеница је да су људи увек више заинтересовани за реалне појаве и објекте него за апстрактне описе. Они више воле оно што могу да виде, него оно што треба да замишљају, више оно што је динамично од оног што је статично. За учење физике као природне науке у учионици, демонстрациони експерименти су нешто што наставу чини занимљивијом. У времену када телевизија, интернет, мноштво доступних, савремених уређаја, привлаче пажњу ученика, рад у учионици где се срећу само креда, табла, уџбеник, је разумљиво неинтересантан за ученике. Најмање што наставник физике може учинити за повећање привлачности наставе јесте извођење демонстрационих експеримената.

Општи захтеви за извођење демонстрационих експеримената су:

- 1) Правилан избор демонстрационог експеримента – сврсисходност
- 2) Темељно припремање наставника уз обавезно испробавање експеримента пре извођења на часу – поузданост
- 3) Обезбеђење средстава и поступака који доприносе да се демонстрациони експеримент лако прати и уочавају сви његови битни елементи – видљивост пре свега
- 4) Апаратура и средства којима се експеримент изводи треба да су што је могуће једноставнији – приступачност и очигледност
- 5) Поступци и интерпретација резултата експеримента морају бити у складу са достигнућима дидактике и физике као науке – научна заснованост
- 6) При извођењу огледа морају бити предузете мере заштите ученика од евентуалне повреде, као и заштита средстава за рад од оштећења – безбедност и заштита

Ефекти примене демонстрационих експеримената у настави не могу се очекивати уколико нема одговарајуће методике и технике њиховог извођења. Под методиком се пре свега подразумева остваривање дидактичких принципа систематичности и научности, а под техником принципа очигледности. Добра методика извођења демонстрационог експеримента треба да пружи прави одговор на основна питања:

- 1) Који оглед из мноштва истоврсних треба одабрати за дати час;
- 2) Када у току часа извести одабрани оглед;
- 3) Како изводити демонстрациони оглед.

За једну исту појаву, законитост или својство, могуће је у уџбеничкој и другој литератури наћи више варијанти демонстрационих експеримената. Наставник не може и не треба да користи све познате варијанте. Од њега се очекује да познаје могуће варијанте и врсте огледа да би могао да изврши правилан, педагошки сврсисходан избор.

На питање – када у току часа треба извести оглед, на почетку часа, у току часа или на крају часа, одговор је да то зависи од градива које се обрађује и постављеног дидактичког циља.

Што се тиче начина извођења демонстрационих експеримената, допушта се индивидуалан приступ наставника њиховој реализацији. Ипак, потребно је да сваки наставник има у виду одређене опште препоруке из теорије наставе и позитивног искуства. Те препоруке су следеће:

- а) Ученике треба упознати са сврхом демонстрационог експеримента, односно са дидактичким циљем, указујући им и на проблем који експеримент треба да осветли или реши;
- б) Идеја демонстрационог експеримента, средства која се у њему користе, њихов међусобни однос и функције, морају ученицима бити јасни, како би они лакше разумели све оно што се у експерименту ради и на тај начин били боље припремљени за самостално или заједничко тумачење резултата експеримента;
- в) За сваки демонстрациони експеримент мора постојати одговарајућа скица, слика или шема, помоћу које се ученици упознају са коришћеном апаратуром и током самог експеримента.
- г) Код извођења експеримента могућа су два приступа:
 - 1) Оглед се изведе без икаквог објашњавања („тиха демонстрација“), па се од ученика тражи објашњење онога што је виђено,
 - 2) Пре извођења демонстрационог огледа од ученика се тражи да дају своје претпоставке о току и исходу огледа.
- д) После исказаних хипотеза или објашњења наставник даје правилне одговоре и изводи закључке, истичући оно што је битно.

У вези са методиком извођења демонстрационих експеримената треба обратити пажњу и на следеће напомене:

- Пребрзо извођење демонстрационог експеримента, сложеност операција које се врше, обимност новина у њему, све ово може да онемогући наставника у постизању жељеног дидактичког циља. Тада је читава демонстрација неефикасна.
- Најбоље су оне демонстрације које садрже елементе проблемске ситуације, па стога треба настојати да таквих огледа буде што више.

ђ) Само у ретким случајевима час физике може да буде без демонстрационог огледа. Међутим, не сме се отићи у другу крајност, па да час буде оптерећен присуством демонстрационих експеримената којих има много, сувише дуго трају или су превише сложени за разумевање. Тада, уместо да олакшају и унапреде наставу, огледи уносе пометњу и нејасноћу;

е) Питање повезивања елемената и формирања апаратуре за извођење демонстрационог експеримента – да ли то учинити пре часа или у току часа, решава се након процене шта је за наставу важније – економичност у времену или педагошка вредност. Наиме, оглед ће се брже изводити уколико је све претходно постављено и повезано, али је за ученике много корисније када се склапање и постављање апаратуре врши на самом часу. Зависно од врсте огледа, наставник може да примени један или други поступак;

ж) Сваки планирани демонстрациони оглед мора бити темељно припремљен и испробан, како са становишта методике, тако и у погледу технике извођења.

Разумљиво је да уколико је у припрему уложено више озбиљног, стручног рада, уколико ће оглед бити успешније изведен.

За постизање технике демонстрационог школског експеримента у настави физике неопходно је правилно постављање елемената опреме помоћу којих се формира апаратура и изводи оглед. Да би били видљиви сви делови апаратуре који се користе у огледу, потребно је настојати да ти делови буду у вертикалној равни, један изнад другог, а не један иза другог. То значи да се морају користити одговарајућа постоља, стативи и други помоћни делови лабораторијске опреме. Такође, могућа је употреба одговарајућег заклона или осветљења, чиме се постиже бољи визуелни доживљај демонстрације.

2. Електростатички и електрични уређаји

У овом поглављу биће описана конструкција и принцип функционисања електростатичких и електричних уређаја који су коришћени у експерименталном делу рада.

2.1. Браунов електрометар

Браунов електрометар (Слика 1) се најчешће налази у физичким кабинетима. То је мерни инструмент који показује присуство и количину наелектрисања. Он се састоји од шупљег металног цилиндра чија је једна основа од стакла. Кроз чеп од изолатора је провучена метална шипка која је у средини мало савијена, а изван цилиндра се завршава металном куглицом. На савијеном делу шипке налази се хоризонтална осовина око које се може обртати лака игла, израђена од алуминијума. Тежиште игле се налази испод осовине и зато се она у равнотежном положају поставља вертикално уз шипку. Када се шипка наелектрише, наелектрише се и игла истом врстом наелектрисања. Услед одбојне силе игла ће скретати док се не успостави равнотежа њене силе тежине и одбојне електричне силе. Величина скретања игле утврђује се на скали која се налази на луку настављеном на доњем крају електрометра.



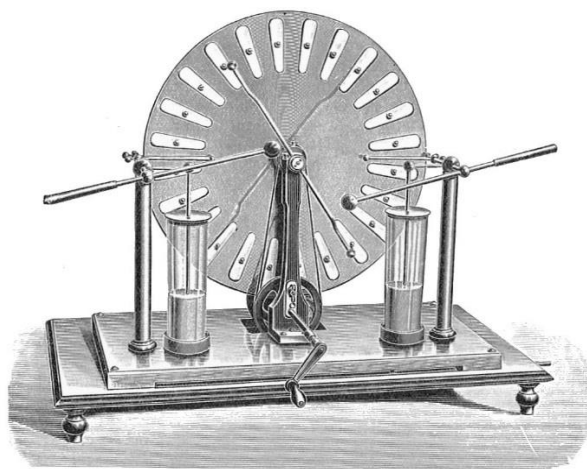
Слика 1. Браунов електрометар
(Copyright©Addison Wesley Longman, Inc.)

2.2. Уимшерстова електростатичка машина

Електростатичке машине су справе које служе за добијање већих количина наелектрисања. Уимшерстова електростатичка машина спада у електростатичке машине код којих се раздвајање наелектрисања врши електричним утицајем – инфлуенцијом, те представља инфлуентну електростатичку машину. Овај тип електростатичке машине је најзаступљенији у физичким кабинетима. Ову машину је конструисао Американац Уимшерст 1878. године.

Уимшерстова електростатичка машина се састоји од две ебонитне паралелне кружне плоче које су на међусобном растојању од 3 до 4 mm, вертикално учвршћене за осовину. Помоћу ручке и каишева плоче се могу обртати и то једна наспрам друге у супротним смеровима. На спољашњим странама близу периферије обе кружне плоче имају уске секторе калајних листића распоређене на једнаким размацама. Испред сваке плоче налази се по један дијаметрални проводник у виду шипке. Обе шипке су укрштене и заклапају угао од 90° , а постављене су тако да једна са хоризонталним пречником образује угао од 45° . Обе ове шипке су изоловано утврђене у лежишту осовине, а на крајевима имају металне метлице које клизе по секторима. На крајевима хоризонталног пречника обе плоче су обухваћене савијеним металним шипкама на чијим се унутрашњим странама налазе метални чешљеви. Ове шипке служе као **електроде машине**. Оне на једном крају имају металну куглицу, а на другом крају изолаторску дршку, помоћу које је могуће их је могуће обртати. На тај начин је могуће подешавање растојања између кугли, да може „прескакати“ електрична варница. Пошто се ове кугле при раду машине наелектришу супротним врстама наелектрисања називају се **половима машине**. Да би се на половима машине скупила што већа количина наелектрисања, чешљеви су проводно везани за Лајденске боце.

На основу механичког рада утрошеног при обртању кружних плоча, Уимшерстова машина сама себе електрише и на њеним половима скупља се наелектрисање чија потенцијална разлика може износити и до 100 000 V. Наелектрисање које се развија на половима машине може се употребити за различите експерименте. Уколико нису потребне јаке варнице, онда се искључује контакт чешљева са Лајденским боцама. При употреби машине за друге огледе један њен пол се везује жицом за тело које треба наелектрисати, а други пол се уземљује.



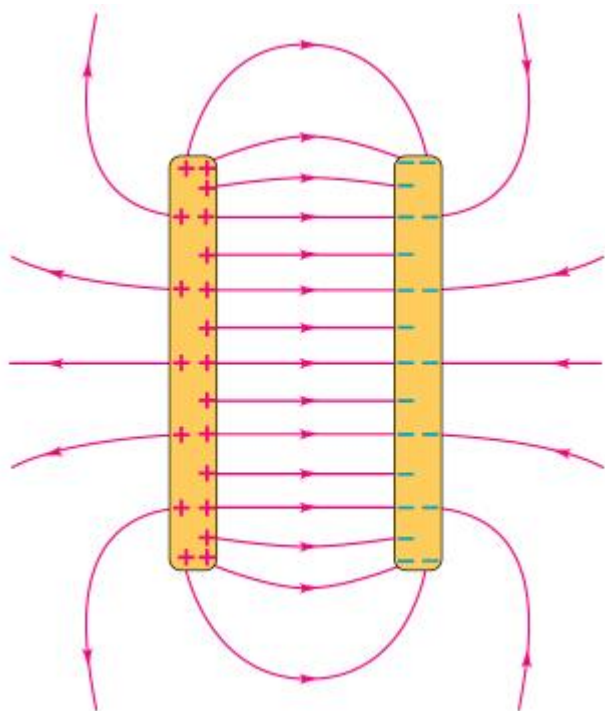
Слика 2. Уимшерстова електростатичка машина
(Copyright©Addison Wesley Longman, Inc.)

2.3. Електрични кондензатор

Електрични кондензатор је систем од два проводника (облоге кондензатора) на малом међусобном растојању, раздвојене неким изолатором (ваздух, стакло, ебонит и др.). Најједноставнији кондензатор је **плочасти кондензатор**. Једна плоча кондензатора се везује за извор наелектрисања, а друга се уземљује. На првој плочи се скупља наелектрисање, а друга, уземљена плоча јој повећава капацитет и омогућава то скупљање. Капацитет плочастог кондензатора (C) је сразмеран површини плоча (S), обрнуто сразмеран растојању између њих (d) и зависи од природе изолатора којим су раздвојене (ϵ је диелектрична константа која зависи од природе материјала):

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \quad (1)$$

Електрично поље између облога кондензатора је хомогено, а на самим крајевима облога нехомогено, и усмерено је од позитивно наелектрисане до негативно наелектрисане облоге (Слика 3).



Слика 3. Електрично поље међу облогама кондензатора
(Copyright©Addison Wesley Longman, Inc.)

3. Јонизујуће зрачење

Експерименти реализовани у оквиру овог рада су базирани на јонизујућем ефекту зрачења, па је од суштинске важности разумевање његових својстава и механизма интеракције са материјом.

Јонизујуће зрачење је корпускуларно (честично) или фотонско зрачење које може да јонизује материју. Назив *јонизујуће* потиче од ефекта који то зрачење изазива при контакту са материјом: проласком кроз материју зрачење предаје енергију атомима који је чине, изазивају удаљавање електрона из омотача атома. Услед овог дејства, атом губи електронеутралност и постаје позитивно наелектрисан јон. Да би дошло до ефекта јонизације, енергија фотона или честице мора бити већа од енергије јонизације атома материјала кроз који се простиру.

3.1. Корпускуларно зрачење

Корпускуларно зрачење обухвата алфа честице, бета честице и неутроне.

Алфа честице представљају језгра атома хелијума, а састоје се од два протона и два неутрона, те имају двоструко позитивно наелектрисање. Алфа честице емитују природни радионуклиди. Имају просечну брзину од око $1/20$ брзине светлости, што је довољно споро (на микро плану) да могу релативно дуго интераговати са материјом. Зато имају јако јонизујуће деловање. Због своје величине брзо се сударају са неким од атома након чега губе енергију, па им је домет мали (свега неколико cm), и зато их може зауставити лист папира и спољни слој коже.

Бета зрачење чине **електрони**, негативно наелектрисане честице, и **позитрони**, честице чија је маса једнака маси електрона, али имају позитивно наелектрисање. Јонизујуће дејство бета честица је слабије од деловања алфа честица, али им је домет у ваздуху пуно већи (неколико метара). Бета честице могу бити заустављене металном плочом дебљине неколико mm.

Неутронско зрачење. Поред космичког зрачења, спонтана фисија је једини природни извор неутрона. Чест извор неутрона јесу нуклеарни реактори, у којима долази до њихове емисије услед фисије језгара уранијума или плутонијума. Неутрони настали у процесу фисије имају велику кинетичку енергију и могу да сударом са језгрима других атома изазову наредну фисију, што доводи до ланчане реакције. Пошто не поседују наелектрисање, интеракција неутрона са материјом се не заснива на електромагнетној (Кулоновој) интеракцији, те имају велику продорну моћ кроз различите материјале. Током интеракције неутрона са материјом долази до емисије бета и гама зрачења.

3.2. Фотонско зрачење

Фотонско зрачење обухвата гама зрачење и рендгенско (X) зрачење.

Гама зрачење је електромагнетно зрачење велике енергије, које највећим делом настаје у прелазима између енергетских нивоа унутар атомског језгра. Његово јонизујуће деловање је још слабије од деловања β честица, па му је домет знатно већи.

Гама зрак представља скуп кванта електромагнетне енергије, тј. фотона. Гама фотони немају масу и наелектрисање, али имају врло високу енергију, око 10.000 пута већу од енергије фотона у видљивом делу електромагнетног спектра. Емисија алфа или бета честице природних радиоактивних изотопа увек је праћена емисијом гама зрачења. Услед високе енергије и брзине једнаке брзини светлости, гама зраци у ваздуху могу прећи стотине хиљада метара пре него што потроше енергију. Могу проћи кроз многе материјале, чак и релативно велике дебљине. Рецимо, уколико имају високу енергију, могу да прођу кроз слој олова дебљине 20 cm, што никако није случај са алфа и бета честицама.

X (рендгенско) зрачење је такође електромагнетне природе као и гама зрачење. Карактеристично рендгенско зрачење настаје у електронском омотачу атома, а заочно зрачење у пољу језгра.

3.3. Својства корпускуларног јонизујућег зрачења

Основна својства корпускуларног јонизујућег зрачења јесу: почетна брзина емитовања, кинетичка енергија, домет и јонизациона моћ.

1. Почетна брзина

а) **α честице**; Под почетном брзином алфа честице подразумева се брзина којом она излеће из радиоактивног језгра. Ова брзина алфа честица варира у зависности од радиоактивног елемента који их емитује. Испитивања су показала да се почетне брзине алфа честица крећу од 14 000 km/s до 30 000 km/s. То значи да максималне брзине могу износити чак и десети део брзине светлости у вакууму.

б) **β честице**; Брзине бета честица су различите и крећу се за различите радиоактивне елементе од 70 000 km/s до 298 000 km/s, што значи да оне могу имати брзине чак и 99% од брзине светлости у вакууму.

2. Кинетичка енергија

а) **α честице**; Кинетичка енергија алфа честица првенствено зависи од природе радиоактивног елемента, што значи да су њихове енергије различите. Енергије алфа честица се крећу у домену 1,83 MeV (^{144}Nd) до 11,7 MeV (^{212}Po). Поједини радиоактивни елементи емитују алфа честице различитих кинетичких енергија. Ово је омогућило проучавање енергетског аспекта структуре језгра.

б) **β честице**; Експериментално је потврђено да бета честице које излећу из језгра датог радиоактивног елемента могу имати различите енергије, почевши од нуле до неке максималне вредности.

3. Домет

а) **α честице**; Домет алфа честице представља дужину путање коју честица прође кроз ваздух под нормалним притиском. Та путања може да се израчуна и за другу вредност притиска или да се експериментално измери у Вилсоновој магленој комори.

Експериментално је утврђено да домет алфа честице зависи од почетне брзине саме честице, као и од средине кроз коју честица пролази.

Алфа честице се крећу праволинијски, па се може сматрати да је дужина њихове путање једнака домету. На основу великог броја мерења домета алфа честица разних енергија у ваздуху, добијена је једноставна емпиријска релација:

$$R_{\alpha}[\text{cm}] = 0,318 \cdot E_{\alpha}^{\frac{3}{2}}[\text{MeV}] \quad (2)$$

Уколико се енергија алфа честице изрази у MeV, домет у ваздуху се добија у cm. Ова релација даје добру процену домета алфа честица чија је енергија у интервалу од 3 до 7 MeV. Може се израчунати да алфа честица енергије 7 MeV у ваздуху пређе нешто мање од 6 cm, док честице енергије 3 MeV имају домет од 1,65 cm у ваздуху.

б) β честице; Домет бета честица је знатно већи од домета алфа честица. Ово проистиче из тога што бета честице имају знатно мању јонизациону моћ него алфа честице, па отуда и дужу путању кроз ваздух или неку другу супстанцу. Пошто бета честице имају масу идентичну орбиталним електронима са којима интерагују, оне не задржавају сталан правац кретања, већ лако бивају скренуте. Из тог разлога је путања бета честица изломљена линија и пређени пут и домет се разликују. Као последица овога и чињенице да бета честице емитоване из језгра имају континуалан спектар, није могуће извести јединствену емпиријску релацију за домет бета честица, као што је то случај са дометом алфа честица.

4. Јонизациона моћ

а) α честице; Јонизациона моћ алфа честица је врло велика због њиховог наелектрисања, али и масе. *Специфична јонизација*, која се дефинише као број јонских парова по милиметру пређеног пута, за алфа честицу на почетку пута је мања, јер, док честице имају велику енергију, вероватноћа трансфера енергије у интеракцији која је претежно електростатичка, је мања. За ваздух нпр. то се креће до око 3000 парова јона/mm пута, што зависи од почетне енергије алфа честица. Са даљим губитком енергије специфична јонизација се све брже повећава. Када честица изгуби највећи део своје енергије и дође на ниво од око 370 keV, она достиже максимум од око 7000 парова јона/mm. Након тога преостали (мали) износ енергије, уз истовремену повећану моћ јонизације, при крају пута се енергија алфа честице смањи толико да она прво захвата један, а затим и други електрон и тако постаје неутрални атом хелијума. Настали атом хелијума је електонеутралан, те нема способност јонизације, и у том моменту престаје да постоји као алфа честица.

Алфа честице имају преко 7500 пута већу масу од електрона из атомског омотача са којима интерагује, сагласно томе и већу инерцију, те им је путања углавном праволинијска. Овако велика разлика у масама намеће ограничење по питању количине енергије која може бити предата једном електрону у директном судару са алфа честицом. Незнатно одступање путање алфа честице од праволинијске при већим енергијама може бити изазвано приближавањем језгрима атома средине, на којима се тада врши расејање, опет у складу са законима Кулоновог одбијања.

б) **β честице**; Електрони и позитрони готово идентично интерагују са материјом. Једина значајна разлика се састоји у томе што електроним након комплетног губитка кинетичке енергије бивају захваћени од стране неког атома и постају орбитални електрони, док позитрони када изгубе енергију, доживљавају анихилацију са једним електроном. Том приликом обе честице нестају (бивају анихилиране), уз стварање два гама фотона енергије 511 keV , који се разилазе под углом од 180° . Као и алфа честице, и бета честице губе своју енергију у сударима са електронима из електронског омотача атома средине кроз коју пролазе. Услед тога, ови атоми бивају или побуђени (ексцитовани – преведени на виши енергетски ниво) или јонизовани, што се у ужем смислу све сматра јонизационим губицима. Међутим, обзиром на чињеницу да су упадни електрони идентични онима у електронском омотачу са којима реагују, а посебно да су њихове масе при нерелативистичким упадним брзинама ($v \ll 3 \cdot 10^8$ m/s) једнаке, упадни електрон може орбиталном електрону предати велики део своје енергије. При томе се упадни електрони расејавају под великим углом, што доводи до масовног скретања са упадног правца. Крајњи резултат је да се од електрона дате енергије добије опет електрон мање енергије и другачијег правца.

Упадни електрон може при пролазу кроз материјалну средину део своје кинетичке енергије емитовати у облику електромагнетног зрачења приликом успоравања под утицајем електричног поља језгра. То је тзв. *закочно зрачење*. На тај начин један део снопа електрона бива апсорбован губећи своју енергију. За узврат се добија X или гама зрачење које је у принципу продорније од електрона, па се може десити да изађе из материјала. Остатак снопа може такође напустити материјал као расејано и успорено бета зрачење.

Специфична јонизација бета честице је мања него код алфа честице, јер она носи мање наелектрисање, а због мање масе има и већу брзину од алфа честице при истој енергији. Максимална специфична јонизација електрона у ваздуху је око 770 парова јона/mm пута при енергији од 150 eV, што је 10 пута мање него код алфа честица. У складу са тим је домет бета честица вишеструко већи од домета алфа честица при истој енергији.

Путања бета честице је изломљена линија. Њена маса је мала, па јој је и инерција мала. Тиме је и скретање честице са правца израженије, нарочито ако су енергије бета честице мање од 1 MeV.

4. Опис експеримената

Овај рад се не бави описом начина детекције зрачења, већ креирањем експеримената који ће имати улогу демонстрационих, а могуће их је извести помоћу прибора и опреме која постоји у средњошколском физичком кабинету. Осим што извођење ових огледа не захтева поседовање, рецимо, Гајгер-Милеровог бројача, који је релативно скуп за набавку, оно има и велики педагошки значај за ученике. Наиме, ученици ће обновити и продубити знање из електростатике које су стекли у другом разреду гимназије, а такође, боље разумети начин интеракције и особине јонизујућег зрачења које изучавају у четвртном разреду гимназије.

Да би одређени оглед могао да буде извођен на наставном часу физике, мора да испуњава захтеве очигледности, прихватљивог времена трајања, репродуцибилности резултата и мора да буде базиран на јасном принципу. Огледи описани у овом раду базирани су на ефекту јонизације и утицају насталих јона у ваздуху при проласку алфа/бета честица кроз њега.

Огледи су изведени са две основне варијанте апаратуре:

1. Апаратура у чији склоп улази електрични кондензатор (Слика 1).



Слика 4. Изглед апаратуре у првој поставци огледа: 1- електрични кондензатор , 2- волтметар , 3- Уимшерстова електростатичка машина

Волтметар је електрични мерни инструмент који служи за непосредно мерење напона и увек се везује паралелно са елементом или граном електричног кола на чијим се крајевима мери напон.

2. Апаратура у чији склоп улази Браунов електрометар (Слика 2).



Слика 5. Изглед апаратуре у другој поставци огледа: 1- Браунов електрометар ,
2- Уимшерстова електростатичка машина

Овај вид мерења интензитета јонизујућег зрачења је коришћен када су физичари имали на располагању веома скромну мерну технику, те је од значаја и за историју физике. Рецимо, прва конкретна сазнања о космичком зрачењу потичу из 1912. године, када је аустријски физичар Хес пењући се балоном ка вишим слојевима атмосфере мерио интензитет нивоа природног зрачења на разним висинама. Наиме, балоном је понео херметички затворен електроскоп (варијанта електрометра који уместо казаљке има златне листиће) , па је мерио време потребно за његово разелектрисавање. Уколико би се гас унутар електроскопа изложио дејству јонизујућег зрачења, долазило би до његовог пражњења, а сама брзина којом се тај процес одвија у директној је сразмерности са интензитетом зрачења.

4.1. Спонтано пражњење кондензатора

Пре експерименталног одређивања утицаја извора алфа и бета честица на пражњење кондензатора, неопходно је утврдити време његовог спонтаног пражњења. До спонтаног пражњења кондензатора долази због тога што у ваздуху увек постоји извесан број јона, настали услед дејства космичког зрачења, те зрачења које потиче од земљишта или грађевинских материјала (Нпр. у састав песка улази извесан проценат радиоактивног ^{40}K).

Апаратура: - кондензатор

- Уимшерстова електростатичка машина
- електростатички волтметар
- дигитална штоперица

Поступак: Плоче кондензатора постављене су на међусобно растојање од 11 mm. Кондензатор је затим наелектрисан уз употребу Уимшерстове електростатичке машине до нивоа када електростатички волтметар показује напон од 1 kV. Затим је мерено време потпуног пражњења кондензатора, дакле, до момента када казаљка волтметра стигне до нултог подеока на напонској скали. Утврђено је да то време износи 47,27 минута. Пошто ово време премашује трајање школског часа, поступак мерења је поновљен за пражњење кондензатора у интервалу од 1kV до 0,5kV, уз промену растојања између плоча кондензатора. Резултати мерења приказани су у Табели 1.

Табела 1. Време спонтаног пражњења кондензатора (од 1 kV до 0,5 kV) за различита растојања његових облога:

растојање облога кондензатора у mm	време пражњења у минутима
14	24,4
10	23,2
5	21,5
3	20,4
1	19,5

Закључак: Може се уочити промена напона у интервалу половине школског часа. Напон се на половину почетне вредности смањи за око 20 минута. Тих 20 минута се може сматрати дужим интервалом времена, од времена потребног за извођење једне демонстрације.

4.2. Мерење зависности времена пражњења кондензатора од растојања алфа извора са фиксним растојањем између облога кондензатора

Ово мерење има за циљ демонстрацију утицаја алфа честица на брзину пражњења кондензатора, на основу чега се може донети закључак о њиховом домету. Наиме, у претходном поглављу наведено је да је основни механизам интеракције честица зрачења са материјом ефекат јонизације, односно стварања јонских парова у материјалној средини кроз коју се креће. Код алфа честица ефекат јонизације је најизраженији, те је за очекивати да ће створени јони у ваздуху кроз који се оне крећу, убрзати процес пражњења кондензатора.

Апаратура: - кондензатор

- Уимшерстова електростатичка машина
- електростатички волтметар
- дигитална штоперица
- статив са клемом

- метар



Слика 6. Зависност времена пражњења кондензатора од растојања алфа извора при фиксном растојању облога кондензатора: 1- електрични кондензатор , 2- извор алфа честица , 3- волтметар , 4- штоперица

Извор алфа честица: Као извор алфа честица употребљен је ^{226}Ra , обзиром да се ради о чистом алфа емитуеру. Активност извора је реда величине μCi , због чега се убраја у тзв. школске изворе зрачења и безбедан је за употребу у оквиру адекватних демонстрационих огледа.

Поступак: Плоче кондензатора постављене су на фиксно растојање од 1,4 cm. Кондензатор је затим наелектрисан уз употребу Уимшерстове електростатичке машине до нивоа када електростатички волтметар показује напон од 1 kV. Извршено је мерење времена пражњења кондензатора у интервалу од 1kV до 0,5kV, за различита растојања између кондензатора и алфа извора. Резултати мерења приказани су у Табели 2. и на Графику 1.

Табела 2. Време пражњења кондензатора (од 1 kV до 0,5 kV) за различита растојања алфа извора, при фиксном растојању облога кондензатора од 1,4 cm:

растојање алфа извора од кондензатора у cm	време пражњења у секундама
11	93
8,5	62
7	45
6	31
5	23
3	22
2	23
1	23

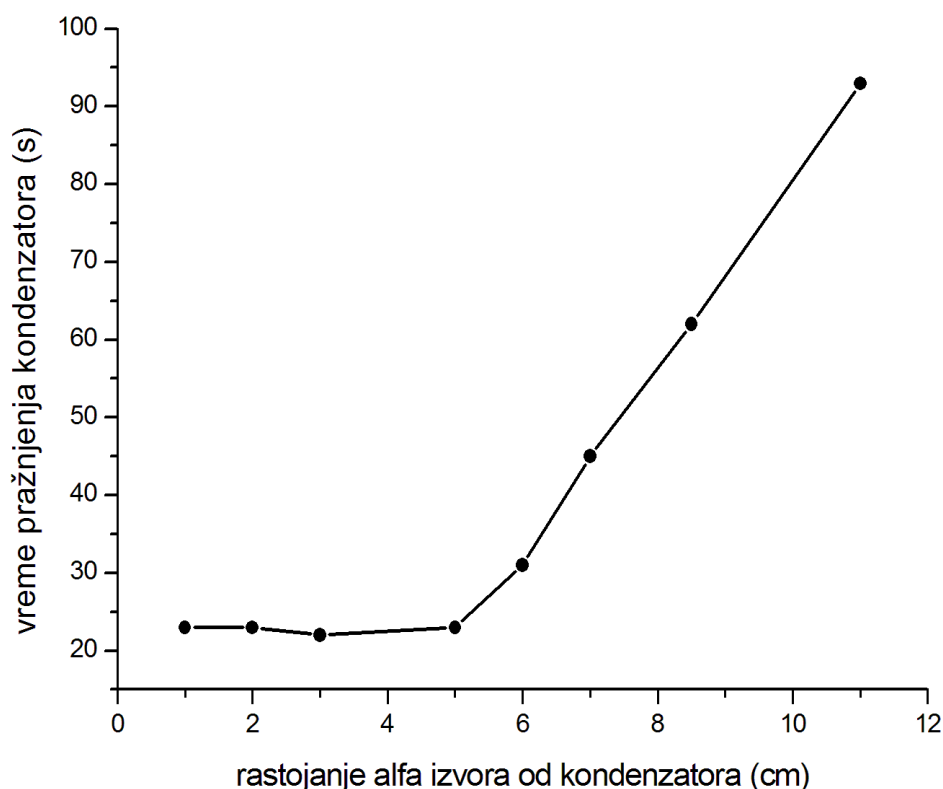


График 1. Зависност времена пражњења кондензатора од растојања алфа извора

Закључак: Време пражњења кондензатора се скраћује са смањењем растојања од алфа извора, до растојања од 5 cm, након чега се даљим смањењем дистанце не мења. Ово се може објаснити тиме што је домет алфа честица у ваздуху свега неколико центиметара, те на растојању већем од 5 cm створени јони не доспевају у потпуности до кондензатора, као ни саме алфа честице. На растојању од 5 cm и мањем, алфа честице јонизују ваздух у непосредној близини кондензатора, те настали јони лакше доспевају до њега, утичући на процес његовог пражњења.

4.3. Мерење зависности времена пражњења кондензатора од присуства алфа изворана фиксном растојању уз промену растојања између облога кондензатора

Циљ овог мерења је испитивање утицаја растојања између облога кондензатора на време његовог пражњења, уз извор алфа честица на фиксном растојању. Наведено је да је капацитет плочастог кондензатора обрнуто сразмеран растојању између његових плоча. Дакле, са повећањем растојања између плоча кондензатора, његов капацитет ће се смањивати.

Апаратура: - кондензатор

- Уимшерстова електростатичка машина
- електростатички волтметар
- дигитална штоперица
- статив са клемом

- метар

Извор алфа честица: школски извор ^{226}Ra

Поступак: Кондензатор је наелектрисан уз употребу Уимшерстове електростатичке машине до нивоа када волтметар показује напон од 1 kV. Извор алфа честица причвршћен је за статив и постављен на фиксно растојање 3 cm од кондензатора. Извршено је мерење времена пражњења кондензатора у интервалу од 1kV до 0,5kV, за различита растојања између облога кондензатора. Резултати мерења приказани су у Табели 3. и Графику 2

Табела 3. Време пражњења кондензатора (од 1 kV до 0,5 kV) за различита растојања облога кондензатора, при фиксном растојању алфа извора од 3 cm:

растојање облога кондензатора (mm)	t (s)
14	23
12	28
10	32
7	46

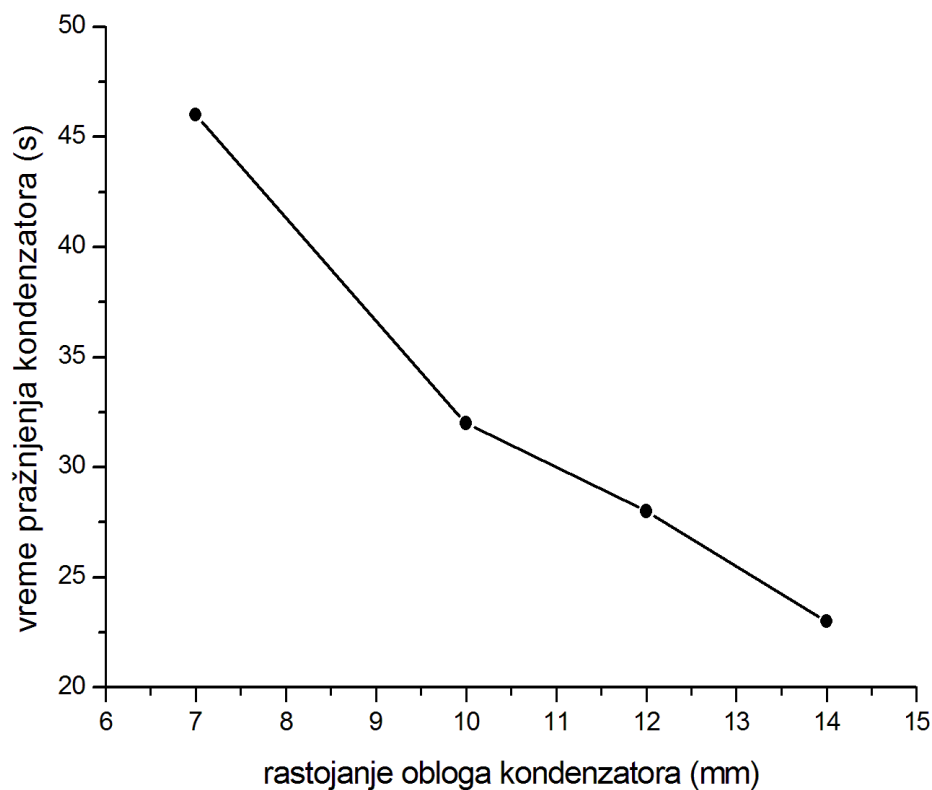


График 2. Зависност времена пражњења кондензатора од растојања облога кондензатора

Закључак: Смањење растојања између плоча кондензатора (d), односно повећање његовог капацитета, продужује време пражњења кондензатора (Релација 3). Наиме, што је капацитет кондензатора већи, може се напунити већом количином наелектрисања, те је потребно више времена за његово пражњење. Пошто је електрично поље локализовано између облога кондензатора, неопходно је да алфа честице или јони које оне стварају у ваздуху, продру између њих, како би извршиле утицај на брзину пражњења кондензатора. Због овога је одабрано растојање 3cm алфа извора од кондензатора, које одговара њиховом домету.

$$t \sim \frac{1}{d} \quad (3)$$

4.4. Мерење атенуације алфа зрачења

Под атенуацијом зрачења подразумева се смањење његовог интензитета при проласку кроз слој материјала. Пошто алфа и бета зрачење имају корпускуларну (честичну) природу, до њихове атенуације долази услед међучестичних интеракција унутар материјала кроз који пролазе. Атенуациона моћ датог материјала зависи од његове природе и дебљине. Ово мерење се не заснива на директном мерењу интензитета зрачења, већ се принцип поново заснива на мерењу времена пражњења кондензатора. Наиме, зрачење које прође кроз дати материјал ће имати мањи интензитет, а тиме ће вршити мањи утицај на смањење времена пражњења кондензатора.

Апаратура: - кондензатор

- Уимшерстова електростатичка машина
- електростатички волтметар
- дигитална штоперица
- статив са клемом
- метар

Извора алфа зрачења: : школски извор ^{226}Ra



Слика 7. Мерење атенуације алфа честица: 1- електрични кондензатор , 2- алуминујмска фолија , 3- извор алфа честица , 4-волтметар, 5- штоперица

Поступак: Кондензатор је наелектрисан уз употребу Уимшерстове електростатичке машине до нивоа када волтметар показује напон од 1 kV. Извор алфа честица причвршћен је за статив и постављен на фиксно растојање 5cm од кондензатора, а облоге кондензатора су постављене на фиксно растојање од 1,4 cm.

Извршено је мерење времена пражњења кондензатора у интервалу од 1kV до 0,5kV , за извор алфа честица без атенуатора, а затим са 2 и 4 слоја алуминијумске фолије и листом папира као атенуаторима. Резултати мерења приказани су у Табели 4.

Табела 4. Атенуација алфа зрачења при фиксном растојању алфа извора од 5cm и фиксном растојању облога кондензатора од 1,4 cm:

атенуатор	t (min)
/	0,4
2 слоја Al фолије	3
4 слоја Al фолије	21
лист папира	17,4

Закључак: Време пражњења кондензатора је знатно дуже када се између извора зрачења и кондензатора постави атенуатор. Такође, на примеру алуминијумске фолије је показано да ефекат атенуације зависи од дебљине атенуатора. Што је атенуатор дебљи, ефекат је израженији. Дакле, ефекат атенуације је директно сразмеран дебљини материјала кроз који зрачење пролази.

4.5. Мерење зависности времена пражњења кондензатора од присуства извора бета честица

Ово мерење има за циљ демонстрацију утицаја бета честица на брзину пражњења кондензатора. И бета честице испољавају ефекат јонизације, односно стварања јонских парова у материјалној средини кроз коју се крећу. Међутим, бета честице имају много мању јонизациону моћ од алфа честица. Услед овог је очекивано да ће утицај бета честица на време пражњења кондензатора бити мање изражено него што је случај са алфа честицама.

Апаратура: - кондензатор

- Уимшерстова електростатичка машина
- електростатички волтметар
- дигитална штоперица
- статив са клемом
- метар



Слика 8. Мерење зависности времена пражњења кондензатора од присуства бета извора: 1- електрични кондензатор , 2 и 3 – извори бета честица

Извори бета честица: Као извори бета честица употребљена су два ^{90}Sr , јер се ради о чисто бета емитеру. Активност извора је реда величине μCi .

Поступак: Кондензатор је наелектрисан уз употребу Уимшерстове електростатичке машине до нивоа када волтметар показује напон од 1 kV. Прво је извршено мерење времена пражњења кондензатора од 1 kV до 0,5 kV без присуства бета извора. Затим је извршено мерење уз присуство једног бета извора на фиксном растојању од 0,5 cm и фиксом растојању плоча кондензатора од 1,4 cm. Коначно, извршено је мерење у присуству два бета извора. Резултати мерења приказани су у Табели 5.

Табела 5. Време пражњења кондензатора (од 1 kV до 0,5 kV) у зависности од присуства извора бета зрачења:

	t (s)	t (min)
без бета извора	1290	21,5
са једним бета извором	1020	17
са два бета извора	888	14,8

Закључак: Запажа се утицај присуства извора бета зрачења на скраћивање времена пражњења кондензатора. Међутим, време мерења превазилази време које је прихватљиво за извођење једне демонстрације у току школског часа.

4.6. Мерење времена пражњења Брауновог електрометра у зависности од растојања алфа извора

Ово мерење се такође заснива на ефекту јонизације алфа честица, само се уместо времена пражњења кондензатора мери време пражњења Брауновог електрометра. Због чињенице да је Браунов електрометар затворен, време његовог спонтаног пражњења је изузетно дуго, због тога што у том случају не долази до јонизације ваздуха који се налази унутар њега, што би убрзало процес пражњења. Пошто се на контакт електрометра могу поставити мања или већа метална кугла, чиме му се повећава капацитет и додирна површина са зрачењем, од интереса је испитати и како ови параметри утичу на време пражњења електрометра.

Апаратура: - Браунов електрометар

- Уимшерстова електростатичка машина
- дигитална штоперица
- статив са клемом
- метар

Извора алфа зрачења: : школски извор ^{226}Ra

Поступак: Браунов електрометар је наелектрисан помоћу Уимшерстове електростатичке машине, до нивоа када казаљка електрометра показује одређени подеок који се узима као репер почетне количине наелектрисања у свим наредним мерењима. Извор алфа честица причвршћен је за статив и постављен на растојање 22 cm од електрометра и вршено је мерење времена његовог пражњења. Растојање алфа извора од електрометра је затим сукцесивно повећавано при сваком наредном мерењу. Резултати мерења су приказани у *Табели 6.* и *Графику 3.*

Табела 6. Време пражњења Брауновог електрометра за различита растојања алфа извора:

време пражњења електрометра без кугле (s)	време пражњења електрометра са малом куглом (s)	време пражњења електрометра са великом куглом (s)	растојање алфа извора (cm)
11	23	43	22
26	70	113	28
32	79	137	32
62	111	201	36

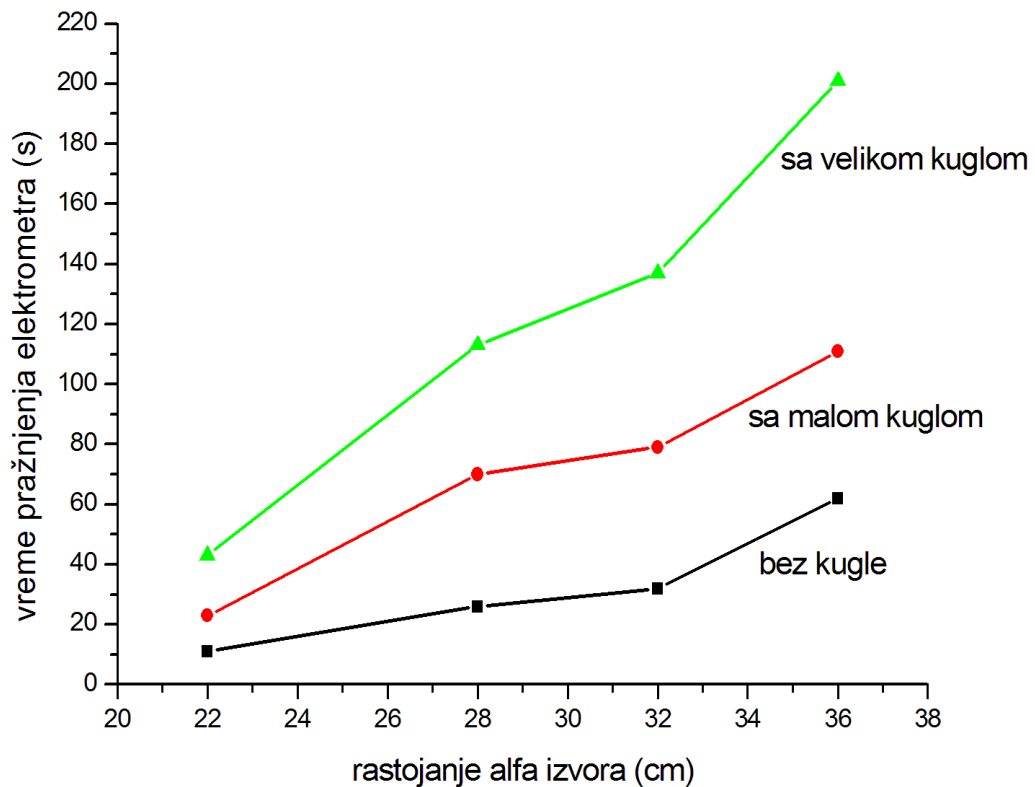


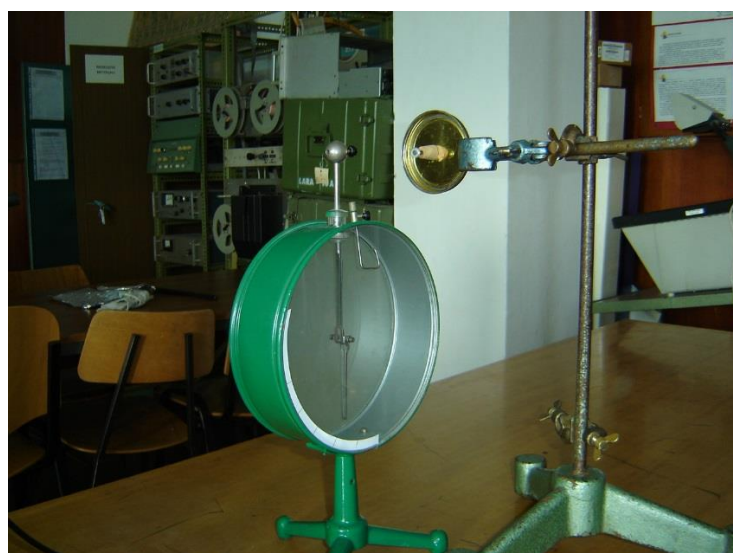
График 3. Зависност времена пражњења електрометра од растојања алфа извора

Закључак: Са повећањем растојања алфа извора од електрометра продужује се време његовог пражњења. Такође, време пражњења је директно сразмерно капацитету електрометра (Релација 4). Како је капацитет електрометра највећи када се на њега постави велика кугла, електрометар се може напунити великом количином неелектрисања, те је време његовог пражњења тада најдуже. Електрично поље је у овом случају радијално и прикупља наелектрисане честице (алфа честице и јоне које оне стварају у ваздуху) која су далеко од извора поља. Због овога је могуће поставити извор алфа честица на већу удаљеност од електрометра него што је то био случај у огледу у коме је коришћен електрични кондензатор.

$$t \sim C \quad (4)$$



Слика 9. Браунов електрометар без кугле



Слика 10. Браунов електрометар са малом куглом



Слика 11. Браунов електрометар са великом куглом

Слој стакла као непробојан за алфа честице

Домет алфа честица у ваздуху, зависно од енергије, износи 1,65 до 7 cm, а довољан је слој стакла или пластике дебљине свега неколико милиметара да би биле потпуно заустављене. Ова чињеница је од значаја за боље разумевање понашања алфа честица при проласку кроз материјалну средину, а такође и за пројектовање оптималне заштите од алфа зрачења.

Апаратура:- Браунов електрометар
- Уимшерстова електростатичка машина

Извора алфа зрачења: : школски извор ^{226}Ra

Поступак: Браунов електрометар је наелектрисан помоћу Уимшерстове електростатичке машине, до нивоа када казаљка електрометра показује одређени подеок. Извор алфа честица се прислања на стакло које покрива једну страну електрометра. Запажа се да у овом случају не долази до разелектрисања електрометра.

Закључак: Слој стакла који покрива једну страну Брауновог електрометра је непробојан за алфа честице.

Закључак

Експеримент у настави физике има за циљ употпуњавање и усавршавање теоријског знања. Физика се из уџбеника преноси у реалан амбијент физичког кабинета, а научени принципи се примењују у конкретним огледима. На овај начин изучавање физике добија свој примарни смисао – боље разумевање природних појава, феномена и процеса. Од наставника физике се очекује да, поред поседовања темељног знања из свих области физике, буде мотивисан за унапређење квалитета наставе. Ово се, наравно, односи и на извођење огледа, који већ постоје или које је креирао сам.

У овом раду је показано да и поједини концепти нуклеарне физике могу да нађу потврду у оквиру школских огледа. На основу експеримената реализованих и описаних у оквиру овог рада, конкретно се демонстрира:

1. домет алфа честица у ваздуху
2. атенуација алфа честица у алуминијуму и стаклу
3. разлика јонизационе моћи алфа и бета честица

При извођењу сваке фазе огледа потребно је објашњавати шта се ради и због чега, да би оглед имао педагошки значај. Такође, битно је анализирати резултате огледа у контексту принципа нуклеарне физике који се изучавају у оквиру теоријског дела наставног градива.

Током процеса креирања огледа, неопходно је да наставник изврши иситивање свих експерименталних параметара који имају утицај на коначне резултате. Процес креирања огледа описаних у овом раду обухватао је:

1. Одређивање оптималног растојања између плоча кондензатора
2. Испитивање зависности растојања извора јонизујућег зрачења од електричног кондензатора, односно Брауновог електрометра.
3. Испитивање разлике у јонизујућем дејству алфа и бета честица.
4. Одређивање оптималне геометријске поставке огледа са аспекта укупне капацитивности електричног кондензатора и Брауновог електрометра.

На основу овога је конципирана оптимална поставка огледа, која се може ефикасно извести на наставном часу.

Референце

1. „*Дидактика физике- теорија наставе физике*” ,Томислав Петровић, Београд, 1993.
2. „*Физика за IV разред опште гимназије и гимназије друштвено-језичког смера*” ,
др Милан Паспоповић , др Дарко Капор , др Марио Шкрињар , Завод за уџбенике и
наставна средства , Београд , 1993.
3. „*Физика III део: електрицитет и магнетизам*” , Бранко Ђурић , Живојин Ђулум ,
Нови Сад , 1960.
4. „*Experiments in radioactivity*” , R.A.Faires, Methuen Educational Limited, London , 1970.
5. „*Увод у Нуклеарну физику*” , др Миодраг Крмар, Нови Сад, 2013.
6. „*Физика*” , др Животије Тополац, Научна књига, Београд ,1978.
7. „*Основи нуклеарне физике*” , др Лазар Маринков, Нови Сад, 2010.
8. „*Teaching and physics education research: bringing the gap*” , James M. Fraser ,
Annekle L. Timan , Kelly Miller , Jason E. Dowd , Laura Tucker and Eric Mazur ,
Physics education, IOP Publishing , 2014.
9. „*Laboratory – based teaching and the Physics Innovations Centre for Excellence in
Teaching and Learning*” , Robert Lambourne , Physics Education , IOP Publishing 2007.
10. „*Recent advances in classroom physics*” , Beth Ann Thacker , Physics Education ,
IOP Publishing , 2003.
11. „*Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics*” , Ismo T. Koponen
and Terhi Mantyla , Department of Physical Sciences, University of Helsinki , 2003.
12. „*Role of Experiments in Physics Instruction – A Process Approach*” , E.Etkina,
A. Van Heuvelen, D.T.Brookes and D. Mills , Physics Teacher , 2002.

Биографија кандидата



Никола Новаковић је рођен 15.10.1988. у Новом Саду. Основну школу је завршио у Новом Милошеву, а средњу у Новом Саду. Године 2007. уписује Основне академске студије физике наставног усмерења на Природно-математичком факултету Универзитета у Новом Саду, на ком 2.4.2013. стиче стручни назив Дипломирани професор физике. Исте године уписује Мастер академске студије наставног усмерења.

