



Универзитет у Новом Саду  
Природно–математички факултет  
Департман за Физику



**ДИПЛОМСКИ РАД**

# **ДЕМОНСТРАЦИОНИ ОГЛЕДИ ИЗ ЕЛЕКТРИЦИТЕТА**

Ментор:  
Др Душанка Обадовић

Кандидат:  
Милан Толмач

Нови Сад 2008.

Захвалан сам својој породици, бодрила ме је да успем !

## Садржај:

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Увод .....                                                     | 4  |
| 1. Оглед у настави физике .....                                | 5  |
| 1.1 Демонстрациони оглед .....                                 | 5  |
| 2. Електрицитет .....                                          | 7  |
| 2.1. Развој науке о електрицитету .....                        | 7  |
| 2.2 Електрична структура супстанције .....                     | 11 |
| 2.3 Количина електрицитета .....                               | 12 |
| 2.4 Наелектрисање трењем и додиром .....                       | 13 |
| 2.5 Узајамно дејство наелектрисаних тела .....                 | 14 |
| 2.6 Електрично поље .....                                      | 14 |
| 2.7 Електрични флуks .....                                     | 17 |
| 2.8 Електрични дипол .....                                     | 19 |
| 2.9 Проводник у електричном пољу. Инфлуенција .....            | 20 |
| 2.10 Рад сила електричног поља. Напон. Потенцијал. ....        | 21 |
| 2.11 Електрично поље у проводницима .....                      | 24 |
| 2.12 Електрични капацитет и кондензатори .....                 | 25 |
| 2.13 Диелектрик у електричном пољу .....                       | 26 |
| 2.14 Електричне појаве у атмосфери .....                       | 28 |
| 2.15 Електрицитет у свакодневном животу .....                  | 31 |
| 3. Демонстрациони огледи за наставну тему електростатика ..... | 33 |
| 3.1 Потребан прибор за извођење огледа .....                   | 33 |
| 3.2 Наелектрисање тела непосредним додиром .....               | 34 |
| 3.3 Две врсте електрицитета .....                              | 35 |
| 3.4 Проводници и изолатори .....                               | 38 |
| 3.5 Електрично поље и линије силе електричног поља .....       | 39 |
| 3.6 Распоред електрицитета на проводницима .....               | 43 |
| 3.7 Електрична инфлуенција .....                               | 44 |
| 3.8 Електрични капацитет и кондензатори .....                  | 47 |
| 3.9. Електричне појаве у атмосфери .....                       | 49 |
| 4. Тематска јединица електростатика .....                      | 52 |
| 4.1 Опште методичке напомене .....                             | 52 |
| 4.2 Наставне методе, облици и средства .....                   | 53 |
| 4.3 Структура и ток часа .....                                 | 53 |
| Закључак .....                                                 | 57 |
| Литература: .....                                              | 58 |
| Кратка биографија кандидата .....                              | 59 |
| KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....                      | 60 |
| KEY WORDS DOCUMENTATION .....                                  | 62 |

## Увод

Чудесан је свет у којем живимо. Саткан је од најразличитијих облика, изненађује нас разним појавама, опседа наша чула догађајима, открива сву лепоту различитости, а скрива пуно непознатог. Али човек поседује једно од највећих блага, записаног у генима, радозналост, тежњу за откривањем непознатог. Од својих првих дана човек је тежио да открије одакле води порекло, како је настао и зашто уопште постоји. Та најстарија човекова жеља, за сазнањем нечег новог, непознатог, тајновитог, навела га је на размишљање и проучавање не само настанака људске врсте, већ он иде још даље у прошлост у време настанка Земље, Сунца, Универзума. Али постоје и ситније честице, важније и од Сунца и од нас самих, честице од којих смо саздани и ми и Универзум и од чије стабилности зависимо. Све то што чулима осетимо и у мислима створимо својом имагинацијом називамо природа.

За природу кажемо да је састављена од материје која је својим непрекидним кретањем створила све за сада познато и непознато. За објашњавање познатог и откривање непознатог човек је развио разне науке. Једна од најопштијих наука за откривање и објашњавање тајни кретања материје је физика.

Данашња физика (φύσις, phusis: природа) почива на представи да је стварност која нас окружује материја у ширем смислу, независна од нашег знања о њој. Знање које ми стичемо о материји је одраз стварност-материја у нашој свести. Та се стварност стално мења и сви њени делови утичу једни на друге. Физика као фундаментална наука о природи проучава особине и понашање физичког система, објекта стварности, који се мисаоно могу издвојити из свеопште интеракције свега са свиме, и из своје околине. За описивање физичког система уводе се физичке величине, које имају име и симбол. Везе између физичких величина се изражавају математичким формулама, којима се представља правилност у понашању система и то је тада физички закон. Једном утврђен физички закон омогућује да се предвиди будуће понашање система.

Да би се дошло до физичког закона није довољно посматрати неку појаву која се дешава у природи. Поједине појаве у природи се ретко дешавају, неке кратко трају, а за неке су потребни посебни услови да би се догодиле. Све то отежава уочавање везе између физичких величина, а самим тим чини и немогућност доношење физичког закона. За објашњење и уочавање законитости код неке природне појаве уводи се оглед као најпоузданији разговор са природом. Због тога је оглед основни облик сазнања у науци и настави физике.

Између физике као науке, која се бави проучавањем основне форме материјалног кретања, и физике као наставног предмета мора да се повуче граница. Физика као наставни предмет тумачи проверене законе кретања материје на примерима из објективне стварности, према узрасту ученика и врсти школе. У настави је допуштено да се методички упрости садржај према психофизичком узрасту ученика, али то не сме да извитопери чињенице према физичким законима. Настава мора да садржи сва обележја научне вредности тј. настава физике мора да буде азбука физике као науке.

За испуњење овог свог задатка, настава физике мора да омогући ученицима различите облике стицања знања. Најважнији облици стицања знања у настави физике су вербалне информације, посматрање, огледи и решавање задатака.

У овом раду ће бити обрађени демонстрациони огледи који се изводе при обради наставне тематске јединице електростатика, која је у оквиру наставне теме електрицитет, као један од облика стицања знања у настави физике.

# 1. Оглед у настави физике

Физички оглед или експеримент, представља изазивање појаве која се проучава под нарочито подешеним условима, који се могу да се контролшу и мењају, а који су најподеснији за њено посматрање и проучавање. Значај огледа у настави физике је и у томе што се при његовом извођењу учи и навикава да се из посматраних појава издвајају најбитнија, суштинска обележја. Карактер експеримента и методика његове примене морају да садрже у себи и неке посебне квалитете. Они морају да буду повезани са опште-техничким и свестраним развојем интереса и активности ученика. Данас у настави физике оглед има следеће облике:

- Демонстрациони оглед
- Фронталне лабораторијске вежбе
- Физички практикум

## 1.1 Демонстрациони оглед

Основно средство очигледности у настави физике је физички наставни оглед. Демонстрацију огледа у настави физике не треба сматрати као допуну усменог излагања градива већ као његов нераздвојни органски део. Демонстрациони оглед углавном изводи наставник, а једновремено га посматрају сви ученици разреда. У извођење демонстрационих огледа, поред наставника, потребно је да буду укључени и ученици. Сврха демонстрационог огледа је у томе да се формира један облик формалног мишљења, који се назива експериментално мишљење, тј. мишљење које се среће при извођењу експеримената када треба да се открије све оно што може да утиче на неку појаву и што доводи до неке појаве. Чињеница је да су ученици 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 воле оно што је у покрету него што је статично. Зато демонстрациони огледи чине наставу занимљивијом и интересантнијом.

Демонстрациони оглед се примењује у оним случајевима када наставник мора активно да усмерава ток мисли ученика при објашњавању неке појаве или закона физике. Демонстрација огледа је активан процес који је увек усмерен активном циљу. Демонстрирајући појаву наставник руководи чулима и перцепцијама ученика и на основу њих формира појмове и убеђења. Демонстрирање огледа се увек комбинује са излагањем, што је неопходан услов за успешно формирање појмова о физичкој појави која се приказује огледом.

Демонстрациони оглед се углавном примењује при излагању новог градива методом причања, објашњавања или дијалошким методом. Циљеви демонстрационог огледа могу да буду различити:

- Посматрање физичке појаве коју треба проучити на датом часу.
- „Откривање” неког закона физике или илустрација закона до кога се дошло теоријским путем или на други начин.
- Упознавање ученика са практичном применом неке појаве или закона.
- Упознавање ученика са методама извођења огледа.

Посебно место имају огледи на основу којих се формирају најважнији појмови у физици или огледи на основу којих се долази до објашњења суштине неког закона или неке теорије у физици. Значајну улогу у настави физике имају огледи који имају за циљ

објашњење принципа рада неког техничког уређаја или апарата као и објашњење физичке суштине неког технолошког процеса.

Један од основних задатака демонстрирања огледа је показивање физичке појаве с квалитативне стране, али то не значи да треба сасвим изоловати квантитативно одређивање или мерење величине карактеристичне за појаву која се посматра и проучава. Напротив, кад год је могуће треба вршити квантитативну анализу појаве. Демонстрирање огледа на часовима наставе физике има педагошки значај само онда ако је очигледно и убедљиво изведен и кад код ученика изазива утисак на који је наставник рачунао.

Основни методолошки захтеви за демонстрирање огледа су следећи:

- добра видљивост,
- сигурно извођење,
- беспрекоран рад уређаја или апарата,
- доступан узрасту ученика
- органски повезан са наставним градивом.

Поред тога, оглед не треба да траје сувише дуго, мора да има васпитно и естетско дејство, научну тачност и мора да буде убедљив.

Демонстрациони огледи треба да се изводе и на часовима утврђивања градива, а потребно је тежити да одређени оглед изводе по могућности сви ученици нарочито ако је једноставан за извођење и не захтева компликовану апаратуру. На овај начин се ученици навикавају на самосталност у раду и ослобађају се страха од непознатог.

Због свега наведеног демонстрациони оглед има огроман значај у настави физике, представља основу за усвајање појмова и представља очигледну методу за стицање нових знања из физике.

## 2. Електрицитет

Савремена цивилизација, наш савремени живот, наше окружење, базира се на енергији која се добија од електрицитета и на могућностима његовог коришћења. Ову енергију користимо за осветљавање како би продужили дан, користимо је ради замене људског рада како би нам живот био лакши, користимо је у сврхе телекомуникација како би се међусобно лакше споразумевали, један другом приближили и међусобно се боље упознали. Али од када је тако?

### 2.1. Развој науке о електрицитету

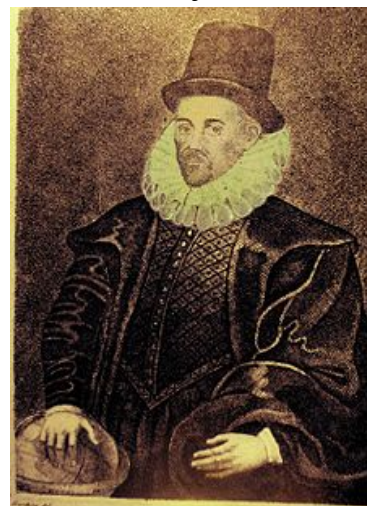
Још у далеко време пре наше ере, док су лепе гркиње чистиле свој накит од ћилибара, примећено је својство које је поседовала ова окамењена смола (Сл.2.1-1), да привлачи ситне предмете, влакна тканине, сламу, перје итд. Такође су биле познате појаве, старије и од човека, као што су муња, гром, способност извесних риба да производе електричне шокове. За ове појаве заинтересовао се грчки филозоф Талес из Милета, који је живео 600. године пре наше ере, али није их повезао и није могао да их објасни. Ову тајанственост живахна машта старих грка приписивала је неким надземаљским узроцима и удахнула је ћилибару живот и душу, а неке појаве су различито тумачили и приписивали свецима и боговима.



Слика 2.1 – 1  
Ћилибар

Из ових времена потиче и име за електрицитет јер „електор” је грчка реч за Сунце. Касније су Грци од те речи прешли на „електрон”, назив за ћилибар који својом бојом заједно са златом подсећа на Сунце.

Ове појаве су биле познате, али нико се није заинтересовао да их објасни више од 2000 година. Тек Џилберт (William Gilbert, 1544 – 1603.) саопштава важно откриће да постоје многа тела која се трењем могу наелектрисати као што су стакло, вуна, сумпор, драго камење итд. Те супстанце Џилберт назива електричним. Такође каже: *„Наелектрисана тела не привлаче само сламчице и плеву, већ све метале, дрво, листове, камење, земљу чак и воду и уље. Укратко, све ствари које делују на наша чула или су чврсте. Привлаче се не само природни предмети већ ствари вештачки спремљене”*. За испитивање Џилберт конструира први електроскоп-версоријум, *„ротирајућу иглу од, ма каквог метала, 3-4 прста дугу и постављену на оштар врх слично магнетној игли”*. После тога он је могао да наброји основне разлике између електрицитета и магнетизма. Магнет је само једна супстанца, а електрична тела су бројна; магнет не треба да се трљају, а њих треба. Магнет привлачи само гвожђе, а они све.



Слика 2.1 - 2  
William Gilbert

Поред тога што наелектрисана тела привлаче разне предмете, Италијан Кабео (Nicolo Cabeo 1585 – 1650.) уочава одбијање наелектрисаних тела, али му је то било неприхватљиво јер је сматрао да свако тело може да има само једно природно кретање.

Немачки научник Герике (Oto von Guericke 1602 – 1686.) доприноси развоју науке о електрицитету израдом најпростије електростатичке машине која је била претеча за каснију израду савршенијих машина. Она се састојала од сумпорне кугле „велике као дечија глава” набијене на штап и посађене на носач. Ако се штап врти и рука држи на ротирајућој кугли, на њеној површини се нагомилава електрицитет. То је омогућило да се у лабораторијским условима добију веће количине електрицитета. *„Сумпорна лопта не само да привлачи, него затим одбија мала тела (због њихове различите природе) и више их не привлачи док не дотакне неко друго тело. Једно меко перо (које је било привучено на одбијено сумпорном лоптом) шири се како у ваздуху тако и на лопти и држи се као да је живо. Све што је поред њега оно или привлачи, или ако нема за то снаге, само се њему придружује. Део или страна пера које је било једном привучено на одбијено лоптом увек се окреће према њој, све док остаје у њеној сфери дејства. Ако је перо на глобусу почело да шири своје власти и примакне му се прст или нешто друго, оно лети према њему, затим се враћа лопти, и тако чини више пута, али ако му се приближи конач, све његове власти се приљубе лопти и дуго на њој остају као мртве, све док се поново не исправе и рашире. Ако се спусти до лопте ланени конач обешен изнад ње и ако се покуша дотаћи прстом или нечим другим он се удаљава и не прима контакт. Лопта поприма звучне особине јер када се држи чврсто у руци и примакне уху, чује се шуштање и пуцкетање. Ако се лопта однесе у замрачену собу и трља врућом руком, нарочито ноћу, она светли као шећер кад се мрви”*. Штета је што ово остаје на најнижем нивоу запажања, тако да оно што је он објавио 1672. године остаје пола века незапажено.

За откриће да електрицитет може да се креће од једног тела до другог заслужан је Греј (Stephen Greu, 1670 – 1736.), као и за друге појаве. Греј експериментира са стакленом цеви, која је око метар дуга и 2.5 cm широка, а зачепљена на оба краја чепом од плуте. Током три године Греј долази до следећих открића: Проводљивост тела - Греј веша једно дете у хоризонтални положај помоћу врпце направљене од коњске длаке и када му дотакне ноге истрљаним стаклом, фолије примакнуте глави бивају привучене чак на удаљеност од 20 cm. У другом експерименту ставља једно дете на колач од смоле а друго на други колач и веже их канапом. Показује како електрицитет прелази са једног детета на друго. То су прва јавна наелектрисања човека. Проводљивост воде - Приликом експериментисања у стаји запажа да је ујутру преношење електрицитета слабије него предвече. Ову разлику у провођењу је приписао влази. Касније је наелектрисао посуду пуну воде постављену на стаклу. Индуковано наелектрисање - Када се комад олова обеси канапом за плафон и канап приближи натрљаној стакленој цеви не дотичући га, олово привлачи а затим одбија струготину од месинга. Тако се електрична особина може пренети без контакта са цеви на проводну жицу. Површинска наелектрисања - Греј узима две коцке од храстовине исте величине - једну шупљу а другу пуну. Када их наелектрише констатује да је наелектрисање исто и закључује да оно не зависи од запремине већ од површине. Моћ шиљака - Греј је наелектрисањем зашиљених проводника установио да се преко њих губи електрицитет. Такође је установљена разлика између зашиљених и тупих проводника. *„Када се тупи предмети принесу наелектрисаном телу он празни електрицитет нечујно и полако, а на зашиљен одвод, варница скаче”*. Ова истраживања започета су 1729. и објављена 1731. и 1732. године.

Шарл Дифе се непосредно надовезује на радове Греја. 1734 и 1735. године подноси 6 својих радова академији које допуњује са још два саопштења. Налази да се сва тела могу наелектрисати. Метали, течности и мека тела не могу да се наелектришу трљањем, али то се постиже приношењем неког већег наелектрисаног тела. Разлику између две врсте тела



Дифе дефинише овако: „Тела која су мање подобна да постану електрична сама од себе трљањем, јесу она која су лакше привучена и која даље и обилније преносе електричну материју, и мање су подобна да прихвате туђи електрицитет и преносе га на веће удаљености.” Када се неко тело наелектрише онда се његови делови, уколико су довољно лаки, међусобно одбијају. Дифе мери разлике у степену наелектрисања разних тела. На једну жицу причврсти по неколико конаца од свиле, памука, вуне и лана. Приносећи им наелектрисану цев констатује да се највише раздвајају конци лана затим памука и свиле, а најмање вуне. До идеје о две врсте електрицитета долази постављајући питање које нико други није поставио: „Наелектрисана тела се одбијају од оних која су их наелектрисала, али да ли ће их одбијати и остала тела разних врста?” Налази да се златни листић наелектрише и одбија стаклом, али га привлаче смоласти материјали и обрнуто. То га је навело на мисао да можда постоје две различите врсте електрицитета. „Дакле, две врсте електрицитета добро доказано којима нисам могао да не дам различита имена. Један ћу назвати тачкасти а други смоласти”. Важна је симетричност одбијања: „С једне стране имамо проводна и чврста тела као стакло, кристал, а са друге битуминозна и смоласта као ћилибар, туткало, печатни восак. Једна и друга одбијају тела која су примила електрицитет исте природе као што је њихов, а привлаче, насупрот томе тела, чији је електрицитет супротан њиховом.” Дифеови радови су објављени 1734. године у часопису Краљевског друштва у Лондону.

До истих закључка дошао је доста касније 1759 Енглез Роберт Симер. члан енглеског краљевског друштва.

Даље проучавање електрицитета доводи до усавршавања електричних машина и њиховог развоја, прво у Немачкој 1743. године, а затим 1745. у Енглеској и Француској. Развојем електричних машина долази и до открића апарата за складиштење електрицитета (кондензатора). Прва таква справа названа Лајденска боца откривена је независно у исто време у Немачкој и Холандији од стране фон Клајста (Ewald von Kliest 1700 – 1748.) и Мушенбрука (Piter van Mussenbroeck 1692-1761.). Мушенбрук, професор физике у Лајдену почео је своје проучавање од питања, да ли ће се електрицитет мање губити у затвореној вази него на слободном ваздуху. Веровао је да ће вода много боље да се наелектрише ако се стави у стаклену боцу. То проба, али не добија жељене резултате. Један аматер из Лајдена, по имену Кинеуз, који је присуствовао опиту, поновио га је уз једну ненамерну измену: у боци коју је држао у руци налазила се метална жица која је допирала до проводника машине. Када је удаљио боцу од проводника и другом руком ухватио жицу осетио је јак удар. Назив Лајденска боца дао је опат Ноле. Када је дошло до ових открића нико није знао о чему је реч. Прво се мислило да је електрицитет напуњен у запремини течности. Тако је пронађено оно што ће касније да буде названо кондензатором.

За објашњење електричних појава у атмосфери најзаслужнији је Френклин (Benjamin Frenklin 1706 – 1790.) који је повезао благост ћилибарове душе и стравични прасак муње и грома. У писму које шаље у Енглеску свом пријатељу Колинесу, Франклин за електрицитет развија модел једног електричног флуида:

- Електрични материјал се састоји од врло суптилних честица које могу да продру у обичну материју, чак и у најгушће метале, са таквом лакоћом и слободом да не трпе никакав приметан отпор.
- Оно што разликује електричну материју од обичне материје јесте то, да се честице ове последње



Слика 2.1 – 3  
Benjamin Frenklin

међусобно привлаче док се честице електричне материје међусобно одбијају.

- Иако се честице електричне материје међусобно одбијају, њих јако привлачи свака друга материја.
- Ако се нека количина електричне материје саопшти обичној материји, она ће одмах и укупно да се расподели по целини.
- Обичан материјал је као нека врста сунђера за електрични флуид.
- Када тело има вишак електричног флуида, оно је позитивно наелектрисано а у случају мањка, негативно.
- Сва тела не привлаче нити задржавају електрични флуид истом јачином.

На идеју громобрана Франклин долази постепено кроз лабораторијске опите са шиљцима. Франклин има два предлога:

Први предлог:

*"На врху неког торња треба ставити неку врсту стражарске кућице довољно велику да у њу стане човек и електрични сточић. На сточић поставити железни штап који се изводи напоље и управља вертикално, тако да је 20 до 30 стопа висок и зашиљен на врху. Ако је сточић чист и сув човек може, када ниско пролазе облаци да се електри."*

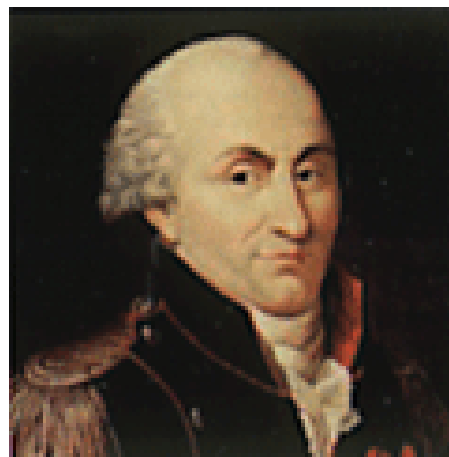
Други предлог:

*„Ако тако стоје ствари, зар не би могло познавање моћи шиљкова да послужи човечанству у чувању кућа од удара муње тако што би причврстили на највишим деловима зграде усправљене железне штапове, зашиљене као игла и позлаћене да се спречи рђање. Са њиховог доњег краја треба поставити жицу дуж високог зида до земље или ако је брод од воде. Ови шиљкови неће по свој прилици мирно извлачити ватру из облака, пре него што она постане довољна за удар и тако нас заштити од изненадне и страшне опасности. (громобран). Франклин постаје славан пре него што сазнаје да му је експеримент изведен у Европи.*

Годину дана касније руски физичар Рихман (Георг Вилхелм Рихман 1711 – 1753.) изводио је сличне експерименте, али је том приликом погинуо од удара грома.

Како је установљено да постоје две врсте наелектрисања, позитивно и негативно, што условљава привлачење и одбијање наелектрисаних тела Кулон (Charles Augustin Koulon 1736-1860.) је својим радовима дао општи закон међусобног деловања наелектрисаних тела на неком растојању. Овај закон је установио помоћу прецизне торзион ваге, којом могу да се мере веома мале силе. Ова вага је добила име по њему - Кулонова торзиона вага.

Проналаском батерије за чување електрицитета, од Италијана Волте (Alessandro Volta 1745-1827.) даљи радови у области електрицитета су били усмерени на његово кретање кроз проводник и везу са магнетним појавама тј. установљени су закони електромагнетизма радовима Кристијана Ерстеда (Christian Oersted, 1777-1851.), Андре-Мари Ампера (Andre-Marie Ampere, 1775-1836.) Мајкл Фарадеја (Michael Faraday, 1791-1867.), Попова (Алекса́ндр Степа́нович Попо́в 1859 – 1905.), Ома (Georg Simon Ohm 1787 – 1854.), и Максвела (James Clerk Maxwell 1831-1879.).



Slika 2.1 – 4  
Charles Augustin Koulon

Максвел је засновао и развио теорију електромагнетног поља ослањајући се на Фарадејеве проналаске и радове осталих физичара који су открили многе законитости електричних појава. Сви ти закони електрицитета и магнетизма откривени су пре сазнања о носиоцу наелектрисања и о електричној структури супстанције. Ти закони у првобитном облику важе и данас, иако им је објашњење другачије него онда.

## 2.2 Електрична структура супстанције

Утврђено је да је структура супстанције електричне природе, односно да се сваки атом састоји од позитивно наелектрисаног језгра и негативно наелектрисаног омотача. Користећи експерименталне методе и сазнања о разним зрачењима, J. J. Томсон (Joseph John Thomson 1856 – 1940.) и његови ученици, су открили 1897. године електрон као фундаменталну количину електрицитета проучавајући наелектрисање јона гасова. То је наелектрисана честица која се налази у омотачу сваког атома. С обзиром на то да су јони и наелектрисани материјали и зрачења увелико проучавани, тој честици је још 1894. године Стони (George Johnstone Stoney 1826 – 1911.) дао назив електрон што је и усвојено.

Тако је непобитно откривена веза између електрицитета и структуре супстанције и до данас наелектрисање електрона претставља најмање наелектрисање и назива се елементарно наелектрисање. Убрзо се показало да су сва наелектрисања цели умношци наелектрисања једног електрона или протона.

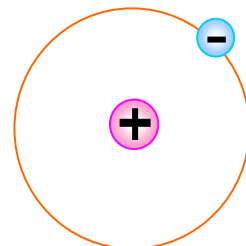
На разне начине, експериментално и теоријски, утврђено је да је пречник атома око  $10^{-10}$  m, а пречник језгра  $10^{-14}$  m, или око десет хиљада пута мањи од пречника атома.

По свом саставу најједноставнији је атом водоника који је први елемент у периодном систему елемената. Језгро атома водоника састоји се од једне честице која се назива протон. Тај назив предложио је Радефорд (Ernest Rutherford 1871-1937.), 1920. године. Протон је позитивно наелектрисана честица која поседује такође елементарно наелектрисање као и електрон, али са масом око две хиљаде пута већом од електрона:

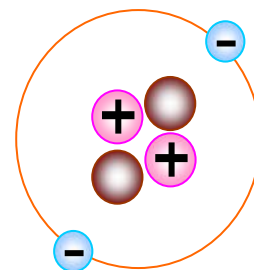
$$m_p = 1836,5 m_e$$

где је  $m_p$  – маса протона,  $m_e$  – маса електрона. Атом водоника у омотачу садржи само један електрон. Тако у атому негативно наелектрисање представљају електрони, а позитивно протони. Такође је откривена честица која има исту масу као и електрон, али позитивно наелектрисање, а названа је позитрон. Електрон и позитрон могу да се сматрају као честица и античестица, јер имају исту масу али наелектрисања су супротног знака. Позитрони нису саставни део атома. Они настају заједно са електроном у специјалним условима и брзо се трансформишу у друге облике.

После водоника, по свом саставу, најједноставнији је атом хелијума који се налази на другом месту у периодном систему елемената. Атом хелијума садржи два електрона. Према томе атом хелијума има два протона, међутим маса хелијума је око четири пута већа од масе атома водоника. Истраживања су показала да се поред протона, као саставни делови у језгру атома налазе и неутрони. Неутрон је откривен тек 1932. године од стране енглеског физичара Чедвика (James Chadwick 1891-1974.). Маса неутрона је приближно једнака маси протона ( $1839 m_e$ ). Неутрон је у електричном смислу



Слика 2.2 – 1  
Модел атома  
водоника



Слика 2.2 – 2  
Модел атома  
хелијума

неутралан. Тако језгро хелијума садржи поред два протона и два неутрона, па му је због тога маса већа четири пута од масе језгра водоника.

Хемијске особине елемената зависе од спољашњег електронског слоја у омотачу, а број електрона у електрично неутралном атому одговара његовом редном броју у периодном систему елемената. Када се један електронски слој попуни, при даљем повећању отпочиње формирање следећег слоја, па се хемијске особине елемената унеколико понављају, што одговара периодама у периодном систему елемената. Тако идући даље у периодном систему елемената, атоми постају све сложенији, а број честица постаје све већи. Најсложенији атоми, према томе, припадају елементима на крају периодног система код којих број честица прелази три стотине.

Међу протонима и електронима јављају се привлачне електричне силе које су по извесним особинама сличне гравитационим. Но овде се још јављају и одбојне силе које се не јављају код гравитације, по чему се електричне силе битно разликују од гравитационих. При томе важи да се две истоимене врсте електрицитета одбијају, а разноимене привлаче. Електрицитет према томе има поларну природу тј. постоје два пола односно две врсте електрицитета које показују супротна дејства. Усвојено је да се једна врста означава са  $+$ , а друга са  $-$ . Електрицитет електрона се сматра негативним, а протона позитивним. Таква подела усвојена је давно пре открића електрона и протона, па је због практичности задржана уз нова схватања.

Стабилност атома објаснила је квантна физика уводећи постулате за кретање електрона око језгра. Боровим (Nils Henrik Dejvid Bor 1885 – 1962) постулатима и увођењем квантних бројева за описивање стања атома, развио се сасвим нови поглед на структуру материје.

## 2.3 Количина електрицитета

При посматрању елементарних особина електрицитета могу се одмах уочити градијације у наелектрисању тела. То може лако да се уочи на разне начине. Ако се посматра таква појава помоћу електрометра. Ако се наелектрисаним телом дотакне плочица електрометра, електрицитет ће прећи на статичну плочицу и покретну плочицу и показати неки отклон услед одбијања исте врсте електрицитета. Ако се описани процес наелектрисавања понови неколико пута може да се установи да ће при сваком наелектрисавању покретна плочица заузимати све виши положај. Описана појава на електрометру наводи на закључак да и код наелектрисавања тела постоји једна величина која је аналогна са количином неког флуида, који се са малом посудом пребацује у већу. Ова величина назива се количина електрицитета. Многе електричне појаве могу једноставно да се тумаче ако се усвоји количина електрицитета као једна од основних величина код електричних појава. Оваква квантитативна мера за наелектрисање обележава се са  $q$ . Са гледишта дискретне структуре електрицитета, количина електрицитета  $q$  се тумачи бројем елементарних наелектрисања која се налазе на телу, а нису неутралисана супротно наелектрисаним честицама. Према таквом схватању свака количина електрицитета је цели умножак елементарне количине електрицитета  $e$ . Мања количина електрицитета до сада није позната, тако да је:

$$q = n \cdot e$$

где је  $q$  нека количина електрицитета,  $e$  елементарна количина електрицитета, а  $n$  цео број.

Ако један атом садржи један или неколико електрона мање или више него у неутралном стању, онда је такав атом позитивно или негативно наелектрисан. У таквом стању атом се назива јон. Према томе, тамо где постоји негативно наелектрисање јасно је да је настао вишак електрона у поређењу са неутралним стањем, а где постоји позитивно

наелектрисање ту је мањак електрона. Количину електрицитета карактерише описано стање супстанције и таква величина се назива наелектрисање. Јединица количине електрицитета је кулон обележава се са С.

$$1 \text{ C} = 6,22 \cdot 10^{18} e$$

значи један кулон има око шест трилиона елементарних наелектрисања. Према томе елементарна количина електрицитета  $e$  има наелектрисање:

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

## 2.4 Наелектрисање трењем и додиром

Тек је у седамнаестом веку, када су се људи заинтересовали за електричне појаве, утврђено да свако тело може да се наелектрише и да се при том јављају две врсте наелектрисања, чија су дејства супротна и који могу да се међусобно неутралишу. Тада је установљено гледиште да су сва тела у нормалном стању електрични неутрална, а да се она могу наелектрисати трењем или другим поступком, тако да се јавља једна или друга врста електрицитета. Конвенционално је усвојено да електрицитет који се добије кад се стаклена шипка протрља свиленом тканином назове позитиван електрицитет, а негативним електрицитетом супротна врста која се добије кад се штап од ебонита протрља крзном. Такође је утврђено да се неко неутрално тело може наелектрисати ако се додирне телом које је већ наелектрисано. Ово показује да електрицитет може прелезити са тела на тело. Из тих разлога се у почетку развоја науке о електрицитету сматрало да је електрицитет нека врста флуида која прелази са тела на тело. Поред ових, установљена је и чињеница да електрицитет пролази кроз нека тела. Међу њима на првом месту спадају метали, док је код других тела пролаз електрицитета незнатан. Прва тела су названа проводници, а друга изолатори.

У нормалном стању код електрично неутралног тела су уравнотежене позитивне и негативне количине електрицитета и њихова се дејства неутралишу, односно тела која су ненаелектрисана садрже исту количину позитивног и негативног електрицитета. Ако се ова равнотежа поремети онда ће тела садржати мањи или већи број електрона од нормалног односно биће позитивно или негативно наелектрисана. Како се у телима обично крећу електрони, као носиоци наелектрисања, то се наелектрисање тела обично тумачи вишком или мањком електрона. Наелектрисавање тела се објашњава једноставно преласком електрона са тела на тело, било да се она наелектришу трењем или додиром. При обичном додиру различитих тела изванредан број електрона пређе са једног тела на друго. У ком ће се смеру извршити прелаз зависи од природе тела. Трењем се даје много већа могућност преласка електрона, те се тела далеко више наелектришу. Наелектрисања тела при обичном додиру су стога незнатна према наелектрисању трењем те овако мала наелектрисања нису била одмах примећена па се сматрало да се тела наелектрисавају само трењем. Тела кроз која електрони могу лако да се крећу, као што је то случај код метала, претстављају проводнике, док су изолатори тела кроз која се електрони веома слабо крећу. У овом погледу може да се говори само о лакшем или тежем кретању електрона кроз тела те постоје само бољи и лошији проводници јер потпуни изолатори нити идеални проводници не постоје.

Материјали као што су силицијум и германијум се сматрају полупроводницима. Полупроводници су материјали који имају својства проводника и својства изолатора. У зависности под којим условима се налазе и од примеса односно нечистоћа у њима, зависи да ли ће се понашати као проводници или као изолатори. Они данас имају огромну примену у савременој техници захваљујући овим особинама.

## 2.5 Узајамно дејство наелектрисаних тела

Силе које се јављају међу наелектрисаним телима биле су прве познате појаве везане за електрицитет. Већ код огледа са ћилибаром уочене су електростатичке силе. Оне су зато и биле први предмет детаљних испитивања електричних појава. Кулон је 1785. године испитивао природу ових сила помоћу осетљиве торзионе ваге. При томе је могао да мери силу између два мала наелектрисана тела мењајућу њихово међусобно растојање и количину електрицитета на њима. Количине електрицитета је могао да мења на тај начин што је наелектрисану куглицу додирнуо са ненаелектрисаном куглицом истих димензија. На тај начин је количина електрицитета на обе куглице била половина почетног наелектрисуња. Разелектривањем једне куглице и поновним додиривањем са наелектрисаном куглицом наелектрисуње се смањује на четвртину, осмину итд. На тај начин је установио закон који се по њему зове Кулонов закон за електростатичке силе. Тај закон гласи: међу два наелектрисана тела делује сила која је сразмерна количинама електрицитета на тим телима, а обрнуто сразмерна квадрату њиховог међусобног растојања. Ако са  $q_1$  и  $q_2$  означимо количине електрицитета на првом и другом телу, а са  $r$  њихово међусобно растојање, онда овај закон има облик

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

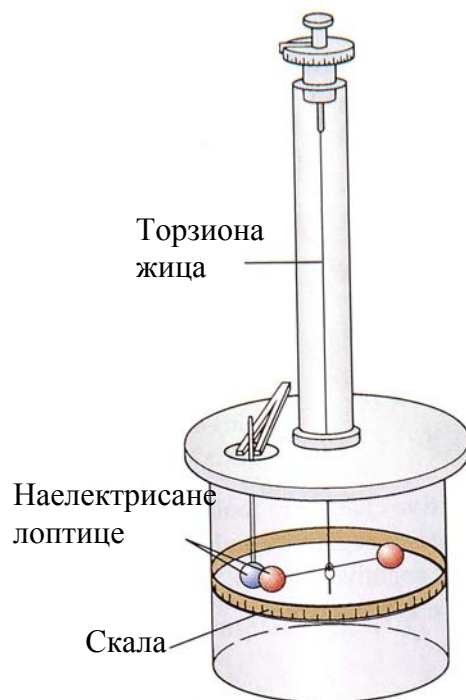
где је  $\epsilon_0$  електрична пропустљивост, а такође се још назива диелектрична константа. У векторском облику овај закон има облик:

$$\vec{F} = \pm \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^3} \cdot \vec{r}_0$$

Овај закон важи за наелектрисуња чије су димензије мале у односу на њихово међусобно растојање. Карактеристични примери за оваква „тачкаста” наелектрисуња тела су електрони и протони.

## 2.6 Електрично поље

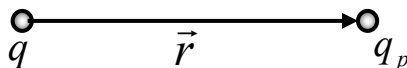
Наелектрисано тело проузрокује промену у околном простору. Оно изазива специјално физичко поље које се назива електрично поље. Као и остала физичка поља, оно дејствује одређеним силама на ону врсту квантума која то поље изазива. Наиме, електрично поље настаје око количине електрицитета, па се дејство тог поља манифестује на неку другу количину електрицитета. Природа електричног поља, као и сваког физичког поља још није сасвим јасна. То је свакако један од облика кретања материје. Није искључено да се ради о специјалним честицама које наелектрисано тело емитује у околни простор вршећи промену кретања честица те околне средине.



Слика 2.5 – 1  
Кулонова торзиона вага



За констатовање електричног поља и његовог дејства на наелектрисана тела може да се посматра најпростији случај тачкасте количине електрицитета. Нека је  $q$  количина електрицитета која изазива електрично поље. То поље се констатује дејством на другу количину електрицитета. Зато се у то поље унесе количина електрицитета  $q_p$ , која се назива пробна количина електрицитета. Обично је  $q_p$  мало у односу на  $q$ , али то не мора да буде. Са своје стране и количина електрицитета  $q_p$  изазива своје електрично поље које дејствује на количину  $q$ . Главно је да то ново поље не измени у великој мери првобитно поље наелектрисања  $q$ . Али кад се констатује и проучава узајамно дејство, онда треба имати у виду да се претпоставља да сопствено поље не може да дејствује на количину електрицитета која га изазива.



Слика 2.6 – 1

Узајамно дејство наелектрисања

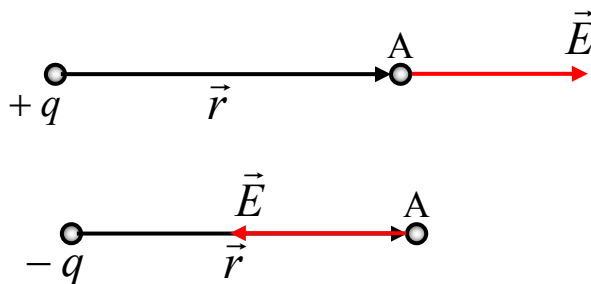
Нека су  $q$  и  $q_p$  тачкасте количине електрицитета на растојању  $r$  (слика 2.6 – 1). Тада је електростатичка сила њиховог узајамног дејства

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q_p}{r^2}.$$

Види се да та сила зависи и од пробне количине електрицитета  $q_p$ . Зависност је линеарна јер је  $q_p$  на првом степену. То показује да количник силе и пробне количине електрицитета није више функција од  $q_p$ , него само од растојања и средине. Према томе овај количник карактерише електрично поље количине наелектрисања  $q$  па се назива јачина електричног поља. Означава се са  $\vec{E}$  тако да је

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_p} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \vec{r}_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}.$$

Ова величина представља електрично поље количине електрицитета  $q$  без обзира каквом се количином електрицитета  $q_p$  констатује. То је векторска величина оријентисана као и вектор  $\vec{r}$  ако је  $q$  позитивно, а супротно вектору  $\vec{r}$  ако је  $q$  негативно (слика 2.6–2)



Слика 2.6 – 2.

Правац и смер електричног поља за  $+q$  и  $-q$

Поље у ма којој тачки А има правац радијус вектора повученог од места где се налази  $q$  према тачки А. За поље позитивне количине електрицитета вектор  $\vec{E}$  је оријентисан од

„извора” поља, а за поље негативне количине електрицитета оријентисан је ка количини електрицитета која изазива поље.

По својој бројној вредности електрично поље  $\vec{E}$  једнако је интензитету електростатичке силе која дејствује на јединицу пробне количине електрицитета, али то не значи да је јачина поља сила по јединици количине електрицитета, јер је  $\vec{E}$  количник силе и количине електрицитета односно то је нова физичка величина.

Апсолутна вредност јачине електричног поља тачкастог наелектрисања  $q$  на растојању  $r$  износи:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}.$$

Смер електростатичке силе у пољу  $\vec{E}$  зависи од тога да ли је  $q_p$  позитивно или негативно, јер је:

$$\vec{F} = q_p \vec{E}.$$

Или уопште, ако се у електричном пољу  $\vec{E}$  налази нека количина електрицитета  $q$ , онда на њу делује сила:

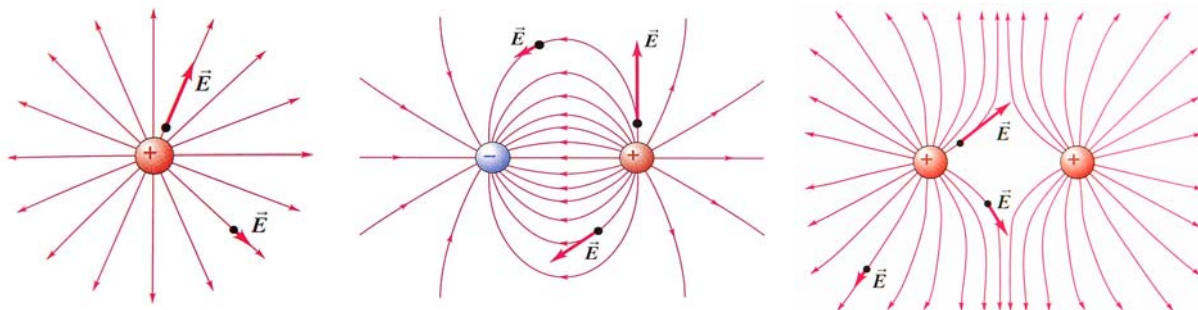
$$\vec{F} = q\vec{E}.$$

Јединица за јачину електричног поља је:

$$E = \frac{F}{q} = \left[ \frac{\text{N}}{\text{C}} \right] = \frac{\text{Њутн}}{\text{Кулон}}$$

Правац и интензитет електричног поља зависи од облика наелектрисаног тела и од распореда околних тела. У општем случају електрично поље може да има врло сложен распоред у простору. Са друге стране електрично поље се формира и у безваздушном простору у коме нема визуелних појава односно појава које би биле приступачне директном посматрању. Услед тога било је неопходно увести симболичко представљање поља помоћу линија силе.

Линијама силе електричног поља претставља се правац електричног поља, односно куда би се кретало наелектрисано тело у електричном пољу. Према договору је усвојено да смер линије силе буде од + пола ка – полу (слика 2.6 – 3). У свакој тачки електричног



Слика 2.6 – 3

Правац и смер линија силе електричног поља

поља може да се повуче линија силе. Према томе у електричном пољу може да се повуче произвољно много линија силе. Међутим, мноштво линија сила практички није подесно,

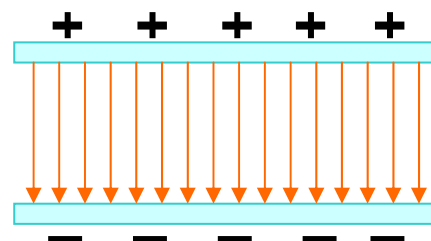


те се обично узима да је број линија сила на јединици површине једнак бројној вредности јачине електричног поља  $\vec{E}$ . Тако се узима да на месту где је јачина поља једнака јединици, једна линија силе пролази кроз јединицу површине која стоји управно на правцу вектора  $\vec{E}$ . Тада број линија силе које пролазе кроз јединицу управне површине представља уједно и јачину поља. На тај начин се јачина поља представља графичким путем. Густина линија сила ће према томе бити већа тамо где је и јачина поља већа.

На основу природе и понашања електричног поља може да се закључи да се линије силе никад не завршавају у простору односно на месту без негативне количине електрицитетa. Оне увек полазе са позитивно наелектрисаног тела, а завршавају се на негативно наелектрисаном телу. У електричном пољу линије силе се међусобно никад не секу, нити граде петље тј. не пролазе никад поново кроз исту тачку.

Постојање неког наелектрисуања  $q$  условљено је увек постојањем истог толиког наелектрисуања супротног знака. Међутим, ово друго наелектрисуање се често занемарује посматрајући само једно усамљено наелектрисано тело. Еквивалентно наелектрисуање супротног знака се онда налази у околним телима. Ако се, на пример, усамљено наелектрисано тело налази у соби, онда може да се установи да се исто толико наелектрисуање супротног знака налази распоређено у околним предметима, зидовима, плафону, намештају итд. Кад су околна тела релативно далеко онда се њихово присуство не мора да се узме у обзир јер они неће битно мењати распоред линија силе електричног поља у непосредној околини наелектрисаног тела које се посматра.

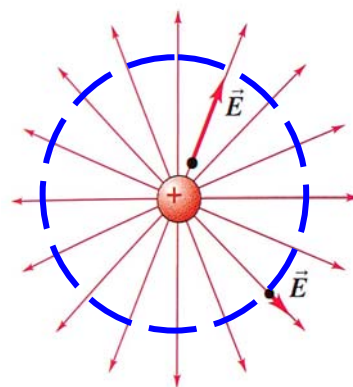
Електрично поље које у свакој тачки има исту јачину и правац назива се хомогено поље. У таквом хомогеном пољу линије силе су паралелне праве на једнаким међусобним растојањима (слика 2.6 – 4). Овакво хомогено електрично поље се образује у средишњем делу између два паралелна проводника који су наелектрисани једнаким али супротним количинама електрицитетa.



Слика 2.6 – 4  
Хомогено електрично поље

## 2.7 Електрични флукс

Број линија силе које полазе од неког наелектрисаног тела пропорционалан је количини електрицитетa  $q$  на том телу. То је један од основних ставова при третирању електричних појава. Константа пропорционалности зависи од средине у којој се тело налази. Нека се у центру сферне површине (слика 2.7 – 1) полупречника  $r$  налази тачкасто наелектрисуање  $q$ . Број линија силе  $\psi$  које пролазе кроз ову површину може да се нађе према усвојеном начину визуелног представљања линије силе. На месту где је интензитет електричног поља  $E$  кроз јединицу управне површине пролази  $E$ , линија силе. Интензитет поља у свим тачкама сферне површине имаће исту вредност јер се свака тачка сферне површине налази на истом растојању  $r$  од тачкастог наелектрисуања  $q$ . Кад се ради о усамљеној количини електрицитетa  $q$  онда линије силе иду радијално



Слика 2.7 – 1  
Линије силе кроз сферну површину

од наелектрисања и стоје нормално на сферној површини. Тада се укупан број линија силе  $\psi$  које пролазе кроз површину сфере добија множењем ове површине са интензитетом поља:

$$\psi = E \cdot S = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot 4r^2\pi$$

$$\psi = \frac{q}{\epsilon_0}$$

значи да је број линија силе пропорционалан количини електрицитета  $q$ .

Међутим, овако једноставно одређивање броја линија силе може да се спроведе само ако линије силе пролазе нормално кроз површину, а интензитет поља има сталну вредност. У општем случају линије силе могу да пролазе кроз неку површину под било којим углом који се мења од тачке до тачке, а и интензитет поља може имати различите вредности у разним тачкама површине, која може да буде ма каквог облика.

Кад је површина било каквог облика и кад интензитет поља има различите вредности у разним тачкама површине, уводи се појам флукса. Ако је  $S$  ма каква крива површина (слика 2.7 – 2) кроз коју пролазе електричне линије силе и ако је  $\Delta S_i$  ма који мали елеменат те површине који може да се претстави вектором  $\vec{\Delta S}_i$  који је нормалан на ту површину и има интензитет који одговара вредности елемента  $\Delta S_i$ . Тада на тако малом елементу може да се сматра да вектор електричног поља  $\vec{E}_i$  има исту вредност и правац који са правцем вектора  $\vec{\Delta S}_i$  заклапа угао  $\theta$ . Елементарни електрични флукс  $\Delta\psi$  кроз елеменат површине  $\Delta S_i$  биће дата производом из  $\Delta S_i$  и нормалне компоненте вектора  $\vec{E}_i$  у правцу нормале на површину  $\Delta S_i$  тако да ће важити:

$$\Delta\psi_i = E_i \cdot \Delta S_i \cdot \cos \theta_i$$

односно елементарни флукс једнак је скаларном производу вектора  $\vec{E}_i$  и  $\vec{\Delta S}_i$ :

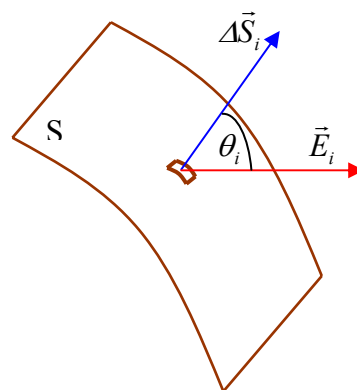
$$\Delta\psi_i = \vec{E}_i \cdot \vec{\Delta S}_i.$$

Укупан флукс вектора  $\vec{E}_i$  по целој површини  $S$  биће збир свих елементарних флукса по површини  $S$  односно флукс по целој површини  $\psi_S$  је:

$$\psi_S = \sum_S \vec{E}_i \cdot \vec{\Delta S}_i.$$

Ако се пређе на диференцијал површине  $dS$  онда ће важити:

$$\psi_S = \int \vec{E} \cdot d\vec{S}.$$



Слика 2.7 – 2

Правца и смер електричног поља на било коју површину

На основу овога Гаус (Johann Carl Friedrich Gauß 1777 – 1855.) и Остроградски (Михаил Васильевич Остроградский 1801 – 1862), независно један од другог поставили су теорему према којој је флукс електростатичког поља

$$\psi_s = \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = 4\pi kq$$

Теорема важи уопште за количину електрицитета  $q$  на телу било каквог облика. Површина за коју је оређена теорема може да има било какав облик, али мора да буде затворена и мора обухватати наелектрисано тело, односно наелектрисање  $q$  мора да се налази унутар те површине.

## 2.8 Електрични дипол

Два тела једнаких количина електрицитета супротног знака на извесном растојању представљају специјални систем, који се назива електрични дипол (слика 2.8 – 1). Маса честица које су носиоци једнаких наелектрисања не морају бити једнаке и не утичу на ту величину. Главно је да буду једнака наелектрисања.

Главна величина која карактерише електрични дипол је момент дипола или диполни електрични момент  $p_e$ . Момент дипола је производ једне од количине електрицитета и растојања међу њима:

$$p_e = q \cdot l$$

Када се дипол нађе у електричном пољу онда на разноименим наелектрисањима делују супротне паралелне електричне силе те образују спрег. Величина силе која делује на једно наелектрисање је:

$$F = q \cdot E.$$

Механички момент спрега  $M$  једнак је производу из једне силе и нормалног растојања међу силама. То нормално растојање према слици 2.8 – 1 је  $l \sin \theta$  где је  $\theta$  угао који дипол заклапа са правцем електричног поља. Тада је:

$$M = F \cdot l \cdot \sin \theta = q \cdot E \cdot l \cdot \sin \theta = p_e \cdot E \cdot \sin \theta$$

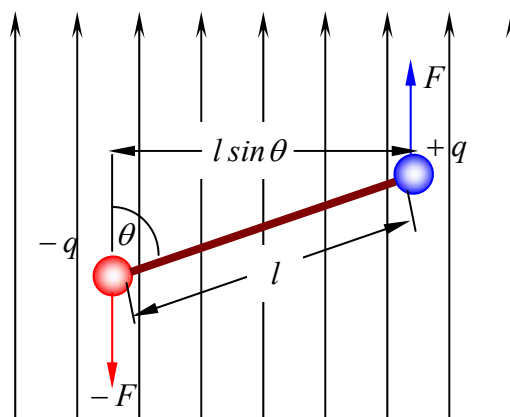
или написано у векторском облику:

$$\vec{M} = p_e \times \vec{E}.$$

Овакав момент тежи да доведе дипол у правац поља.

Обе количине електрицитета  $-q$  и  $+q$  образују електрично поље тј. електрично поље дипола. Резултујуће поље дипола у било којој тачки може да се нађе векторским збиром поља обеју количина електрицитета.

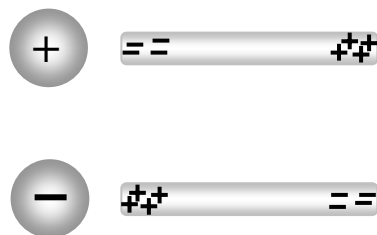
Електрични дипол има карактеристику да је растојање између наелектрисања релативно мало. Дипол може да буде макро и микро димензија. У савременој физици као главни пример електричног дипола служе диполи атомских димензија. Електрони и протони у атому под утицајем електричног поља подвргнути су одговарајућим силама, па постоје и одговарајућа померања и то пре свега електрона. Тако атом или молекул могу да постану дипол.



Слика 2.8 – 1  
Електрични дипол у хомогеном електричном пољу

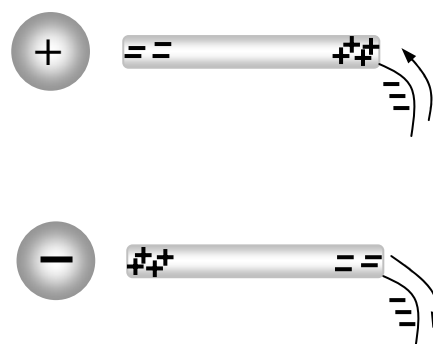
## 2.9 Проводник у електричном пољу. Инфлуенција

Када се ненаелектрисани проводник нађе у електричном пољу, односно у близини наелектрисаног тела (слика 2.9 – 1), јавиће се у њему два наелектрисања супротног знака. Ако се проводник удаљи из електричног поља опет постаје неутралан. Та појава назива се инфлуенција. Овакво понашање проводника објашњава се чињеницом да се у сваком неутралном проводнику налазе једнаке количине позитивног и негативног електрицитета и да у проводницима односно металима има слободних електрона. Када се проводник унесе у електрично поље онда ће на обе врсте наелектрисања деловати електростатичке силе супротног смера односно те силе ће тежити да раздвоје супротне врсте електрицитета. Негативно наелектрисање, односно слободни електрони, ће под утицајем ових сила моћи да се померају у проводнику док позитивна наелектрисања, везана за језгро атома немају такве могућности. Електростатичка сила делује на негативне електроне у смеру који је супротан смеру поља. Под дејством те силе јавиће се тенденција повећања концентрације електрона у том смеру. Ово значи да ће се на том крају јавити вишак електрона тј. тај део тела биће негативно наелектрисан. На супротном крају тела ће онда остати у вишку позитивни електрицитет, односно тамо ће се јавити позитивно наелектрисање. Ове две количине супротних врста електрицитета морају бити једнаке. Идући правцем поља на већем удаљењу наелектрисање је увек истог знака, а на супротном крају тела је онда наелектрисање супротног знака. Овакво стање на проводнику може да се сматра као нека врста електричне напрегнутости. Уколико је електрично поље већег интензитета, утолико ће и ова напрегнутост бити већа, те ће и индуковане количине електрицитета бити веће.



Слика 2.9 – 1  
Проводник у електричном пољу

Стање тела у електричном пољу може да се посматра на основу Кулоновог закона. Електрично поље позитивно наелектрисаног сферног тела у које је унет проводник је нехомогено односно његов интензитет опада са квадратом растојања од центра тела. Негативно наелектрисање се налази у јачем пољу него позитивно наелектрисање на другом крају тела. То значи да ће електростатичка сила која делује на негативно наелектрисање бити већа од оне која делује на позитивно наелектрисање. Из овога је јасно да ће сила привлачења међу овим телима бити већа од силе одбијања. Ово важи и у случају кад би сферно тело било негативно наелектрисано. Из овог следи закључак да ће свако неутрално тело бити привучено од усамљеног наелектрисаног тела. Ово је била прва уочена појава у области електрицитета (привлачење неког ненаелектрисаног тела од стране наелектрисаног тела). Овакво привлачење се не јавља у хомогеном електричном пољу.



Слика 2.9 – 2  
Наелектрисавање проводника инфлуенцијом

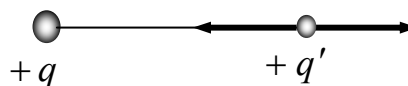
Ова несиметричност у нехомогеном пољу условљава и друге појаве код проводника у електричном пољу. Нека је тело као на слици 2.9 – 2 спојено проводником за земљу и налази се у пољу које потиче од позитивно наелектрисане сфере. Под дејством наведених фактора електрони ће кроз проводник са земље прећи на тело а тиме ће се на телу као целини појавити вишак електрона. Ако се тада веза са земљом прекине, а сферно тело удаљи, проводник ће остати негативно наелектрисан. У супротном случају кад је сферно тело наелектрисано негативно јавиће се

супротно кретање електрона односно електрони ће са проводника отићи у земљу, а по прекиду везе са земљом и удаљавању проводника из електричног поља, проводник ће остати позитивно наелектрисан. Значи, тела путем инфлуенције могу да се наелектришу без трења и без додира са наелектрисаним телом.

Индукована наелектрисања на проводницима својим присуством мењају основно поље које врши индукцију. Поље индукованих наелектрисања се тада суперпонира са основним пољем па се образује резултујуће поље. Ако се проводник налази у хомогеном електричном пољу у њему ће се индуковати наелектрисање тако да је негативно ка извору поља, а позитивно на супротном крају. Овако индуковано наелектрисање у проводнику ће створити електрично поље супротног смера од поља које је изазвало наелектрисавање проводника. Због овога ће се поља на бочним странама поништавати, а на чеоним појачавати па ће изгледати као да линије силе електричног поља лакше пролазе кроз проводник него кроз околни простор.

## 2.10 Рад сила електричног поља. Напон. Потенцијал.

Ако се посматрају два тела (слика 2.10 – 1) наелектрисана количинама електрицитета  $+q$  и  $+q'$  на неком растојању, она ће се међусобно одбијати силом датом Кулоновим законом. Ако се тело  $q'$  приближава телу  $q$  вршиће се померање насупрот Кулонове силе, ово приближавање може да се врши уз улагање рада односно рад ће бити позитиван. Ако се тело  $q'$  пусти да се удаљава онда ће електрична сила вршити рад, овај рад ће бити негативан. Из овога може да се закључи да ће тело  $q'$  имати извесну потенцијалну енергију чија ће величина да зависи од положаја тела  $q'$  у односу на  $q$ , слично гравитационој потенцијалној енергији тела на земљи. На основу овога потенцијал у некој тачки електричног поља ће зависити од количине наелектрисања  $q$  и растојања  $r$  тачке од тог наелектрисања:



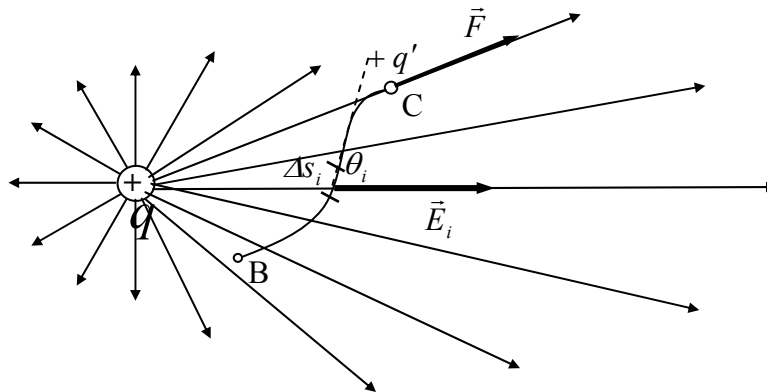
Слика 2.10 – 1  
Кретање наелектрисаног тела у електричном пољу

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}.$$

Према закону о одржању енергије, електростатичка потенцијална енергија тела  $q'$  се повећава при његовом приближавању телу  $q$ . Ако би тело  $q'$  било негативно наелектрисано тад би се при удаљавању вршио рад па би се његова потенцијална енергија повећавала. Значи рад у електростатичком пољу може да буде позитиван и негативан и зависи од тога да ли се тела привлаче или одбијају. Поменути рад који врше електростатичке силе не зависи од облика путање већ само од растојања  $q$  и  $q'$ .

Да би се одредио рад у електричном пољу, може да се посматра електрично поље које ствара наелектрисање  $+q$  (слика 2.10 – 2). Ово поље не мора да буде хомогено. Нека су В и С било које две тачке које се налазе у овом пољу и нека се наелектрисање  $q'$  налази у тачки С, онда ће то поље на њега деловати силом  $\vec{F} = q' \cdot \vec{E}$ , где је  $\vec{E}$  вектор електричног поља у тачки С. Ако се наелектрисање  $q'$  помера дуж путање СВ, онда се врши рад против силе  $\vec{F}$ . Сила  $\vec{F}$  нема сталну вредност јер се и поље  $\vec{E}$  мења дуж путање СВ, а мења се и њен правац па се у општем случају правци сила не поклапају са правцем путање. Путања по којој се креће наелектрисање  $q'$  може да се издели на мале коначне делове  $\Delta s$ . На малом интервалу пута  $\Delta s$  електрично поље може да се сматра

константним, па ће и електростатичка сила бити константна и са правцем путање ће да заклапа угао  $\theta_i$ .



Слика 2.10 – 2

Кретање наелектрисања у нехомогеном електричном пољу

Извршени рад на делу пута  $\Delta s_i$  ће тада бити:

$$\Delta A_i = \vec{F}_i \cdot \Delta \vec{s}_i = q' \cdot \vec{E}_i \cdot \Delta \vec{s}_i$$

укупан рад на целом путу CB ће бити:

$$A_{BC} = q' \sum_C^B \vec{E}_i \cdot \Delta \vec{s}_i.$$

Извршени рад на путу CB по јединици наелектрисања назива се напон електричног поља између тачака C и B и бележи се са:

$$U_{BC} = \frac{A_{BC}}{q'}$$

односно:

$$U_{BC} = \sum_C^B \vec{E}_i \cdot \Delta \vec{s}_i.$$

Ако се пређе на бесконачно мале интервале пута  $d\vec{s}$  важиће:

$$U_{BC} = \int_C^B \vec{E} \cdot d\vec{s}.$$

Наелектрисање  $q'$  у тачки C има потенцијал  $\varphi_C$ , а у тачки B потенцијал  $\varphi_B$ . Напон између тачака CB се дефинише као разлика потенцијала између те две тачке:

$$U_{BC} = \varphi_C - \varphi_B$$

где је

$$\varphi_C = k \frac{q}{r_C}, \text{ а } \varphi_B = k \frac{q}{r_B} \text{ за } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}.$$

Тада је рад који се изврши на савлађивању електричне силе при премештању наелектрисања  $q'$  из тачке С у тачку В:

$$A = k \cdot q \cdot q' \cdot \left( \frac{1}{r_B} + \frac{1}{r_C} \right)$$

односно:

$$A = k \cdot q' \cdot (\varphi_B - \varphi_C).$$

Овај рад као и потенцијал може да буде позитиван и негативан у зависности од тога дали се рад врши против Кулонове силе или она врши рад, што се изражава алгебарским знаком.

Бројна вредност потенцијала у некој тачки једнака је раду који треба извршити да се јединица количине електрицитета доведе из бесконачности до те тачке. Ово је једна врста математичке дефиниције потенцијала.

Ако се посматра хомогено електрично поље, тада може да се покаже да је напон између плоча које образују ово хомогено поље:

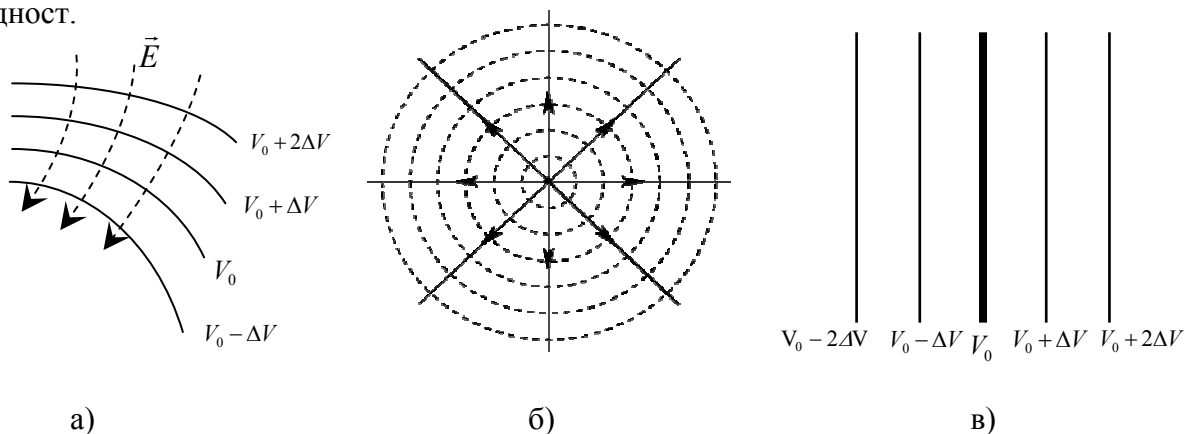
$$U = E \cdot d.$$

Напон међу равним паралелним плочама једнак је производу јачине поља и растојања  $d$  међу њима.

Јединица за напон и потенцијал одређена је из релације:

$$U = \frac{A}{q} = \left[ \frac{\text{J}}{\text{C}} \right] = 1 \text{ волт} = 1 \text{ V}.$$

Кад се у електричном пољу споје све тачке истог потенцијала добијају се површине које се зову еквипотенцијалне површине (слика 2.10 – 3). Ових еквипотенцијалних површина у пољу може да буде бесконачно много, али се обично означавају само неке од њих. Најчешће се означавају само оне површине које се разликују за једну усвојену вредност.



Слика 2.10 – 3

Еквипотенцијалне површине:

- а) за наелектрисано тело неправилног облика
- б) за сферно наелектрисано тело испрекидане линије (концентричне сфере)
- в) за равну наелектрисану плочу (паралелне равни)

У било којој тачки једне еквипотенцијалне површине наелектрисано тело има исту потенцијалну енергију па се при померању тела по еквипотенцијалној површини не врши рад.

## 2.11 Електрично поље у проводницима

Утврђено је да се електрицитет распоређује по површини проводника. Кад је електрицитет на проводнику у макроскопском мировању, електростатичке силе су у равнотежи, па у свакој тачки проводника потенцијал мора да има исту вредност. До оваког закључка може да се дође на следећи начин. Ако би постојала потенцијална разлика између две тачке у проводнику онда би међу њима постојало електрично поље па би се електрицитет кретао у проводнику. Међутим електрицитет се не креће што показује да унутар проводника нема напона односно потенцијалне разлике, па све тачке у проводнику морају да имају исти потенцијал. Према томе, површина проводника је еквипотенцијална површина. У унутрашњости проводника, без обзира да ли је овај шупаљ или не, и потенцијал у унутрашњости проводника има исту вредност као и на површини. Тако унутрашња запремина проводника може да се сматра као еквипотенцијална запремина.

За доказивање тврдње да се електрицитет налази на површини проводника може да послужи шупља метална лопта са отвором и електроскоп. Шупља метална лопта са отвором налази се на изолаторском држачу и повезана је проводником са спољашње стране са електроскопом. Ако се лопта наелектрише, листићи електроскопа ће да се размакну. Међутим кад се проводник одвоји са спољашње стране лопте и електроскоп разелектрише, и онда се проводник кроз отвор лопте споји са унутрашње стране лопте, листићи на електроскопу неће да се размакну. Ово наводи на закључак да се електрицитет распоређује само на спољашњој страни металне лопте односно проводника. Исти ефекат ће да се покаже и ако лопта није од пуног материјала већ од жичане мреже.

Експеримент са кавезом од жичане мреже изводио је Фарадеј у који је он могао да уђе. Он је у кавез улазио са електроскопом. Тада су помоћу врло високог напона на кавез пуштане снажне варнице при томе електроскоп није нимало скретао нити је Фарадеј осетио било какве електричне ударе или ефекте. Због тога се овај кавез назива Фарадејев кавез.

Из свега наведеног може да се донесе закључак, да је у унутрашњости проводника електрично поље једнако нули.

Распоред електрицитета по површини металних тела која немају облик лопте је неравномеран. На равним површинама тела густина електрицитета је мања, а на закривљеним већа. Нарочито је велика густина електрицитета на врховима шиљака, услед чега на њима може да настане електрично пражњење. Ово пражњење у неким случајевима може да буде толико велико да на њима настаје тзв. електрични ветар. Електрични ветар чине јони ваздуха. Како је на шиљцима јачина електричног поља највећа, они привлаче супротно наелектрисане јоне па се наелектрисано тело при додиру са шиљком брзо разелектрише. У исто време овако наелектрисан шиљак снажно одбија истоимене наелектрисане јоне који чине електрични ветар.

Ова појава може да се објасни помоћу принципа електронске теорије. У металима који су у чврстом или течном агрегатном стању релативно велик број електрона је одвојен од атома. То је једна од карактеристика метала коју не треба занемарити. Електрони са спољашњих слојева атома имају малу енергију везе, па се под разним утицајима одвајају од атома. Грубо узевши, може да се сматра да на сваки атом металног проводника долази по један „слободни” електрон. Тако остаје структура атома који су са мањком електрона тј. јони. У просторима између решетки јона крећу се слободни електрони. Пошто је број



тих електрона релативно велик, може да се сматра да они сачињавају тзв. „електронски гас”, на који често могу да се примене методе кинетичке теорије гасова. Тада и под утицајем и слабих спољашњих поља ти „слободни” електрони се крећу у правцу сила које на њих делују. То кретање се врши све док у проводнику јачина поља не постане једнака нули, а то значи све док се не уравнотеже спољашње поље и поље електрона. Уравнотежење поља тих електрона и спољашњих поља врши се врло брзо. Отуда се у проучавању проводника у електричном пољу, проводник може да се сматра као проводна површина која је идентична са површином проводника. То није само формална замена него и суштинска, јер до изражаја долазе само површинска наелектрисања. На тај начин као главна количина за одређивање поља на површини метала долази у обзир површинска густина наелектрисања.

## 2.12 Електрични капацитет и кондензатори

Потенцијал наелектрисаног тела зависи од других наелектрисаних тела у његовој близини. На пример потенцијал позитивно наелектрисаног тела биће смањен ако се у његову околину постави негативно наелектрисано тело. У неком систему од два или више тела вредност потенцијала, а тиме и осталих електричних величина, у великој мери зависи од оваквих околности. Ако се посматра хомогено електрично поље између две паралелне плоче наелектрисане различитим врстама електрицитета (слика 2.12 – 1) које се налазе на растојању  $d$ . Напон између плоча је

$$U = E \cdot d.$$

Како је јачина електричног поља између плоча:

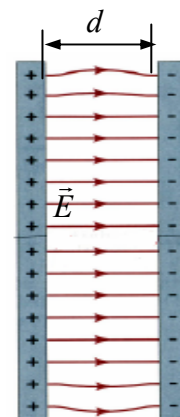
$$E = \frac{q}{\varepsilon_0 S}$$

тада је напон

$$U = \frac{q}{\varepsilon_0 S} \cdot d$$

одавде следи да је:

$$q = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \cdot U.$$



2.12 – 1

Хомогено електрично поље

Из овог израз се види да је наелектрисање на плочама пропорционално напону између њих. Константа пропорционалности има вредност:

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d},$$

а назива се електрични капацитет или капацитативност система од двеју паралелних плоча. Према овоме се добија релација:

$$q = C \cdot U$$

или

$$C = \frac{q}{U}$$

може да се покаже да последња релација важи за било који систем проводника. Према томе може да се закључи да је електрични капацитет стални однос између количине електрицитета и напона.

Електрични капацитет зависи од површине и облика тела и може да се повећа веома много ако се телу приближи проводник који је спојен са земљом. За ово може да послужи оглед са две металне плоче истих димензија. Ако се једна плоча наелектрише негативно и споји са електроскопом, листићи електроскопа ће да се размакну. Скретање листића ће бити сразмерно потенцијалу наелектрисане плоче. Ако се друга плоча повеже са земљом и приближи првој, на неко блиско растојање  $d$ , приметиће се да се листићи електроскопа приближе један другом што значи да је потенцијал прве плоче опао. Ако се плоча која је спојена са земљом још више приближи наелектрисаној плочи, листићи ће да се још више приближите значи потенцијал је још више опао. Ако се плоча удаљи од наелектрисане плоче, листићи се поново размакну, значи потенцијал се вратио на првобитну вредност. Ова појава може да се објасни инфлуенцијом. Приликом приближавања уземљене плоче електрично поље наелектрисане плоче врши инфлуенцију и раздваја електрицитет на покретној плочи. Услед тога она постаје позитивно наелектрисана, при чему један број слободних електрона са ње оде у земљу. Исто тако један број слободних електрона са електроскопа пређе на непокретну плочу под дејством привлачних сила између позитивно и негативно наелектрисаних плоча и због тога се листићи на електроскопу приближе. Ако се покретна плоча не удаљи, то би значило да се на непокретну плочу може довести још негативног електрицитета да би се њен потенцијал вратио на првобитну вредност. Ово значи да се повећао и електрични капацитет непокретне плоче. Оваква појава се неће догађати ако плоча која се приближава није везана за земљу.

Систем од две металне плоче између којих се налази неки изолатор (диелектрик) назива се кондензатор. Капацитет кондензатора како може да се види из обрасца за капацитет директно зависи од површине плоча и диелектричне константе, а обрнуто од растојања плоча. Изолатор између плоча може да буде ваздух, стакло, парафинисана хартија, лискун и други диелектрици. Од врсте диелектрика зависиће и капацитет кондензатора. Капацитет кондензатора не зависи од дебљине плоча, па оне могу да буду веома танке, те се такве најчешће примењују за израду кондензатора.

Јединица електричног капацитета је фарад, а означава се са  $F$ . Тако је:

$$\text{фарад} = \frac{\text{кулон}}{\text{волт}}$$

$$1 F = \frac{1 C}{1 V}$$

Јединица капацитета фарад је веома велика јединица, па се у пракси употребљавају њене мање величине; микрофарад, нанофарад, пикофарад.

## 2.13 Диелектрик у електричном пољу

Диелектрична средина нема слободних електрона као метали (проводници) па се појаве, кад се диелектрик нађе у електричном пољу, разликују од оних у проводницима. Ако се диелектрик унесе у хомогено електрично поље, све његове наелектрисане честице у атому (електрони и протони) биће под дејством тог поља. На позитивно наелектрисане честице деловаће силе које имају исти правац и смер поља док ће силе које делују на негативно наелектрисане честице имати исти правац али супротан смер. Значи да ће у сваком атому силе поља, које делују на језгро, имати супротан смер од оних које делују на електронски омотач. Електричне силе теже да у атомима или молекулима раздвоје

позитивна и негативна наелектрисања. Како је у диелектрицима кретање наелектрисања могуће само у оквиру атома или молекула тада ово раздвајање наелектрисања у диелектрику резултира стварањем дипола.

Молекули диелектрика могу бити поларни и неполарни. Поларни молекули имају карактеристике дипола константног диполног момента и без присуства спољашњег електричног поља. Диполи су услед термичког кретања хаотично распоређени тако да је диелектрик у целини електрично неутралан. Поларне молекуле поседује вода, алкохол, амонијак, органске киселине, прости етри итд. Ако се поларни диелектрик унесе у хомогено електрично поље доћи ће до делимичне оријентације дипола у смеру дејства електричног поља. Степен оријентисаности ће зависити од јачине поља и температуре. Неполарни молекули немају перманентне диполне моменте. У диелектрицима са неполарним молекулама, диполи се индукују кад се такав диелектрик унесе у електрично поље. Под дејством електричног поља долази до померања центара позитивног наелектрисања (језгра) у смеру дејства поља, а центара негативног наелектрисања (електронског облака) у супротном смеру. Индуковани диполи су потпуно оријентисани у правцу дејства електричног поља. За разлику од поларних молекула који имају перманентне диполне моменте, величина диполног момента код неполарних молекула зависи само од јачине електричног поља.

Без обзира о којој врсти диелектрика се ради макроефекти су исти. Унутар диелектрика разноимена наелектрисања се компензују тако да остају само периферни слојеви наелектрисани. Та наелектрисања стварају у диелектрику додатно електрично поље које има супротан смер у односу на поље у које је диелектрик унесен. Резултујуће поље у диелектрику ће бити:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 - \vec{E}_d$$

где је  $\vec{E}_0$  електрично поље у које је унет диелектрик, а  $\vec{E}_d$  електрично поље у диелектрику.

Може се показати да је:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$$

Ово значи да се електрично поље у диелектрику смањује онолико пута колико износи величина  $\epsilon_r$  која се назива релативна диелектрична константа. Вредност константе зависи од врсте и карактеристика диелектрика. За вакуум и ваздух износи 1, (вода 81, глицерин 56, етанол 26). Производ  $\epsilon_0 \epsilon_r$  представља апсолотну диелектричну константу  $\epsilon$ .

Овакве особине диелектрика служе за повећање капацитета кондензатора. Ако се између плоча кондензатора постави неки диелектрик тада ће његов капацитет да буде:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S}{d} = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$$

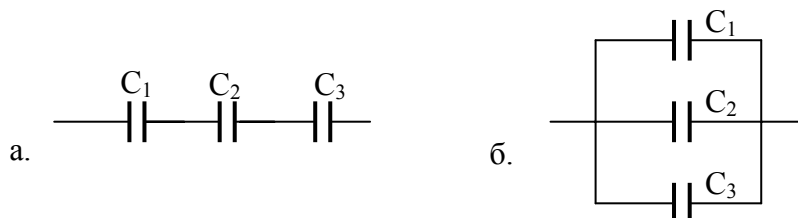
ово показује да се капацитет повећава за износ релативне диелектричне константе  $\epsilon$ . Аналогно овоме електрично поље, па према томе и потенцијал и Кулонова сила се смањују  $\epsilon_r$  пута ако се између наелектрисаних тела налази диелектрик.

Кондензатори се могу везивати серијски и паралелно (слика 2.13 – 1). Ако се везују серијски онда је ефекат сличан као кад се растојање између плоча кондензатора повећава, што значи да се укупан капацитет  $C_e$  смањује:

$$\frac{1}{C_e} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

Код паралелне везе ефекат је сличан повећању површине плоча и укупан капацитет  $C_e$  се повећава.

$$C_e = \sum_{i=1}^n C_i$$



Слика 2.13 – 1

- а) серијски везани кондензатори  
б) паралелно везани кондензатори

## 2.14 Електричне појаве у атмосфери

Појаве као што су муња и гром које се јављају у атмосфери, дуго су приписиване свецима и надприродним силама. Извесна сличност између муње и електричне варнице наводила је људе, који су откривали тајне електрицитета, на помисао да је муња електрична појава у атмосфери. Ово је потврдио Френклин (1752.) својим огледима. Френклин је пред непогоду која се приближавала пустио да се дечји змај са шилком подигне увис. Доњи крај канапа везао је за кључ. Кад је киша овлажила канап онда је Френклин из кључа извлачио велике варнице. Овај опасни оглед је показао да су облаци наелектрисани. Наелектрисање облака потиче услед његовог кретања кроз атмосферу. У атмосфери се налазе разне наелектрисане честице, слободни електрони, гасни јони, наелектрисани делићи прашине, наелектрисане капљице воде, а на већој висини наелектрисани ледени кристали.

Земља је негативно наелектрисана и њено наелектрисање износи око 600000 кулона. Позитивни јони се крећу ка земљиној површини, а негативни увис. Услед те струје која за целу земљу износи око 1500 кулона у секунди, Земљина површина би се разелектрисала за неколико минута кад не би било непогода (око 16 милиона у години) при којима се Земљина површина поново негативно наелектрише. На целој Земљи просечно настаје 100 муња у свакој секунди.

У близини тла напон између два места чија је висинска разлика 1m износи око 120V. Тај се напон за иста места колеба у току времена. У табели 2.14 – 1 је приказано како се са повећањем висине смањује пад потенцијала који се односи на 1m.

Земљина површина је негативна гранична површина електричног поља, а површина око Земље на приближно 80 km висине је позитивна гранична површина, која представља доњу границу Хевисајдовог (Oliver Heaviside 1850 – 1925) слоја, који се налази између 80 и 200 km висине. У Хевисајдовом слоју ваздух је потпуно јонизован. Јонизацију ваздуха изазивају космички зраци, ултраљубичасти зраци и зраци радиоактивних елемената из земље. У близини тла налази се у 1 cm<sup>3</sup> ваздуха 500 – 1000 јона. Изнад градова број јона у 1 cm<sup>3</sup> износи до 6000. Тај број јона је врло мали према броју неутралних молекула у 1 cm<sup>3</sup> 27 трилиона (27·10<sup>18</sup>). Зато је ваздух при тлу практично изолатор.

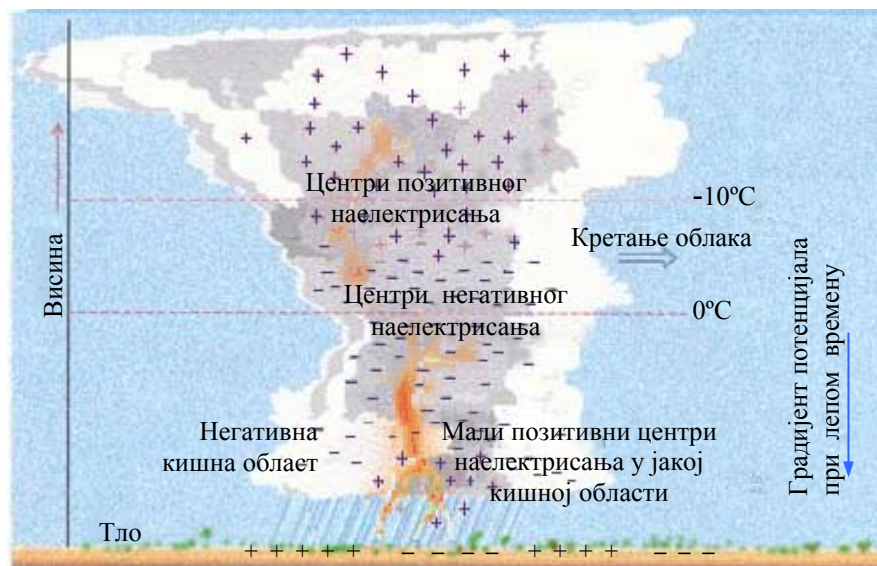
Табела 2.14 – 1

Смањивање потенцијала са повећањем висине

| Висина | Пад потенцијала |
|--------|-----------------|
| m      | V/m             |
| 0      | 120             |
| 50     | 55              |
| 1000   | 42              |
| 3000   | 25              |
| 12000  | 2,3             |
| 80000  | –               |

Поремећаји нормалног електричног поља у атмосфери већином настају услед нагомилавања честица које имају наелектрисање исте врсте. Кад јак ветар подигне прашину или снег, онда се мале честице већином наелектришу негативно, а веће позитивно. Пошто ветар лакше подиже и удаљује мале честице него веће, настаје одвајање негативних честица од позитивних. Испитивања су показала да се вода код водопада распршује у мање и веће капљице. Мале капљице се одвајају од већих. Мале образују негативан „облак”, а веће позитиван „облак”. Између тих „облака” је јако електрично поље. Кишне капљице су често наелектрисане, поготово кад је непогода.

Кад ваздух при дизању навише брзо продире у висину од више хиљада метара, настаје непогода. Ваздух се при дизању шири. Ширење настаје услед смањеног атмосферског притиска са повећањем висине. Услед ширења ваздух се хлади, а водена пара кондензује и претвара у кишу (слика 2.14 – 1). Ако у доњој области ваздушна струја или узлазни ветар има брзину 8 m/s и више, онда киша не може да пада.



Слика 2.14 – 1

Распоред наелектрисања у облаку који изазива непогоду

Облак који изазива непогоду може да се подели на више еквивалентних ћелија облака (појединачних облака) тако да у унутрашњости облака постоји одређена расподела наелектрисања. Ћелија облака је у горњем делу позитивно, а у доњем делу негативно наелектрисана. Негативно наелектрисање доспева на земљу путем муње. Раздвајање наелектрисања догађа се услед узајамног деловања између присутних састојака типичних за олујне облаке: воде, ваздуха, кристалиће леда. Ово узајамно деловање остварује се

преко: додира делића исте врсте а различите величине, разарањем и распадањем делова, Волтиним ефектом између делова исте или различитих фаза, електрохемијских процеса као и механизма наелектрисања које је описао Richard Feunman (1918 – 1988).

Ако се посматра кишна кап као наелектрисана честица која пада, крећући се у електричном пољу величине око 100 V/m, на негативно наелектрисану Земљу тада се у њој индукује електрични дипол. Дипол је својим позитивним (+) полом окренут ка Земљи. Како у атмосфери постоје позитивни и негативни јони, кад се на пример капљици приближи позитиван јон, на основу електростатичког одбијања, она се заокрене на страну. Топао ваздух се у односу на кап пење навише, јон бива захваћен струјом ваздуха и више није повезан са капљицом. Неки од негативних јона биће привучени од стране капљице и ступити у контакт са њом образујући у доњем унутрашњем делу ћелије облака, слој негативног наелектрисања, док позитивни јони који потичу од различитих присутних струјања, запоседају горњи део ћелије облака.

У олујном облаку поред егзистенције позитивних и негативних наелектрисања, у јакој кишној области, постоји и додатни мали слој позитивног наелектрисања. Ово позитивно наелектрисање настаје вероватно ефектом короне између облака и неког шпица на Земљи (на трави, грани дрвета, ...), услед којих се ствара јако електрично поље при Земљи, које се услед ветра транспортује у вис.

Муња је огромна електрична варница између два облака. Настајање муње се објашњава стварањем стримера (уски јонски канали између наелектрисаних тела). Муња је већином дугачка око 1–5 km. У ретким случајевима може бити много краћа (100 m) и много дужа (50 km). Муња између тла и облака зове се гром. Дужина његове варнице је око 3 km. Муња и гром трају од једне до неколико хиљадитих делова секунде. Напон при коме се јавља муња може износити и до милијарду волти. Просечна количина електрицитета која се помоћу муње празни, износи око 20 кулона. Поред линијских муња постоје и лоптасте муње. Њихово настајање није довољно разјашњено.

Када се наелектрисани облак приближи земљи, или кад је виши напон у атмосфери, што је случај пред непогоду, онда се услед инфлуентног дејства нагомилава супротан електрицитет на врховима металних шилака, катарки, торњева, стена, дрвећа. На високим планинама може се догодити да се на планинским палицама, леденим шилцима виде праменасти пламичци и чује шуштање и пуккетање. Ова појава је позната под именом ватра светог Илије или светог Елма.

Муња на свом путу ка земљи тражи тела која најбоље проводе електрицитет, пре свега метале. Кад нема метала, онда траже влажно тло и висока тела, врхове брда, високо дрвеће, торњеве, високе усамљене зграде, људе или животиње на отвореном пољу итд. Ако гром удари у дрво или незаштићену зграду, може изазвати цепање, разарање и пожар. Ако је проводник лошији, опасност је већа. За људе и животиње гром представља велику опасност. Непосредан удар грома је смртоносан (у 40% случајева) или проузрокује обамрлост, бесвесност, опекотине. На 1 милион људи погине од грома просечно 4 човека годишње.



Слика 2.14 – 2  
Муња и гром

За заштиту зграда од грома служи громобран. Громобран се Састоји од усправне металне шипке са позлаћеним врхом (ради заштите од рђе), који се поставља на највиши део зграде. Та шипка је повезана дебелим проводником, громоводом, најкраћим путем, избегавајући оштре углове, за Земљу. Да би спој са Земљом био бољи, проводник је везан

за бакарну плочу или цинкани лим који је закопан у влажну Земљу на 3 – 4 m далеко од зграде. Ради сигурније заштите од грома треба све истакнуте металне предмете на згради, метални кров, олуке, и у згради металне степенице, цеви, дизалице, резервоаре на тавану, везати проводником за громовод. На високе зграде ставља се више громобранских шипки које су међусобом повезане проводницима.

## 2.15 Електрицитет у свакодневном животу

Као што је изложено у одељку 2.4 супстанција се може наелектрисати међусобним трењем. При томе се јавља могућност стварања статичког електрицитета. Ово се може приметити при скидању вуненог џемпера, чује се пукотање услед трења о осталу одећу, у мраку се виде и варнице које “скачу” између одеће. Након дуже шетње по тепиху варнице скоче ако се додирну метални делови. Статички електрицитет се може нагомилавати на месту где се ствара, или на неком другом месту, до кога се преноси провођењем преко неког проводника. Повећањем количине електрицитета на неком месту, повећава се и његов потенцијал у односу на околину. Када он достигне критичну вредност, или се стекну неки други услови, долази до његовог пражњења према околини у виду варнице. Она може бити узрок многих незгода, као на пример :

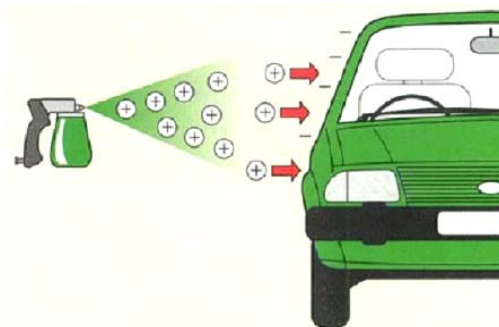
- може да изазове пожар, или експлозију у угроженим просторима,
- може да оштети делове електронских кола,
- може да изазове несвесне покрете делова човечијег тела, због чега може доћи до самоповреде или повреде других, итд.

Статички електрицитет се, на пример, ствара: при кретању неких течности кроз цевоводе, при кретању трака разних квалитета преко ваљака, при кретању човека у просторима где се делови његове одеће тару са другим површинама, при кретању аутомобила, итд. Коликом количином електрицитета ће се наелектрисати неко тело зависи, пре свега, од релативне брзине између тарућих површина и њиховог квалитета.

Да би се спречила појава варнице, неопходно је спречити нагомилавање електрицитета, односно повећање потенцијала, јер је спречавање самог његовог стварања скоро немогуће. У основи, могу се идентификовати два начина спречавања нагомилавања електрицитета: да се он на некакав начин одведе у земљу или да се јонизацијом околне атмосфере неутралише.

Примери за одвођење електрицитета у земљу су аутоцистерне које превозе запаљиве материје (бензин, течни гас...), оне имају ланце који додирују пут и тако су уземљене. Такође цевоводи са којим се врши истакање и утакање запаљивих и експлозивних материја су уземљени. У просторијама где се производе и порављају електронски уређаји, чипови могу бити оштећени услед електростатичког пражњења. Зато су столови на којима се ради уземљени, а понекад и радници на рукама имају одговарајуће траке које одводе вишак електрицитета (електропроводне наруквице које су уземљене). Такође постоје материјали који се тешко наелектришу и не привлаче прашину то су такозвани „антистатички” материјали. Овим материјалима се понекад премазују аутомобили да се на њих не би хватала прашина, а такође се и од њих производе траке за видео касете.

Поред ових негативних ефеката које изазива електрицитет он има и широку позитивну примену. На пример код бојења аутомобила Распршена боја, течност, се наелектрисава

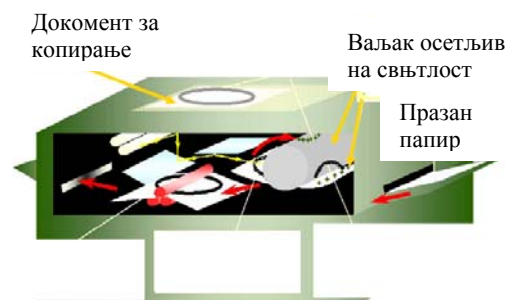


Слика 2.15 – 1  
Бојење аутомобила



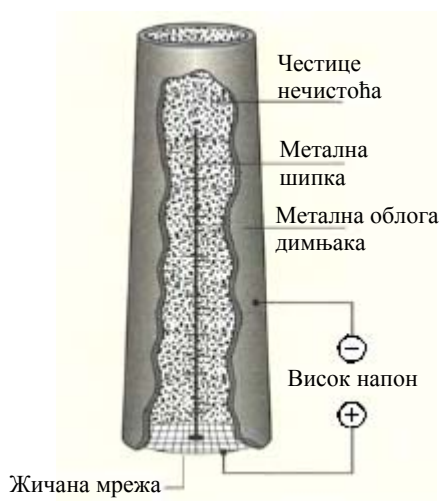
позитивно “+” услед трења кроз млазницу. Каросерија аутомобила се наелектрише супротним наелектрисањем негативно те тако привлачи капљице боје из компресора и помаже им да лакше погоде “мету”. Слика 2.15 – 1.

Код апарата за фотокопирање ваљак осетљив на светлост се наелектрише позитивно, а прах је наелектрисан негативно. Кад папир пролази између ваљка он се наелектрише позитивно на оним местима где није осветљен и на тим местима се лепи негативно наелектрисан прах. Слика 2.15 – 2.



Слика 2.15 – 2  
Фотокопирање

Велику корист за уклањање нечистоћа из дима има електростатички електрицитет. Дим који се добија сагоревањем фосилних горива садржи велику количину ситних честица нечистоћа. Те честице након одласка у атмосферу падају по кућама и баштама. Један део тога људи удишу и то може да остави последице на плућа. Да би се ове нечистоће уклониле, на улазу у димњак се постави метална мрежица и наелектрише позитивно, а метална облога која се постави унутар димњака наелектрише се негативно. При проласку кроз мрежицу честице се наелектришу позитивно и приликом проласка кроз димњак буду привучене од облоге тако да не излазе у атмосферу и не загађују околину. Слика 2.15 – 3. показује како нечистоће могу да буду уклоњене (до на 99%) из фабричких димњака.



Слика 2.15 – 3  
Уклањање прашине и чађи из  
дима

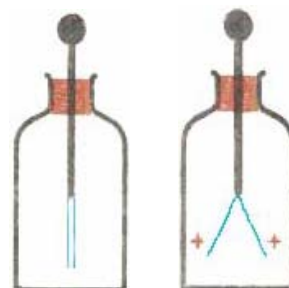


### 3. Демонстрациони огледи за наставну тему електростатика

#### 3.1 Потребан прибор за извођење огледа

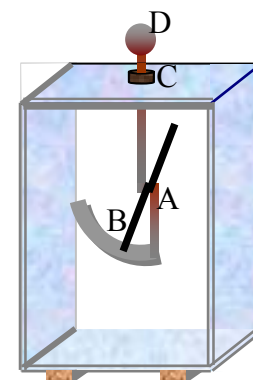
За извођење огледа за наставну тему електростатика потребно је имати прибор и инструменте за презентацију појединих појава. Поред стаклене и поливинилске шипке као прибора, један од основних инструмената је електроскоп и електрометар. За веће наелектрисавање пожељно је имати електростатичку инфлуентну машину.

Електроскоп (слика 3.1 – 1) се састоји од једне металне шипке на чијем су доњем делу постављени лаки листићи од алуминијума, а на горњем делу куглица. Метална шипка је провучена кроз изолатор. Део са листићима се поставља унутар боце или тегле, а део са куглицом је ван боце. Куглица је потребна да не би било оштрих истакнутих делова због дејства шиљака. Листићи се постављају у боцу због елиминације спољних утицаја. Кад се куглица електроскопа дотакне наелектрисаним телом тада се и листићи наелектришу истом врстом електрицитета па се одбијају односно размакну се. На тај начин се види да ли је неко тело наелектрисано.



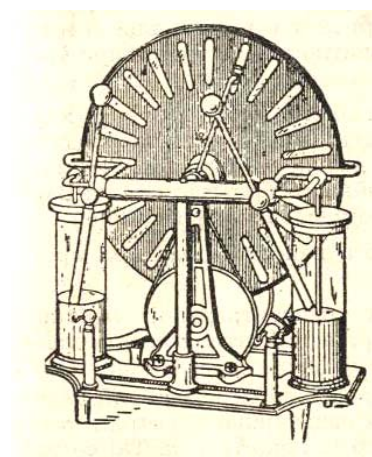
Слика 3.1 – 1  
Електроскоп

Електрометар (слика 3.1 – 2) је инструмент помоћу којег се може видети градијација наелектрисања наелектрисаних тела. У металној кутији са стакленим прозором постављен је на изолатор С метални проводник А. На њему се налази танки листић В такође од проводника. Листић се може окретати око осовине о коју је окачен. Ако се наелектрисаним телом дотакне куглица D проводника, електрицитет ће прећи на проводник А електрометра. Тада су и проводник и листић наелектрисани истом врстом електрицитета те ће доћи до њиховог одбијања. Услед тога се листић подигне и на скали се може прочитати колико је наелектрисано неко тело. Скала није дата у јединицама количине наелектрисања, већ само служи за упоређивање које тело је више, а које мање наелектрисано.



Слика 3.1 – 2  
Електрометар

За већа наелектрисавања тела, које је потребно за показивање неких појава из области електрицитета, подесно је користити електростатичку инфлуентну машину. Ова машина (слика 3.1 – 3) се састоји од две блиске паралелне кружне плоче од ебонита или стакла. Плоче су на заједничкој осовини и могу се обртати помоћу ручице и трансмисионих кајшева, тако да се једна обрће у једном смеру, а друга у супротном. На спољашњим странама близу обода ових плоча налепљени су уски исечци од станиолских листића, о које се тару металне четкице. У секторима и четкицама трећем се производи мало електрицитета, који онда служи да се помоћу инфлуенције у наспрамним секторима обеју плоча изврши знатно наелектрисавање. Сектори обеју плоча пролазе између шиљака двеју металних виљушака. Помоћу инфлуенције и дејства шиљака један ће се проводник наелектрисати



Слика 3.1 – 3  
Електростатичка  
инфлуентна машина

позитивно, а други негативно. Ако се плоче обрћу довољно брзо, наелектришу се оба проводника (куглице) до велике потенцијалне разлике. Између куглица (полова) скочи електрична варница. Види се светлост. Чује се прасак.

Ако кабинет за наставу физике није довољно опремљен, огледи из електрицитета, могу се изводити и разним приручним средствима, које наставник може да набави уз помоћ својих ученика. У следећим параграфима биће описани огледи, потребан прибор и инструменти који су потребни за поједине огледи. Биће и објашњено на који начин се може приручним средствима сачинити неки прибор.

### 3.2 Наелектрисање тела непосредним додиром

Једноставним огледима може се показати како се разна тела могу наелектрисати непосредним додиром

#### Оглед: 3.2 – 1

**Потребан прибор:** Стаклена шипка, свилена тканина, ебонитна шипка, вунена тканина, ситни комадићи хартије.

**Ток огледа:** Прво се стаклена шипка приближи комадићима хартије (Слика 3.1 – 1 а). Примећује се да се ништа не дешава. После овога стаклена шипка се протрља свиленом тканином (Слика 3.1 –1 б) и приближи комадићима хартије. Комадићи хартије „скоче” на стаклену шипку (Слика 3.1 – 1 ц), стаклена шипка их привлачи.

Исти оглед се изводи са ебонитном или поливинилном шипком, али њих треба трљати вуненом тканином. Ефекат је исти, тј. и оне ће привлачити комадиће папира. Да деца не би помислила да су ове две шипке чаробни штапићи, исти оглед могу и сама да изведу са пластичним лењиром или троуглом. Извођењем овог огледа долази се до закључка да тело протрљано свиленом или вуненом тканином добија нове особине (привлачи комадиће хартије). За такво тело се каже да се наелектрисало.



Слика 3.2 – 1  
Наелектрсавање тела трењем

#### Оглед 3.2 – 2

**Потребан прибор:** Со, бибер, пластична кашика, вунена тканина.

**Ток огледа:** Помешати со и бибер. Наелектрисану пластичну кашику приближити смеси (слика 3.2 – 2). Зрнца бибера скачу ка наелектрисаној кашики, а зрнца соли не. Ако се кашика примакне на врло мало растојање почињу и зрнца соли да скачу на кашику. Већи део соли и бибера остају на кашици док мањи део пада на подлогу. Нека зрна поново скачу на кашику, а затим поново падају на подлогу.



Слика 3.2 – 2  
Одвајање соли од бибера

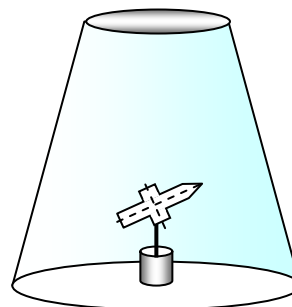
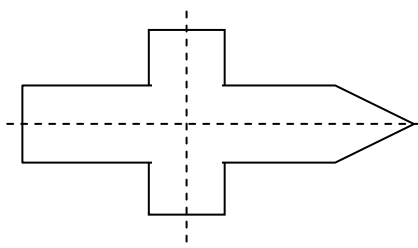
**Објашњење:** Зрнца соли су јонски кристали. Позитивни и негативни јони  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  имају приближно сферну симетрију. У нехомогеном електричном пољу наелектрисаног предмета, електростатичка сила делује на јоне на површини кристала, незнатно их помера и тако настаје раздвајање наелектрисања унутар кристала. Зрнца бибера су углавном састављена од угљоводоничних ланаца, са одређеним атомским групама ( $\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{NO}_3$  – дају биберу јак укус), које бивају раздвојене у електричном пољу наелектрисаног предмета. Електростатичка сила која је већа од тежине соли и бибера, привлачи их ка предмету. При том зрна бибера имају мању масу од зрна соли, те даље одскоче. Кашичица није равномерно наелектрисана због облика. На местима где су испупчења је веће наелектрисање. Због тога висина до које скоче зрнца бибера под утицајем привлачне електричне силе, зависи од места на ком се она налазе, величине поларизације зрна, као и масе. Међутим, потпуно одвајање зрна соли и бибера није могуће постићи.

### Оглед 3.2 - 3

**Потребан прибор:** Крстић од хартије са једним зашиљеним крајем (слика 3.2 – 2), прибадача или игла на изолаторском постољу, свилене тканина, стаклена чаша.

**Ток огледа:** Крстић од хартије мора бити тако подешен да кад се стави на врх прибадаче стоји хоризонтално. Овако постављен крстић на прибадачи поклопи се чашом. Чаша мора бити потпуно сува. Кад се чаша протрља свиленом тканином врх крстића се окреће према том месту. Поново се протрља чаша на друго место крстић се поново помера. На овај начин се може постићи да се крстић окреће.

**Објашњење:** Кад се чаша протрља свиленом тканином наелектрише се само онај део чаше који је протрљан и он привлачи папирни крстић. Кад се чаша протрља на другом месту тада се тај део чаше наелектрише и он привлачи крстић. Због тога се може постићи да се крстић окреће.



Слика 3.2 – 3  
Кретање крстића испод чаше

## 3.3 Две врсте електрицитета

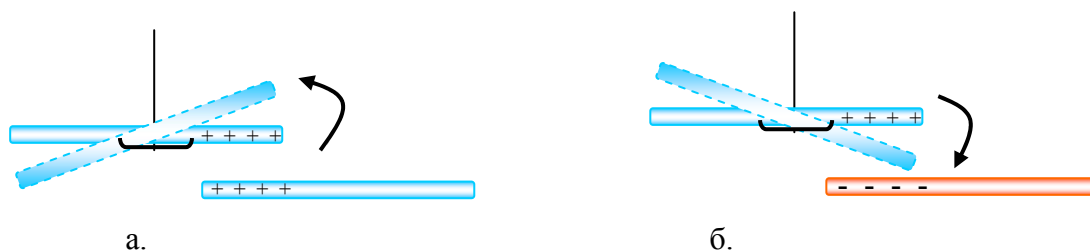
Приликом извођења претходног огледа употребљена је стаклена и ебонитна или поливинилска шипка. Стаклена шипка се трљала свиленом тканином, а ебонитна вуненом. Ефекти су били исти и једна и друга шипка су привлачиле комадиће хартије. Значи обе шипке су се наелектрисале. У чему је разлика то ће се утврдити следећим огледом:

### Оглед 3.3 – 1

**Потребан прибор:** Две стаклене шипке и две ебонитне шипке, свилене и вунена тканина, сталак са носачем.

**Ток огледа:** Једна стаклена шипка се наелектрише трењем са свиленом тканином и постави у носач са сталком (слика 3.3 – 1). Затим се наелектрише друга стаклена шипка и приближи шипки која је окачена. Примећује се да се шипке одбијају. Ово исто се може урадити и са ебонитним шипкама. Ефекат ће бити исти. Ако се у носач постави

наелектрисана стаклена шипка, а онда јој се принесе наелектрисана ебонитна шипка, примећује се да стаклена и ебонитна шипка привлаче.



Слика 3.3 – 1

а - одбијање истоимених наелектрисања  
б - привлачење разноимених наелектрисања

Из овог огледа се изводи закључак да се наелектрисана тела одбијају или привлаче. То значи да постоје две врсте електрицитета. Тела која су наелектрисана истом врстом електрицитета се одбијају (две ебонитне или две стаклене шипке), а тела наелектрисана различитом врстом електрицитета се привлаче (ебонитна и стаклена шипка). По договору је усвојено да је ебонитна шипка носилац негативног електрицитета, а стаклена позитивног.

### Оглед 3.3 – 2

**Потребан прибор:** Електрично клатно, стаклена и ебонитна шипка, свилена и вунена тканина.

Електрично клатно се састоји од постоља на коме се налази савијен држач, о који је окачена куглица од зовине сржи или плуте обавијена станиолом. Куглица се окачи о танак свилени конач или конач од поливинила.

**Ток огледа:** Наелектрисана ебонитна шипка се приближи куглици клатна. Шипка привлачи куглицу. Кад куглица дотакне шипку она се одбија од ње. Ово исто се може урадити и са стакленом шипком, ефекат је исти.

**Објашњење:** Кад је куглица дотакла шипку тада је део електрицитета са шипке прешао на куглицу. Пошто се на овај начин куглица наелектрисала истом врстом



Слика 3.3 – 2

а - одбијање б - привлачење

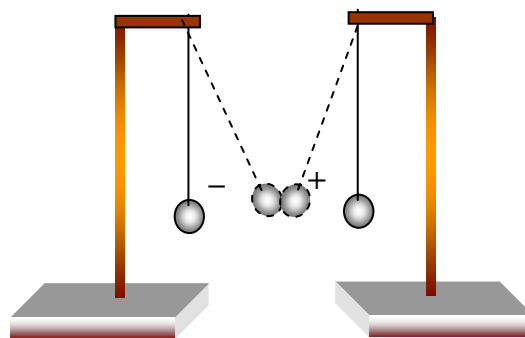
електрицитета (слика 3.3 – 2 а) као и шипка онда долази до одбијања. Ако куглици која је наелектрисана ебонитном шипком приближимо наелектрисану стаклену шипку тада ће доћи до привлачења. Слика 3.3 – 2 б.

### Оглед: 3.3 – 3

**Потребан прибор:** Два електрична клатна, стаклена и ебонитна шипка, свилена и вунена тканина.

**Ток огледа:** Једна куглица се наелектрише ебонитном шипком, а друга стакленом. Затим се куглице приближе једна другој. Примећује се да се оне привлаче. Кад се дотакну више се не привлаче и клатна висе вертикално. Слика 3.3 – 3

**Објашњење:** Приликом наелектрисавања стакленом шипком та куглица је позитивно наелектрисана, а куглица наелектрисана ебонитном шипком је наелектрисана негативно. Кад се једнаке количине позитивног и негативног електрицитета додирну они се неутралишу.

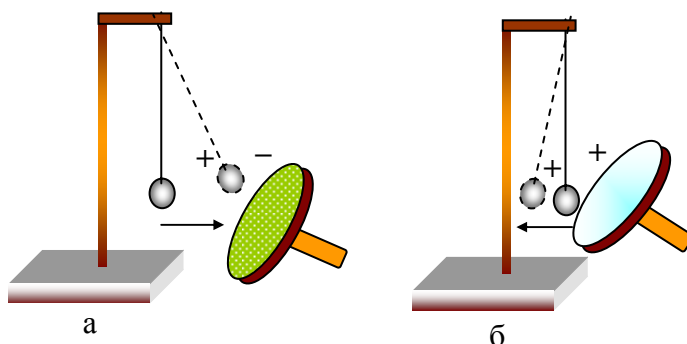


Слика 3.3 – 3  
Разелектрисавање

### Оглед: 3.3 – 4

**Потребан прибор:** На једну изолаторску дршку залепи се стакло, а на другу чоја, електрично клатно, стаклена шипка, свилена тканина.

**Ток огледа:** Клатно се помоћу стаклене шипке наелектрише додиром позитивно. Затим се протрљају стаклена и чојина плочица. Кад се стаклена плочица приближи клатну, клатно се одбија од ње, а кад се клатно приближи плочици од чоје, клатно буде привучено. Слика 3.3 – 4 а, б.



Слика 3.3 – 4  
а - чоја привлачи куглицу  
б - стакло одбија куглицу

**Објашњење:** Приликом трљања два тела једно о друго оба се наелектришу једнаким количинама електрицитета супротног знака. У овом случају стаклена плочица се наелектрисала позитивно, а плочица од чоје негативно. Како је клатно било наелектрисано позитивно тада долази до ефекта који се десио приликом огледа.

### Оглед 3.3 – 5

**Потребан прибор:** Дечији балон.

**Ток огледа:** Надувани балон се протрља о зид, вунену тканину или свеже опрану и суву косу тако да балон буде добро приљубљен уз косу. Балон се држи мало са стране, а затим принесе коси. На овај начин се коса наелектрише истом врстом електрицитета и свака длака се одбија једна од друге па коса стоји усправно.

### Оглед 3.3 – 6

**Потребан прибор:** Пластична плоча, две дебеле књиге, пуно лаких разнобојних ситних папирића, вунена тканина.

**Ток огледа:** Поставити две дебеле књиге на сто, а између њих ситно исечене папириће (величине нокта). На књиге ставити пластичну плочу. Трљати плочу вуненом тканином све док папирићи не почну да се



Слика 3.3 – 6  
Играјући папирићи

исправљају. Неки ће се подићи од плоче и поново одбити од ње, а други ће остати на плочи. Неки ће се привидно лепити један на други градећи разигране парове.

**Објашњење:** Трећем се пластична плоча наелектрише негативним наелектрисањем. Електрично поље, које потиче од плоче, доводи до поларизације наелектрисања у папирићима. Папирићи се подижу, јер су својим позитивним крајем окренути ка плочи и привучени од плоче. Лаки папирићи се одвоје од стола и приљубе уз плочу. Ако је контакт између плоче и папирића слаб, на папириће не прелази негативно наелектрисање плоче и они остају приљубљени уз плочу. При добром контакту електрони прелазе са плоче на папириће и наелектришу се негативно. Овакви папирићи се одбијају од плоче.

### 3.4 Проводници и изолатори

За доказивање да у природи постоје тела која могу да проводе електрицитет и тела која то не могу, послужиће следећи огледи.

#### Оглед 3.4 – 1

**Потребан прибор:** Електрично клатно, стаклена и ебонитна шипка, пластични лењир, суво дрво, метална жица, влажна хартија, влажно дрво, вунена тканина.

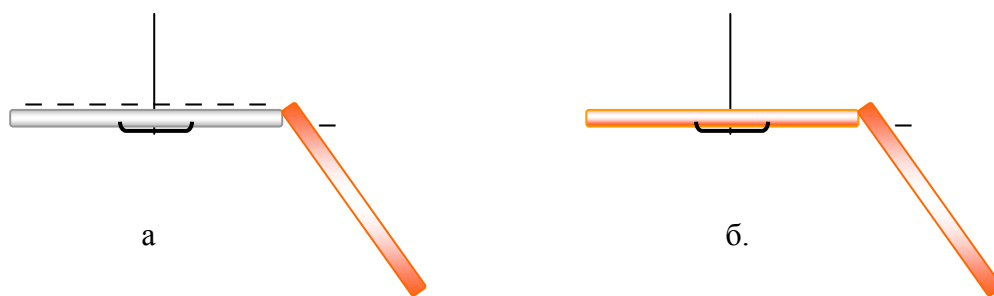
**Ток огледа:** Електрично клатно се наелектрише додиром, наелектрисаном стакленом и ебонитном шипком. Кад се лоптици клатна приближи прст она скрене ка прсту и дотакне га, а затим се врати у свој равнотежни положај. Опет јој се приближи прст. Лоптица се не помера. Значи лоптица није више наелектрисана, разелектрисала се. Поново се наелектрише лоптица, а затим додирне наелектрисаном стакленом шипком или ненаелектрисаним лењиром, сувим дрветом. Кад се лоптици поново приближи прст она креће ка њему. Значи остала је наелектрисана. Када се додирне металном жицом, влажним дрветом или влажном хартијом лоптица се разелектрише.

**Објашњење:** Материјали који су разелектрисали лоптицу зову се проводници, а они који нису називају се изолатори. Разелектрисање лоптице објашњава се електронском теоријом (део 2.2). Проводници у свом саставу садрже слободне електроне који су врло покретљиви док су код изолатора електрони чврсто везани у атому, тако да се не крећу кроз супстанцију. У овом огледу се може видети да је људско тело проводник.

#### Оглед 3.4 – 2

**Потребан прибор:** Метална шипка, конач са носачем, две ебонитне шипке, вунена тканина.

**Ток огледа:** Метална шипка се постави у носач. Наелектрисаном ебонитном шипком се додирне метална шипка. При додиру се чује пукетање, а у мраку се виде



Слика 3.4 – 2

а - Додир ебонитне и металне шипке

б - Додир две ебонитне шипке

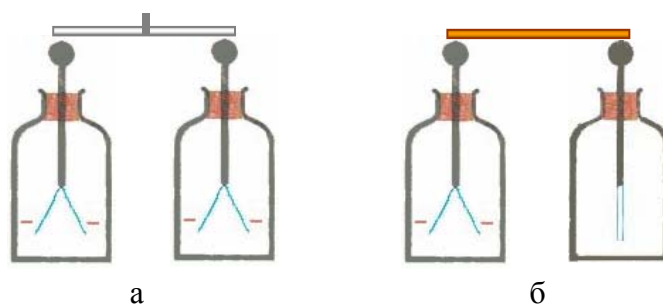


варнице. Затим се метална шипка одбија од ебонитне шипке ма где да јој се примакне. Уместо металне шипке у носач се постави ненаелектрисана ебонитна шипка. Ова шипка се додирне наелектрисаном ебонитном шипком. Не чује се пуцкетање, а нема ни одбијања.

**Објашњење:** Пошто су метални проводници код њих електрони лако прелазе из састава једног атома у други из тог у трећи итд. То су слободни електрони који се налазе на последњој путањи око језгра, а називају се слободни електрони. Код изолатора електрони су чврће везани за атом и не могу лако да се премештају.

#### Оглед: 3.4 – 3

**Потребан прибор:** Два електроскопа, метална шипка са дршком од изолатора, ебонитна шипка, пластични лењир или дрвени лењир (мора бити потпуно сув), вунена тканина.



Слика 3.4 – 3

а - електроскопи спојени проводником

б - електроскопи спојени изолатором

**Ток огледа:** Један електроскоп се наелектрише ебонитном шипком, а други електроскоп остаје ненаелектрисан. Електроскопи се прво споје металном шипком држећи је за изолаторски држач. Примећује се да су се листићи код ненаелектрисаног електроскопа раширили, а код наелектрисаног, листићи су се мало скупили.

Исто ово се понови, али електроскопи се спајају ненаелектрисаним пластичним лењиром. Шта се дешава. Листићи код наелектрисаног електроскопа остају исто размакнути, а код ненаелектрисаног електроскопа остају опуштени. То значи да се није наелектрисао.

**Објашњење** је исто као и код огледа 3.4 – 2 .

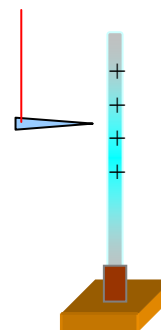
### 3.5 Електрично поље и линије силе електричног поља

#### Оглед 3.5 – 1

**Потребан прибор:** Стаклена шипка, свилена тканина, казаљка од папира окачена о неки изолатор.

**Ток огледа:** Наелектрисана стаклена шипка се постави усправно. Затим се казаљка пажљиво приближи стакленој шипки тако да је не дотакне. Казаљка се полако помера око стаклене шипке али тако да казаљка не додирује шипку. Примећује се да казаљка заузима разне положаје. Слика 3.5 – 1

**Објашњење:** Око сваког наелектрисаног тела јавља се електрично поље. Ово поље се представља линијама сила електричног поља. Казаљка која се покреће око шипке заузима положаје који су исти као и линије силе електричног поља.



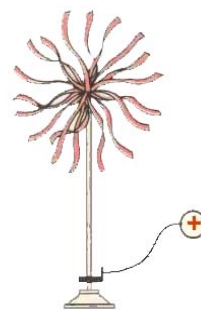
Слика 3.5 – 1

Казаљка у близини наелектрисаног тела

### Оглед: 3.5 – 2

**Потребан прибор:** Изоловани сталак са проводником на чијем врху су причвршћени танки листићи од хартије или пластичног конца. Овакав прибор се назива перјаница. Електростатичка инфлуентна машина, жичани проводник.

**Ток огледа:** Доњи крај проводника на изолованом сталку се споји (нпр. за + пол) са инфлуентном машином. Помоћу инфлуентне машине наелектрише се проводник и листићи хартије на његовом врху. Листићи који су до наелектрисавања били опуштени сад заузимају разне положаје, усправне, косе, хоризонталне и др. Слика 3.5 – 2



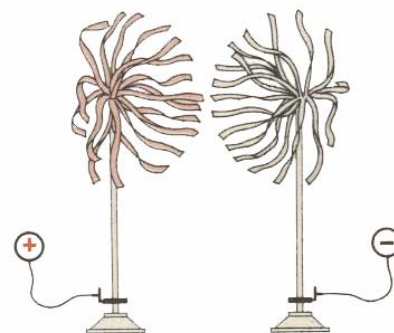
Слика 3.5 – 2  
Наелектрисана перјаница

**Објашњење:** Када се врши наелектрисавање проводника наелектришу се и папирне траке на његовом врху. Све траке се наелектришу истом врстом електрицитета па долази до одбијања. Положаји трака показују линије силе електричног поља.

### Оглед: 3.5 – 3

**Потребан прибор:** Две перјанице, електро-статичка инфлуентна машина, два жичана проводника.

**Ток огледа:** Оба проводника на сталцима споје се за инфлуентну машину тако да се један споји за + пол, а други за – пол. Затим се изврши наелектрисавање оба проводника. И код једног и код другог проводника папирне траке заузимају различите положаје. Затим се проводници са папирним тракама приближе један другом. Примећује се да се листићи хартије једног проводника примичу листићима другог проводника, привлаче се.



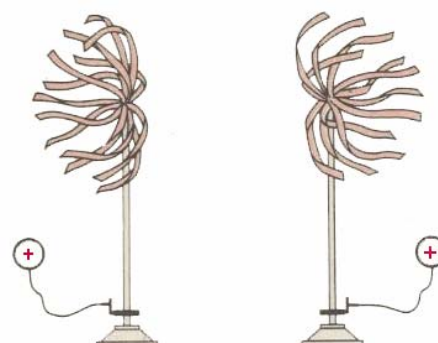
Слика 3.5 – 3  
Облик електричних линија силе код разноимених наелектрисања

**Објашњење:** Како је један проводник са тракама хартије наелектрисан позитивно, а други негативно, и кад их приближимо долази до привлачења. Папирне траке се такође привлаче и заузеће правце односно облик које имају електричне линије силе.

### Оглед 3.5 – 4

**Потребан прибор:** Две перјанице, електро-статичка инфлуентна машина, два жичана проводника.

**Ток огледа:** Оба проводника са папирним тракама се повежу са инфлуентном машином, али оба на исти пол (+ или -). Кад се проводници наелектришу папирне траке заузму положаје правца електричних линија силе. Полако се приближавају проводници један другом. Шта се дешава. Папирне траке једног проводника као да беже од папирних трака другог проводника.



Слика 3.5 – 4  
Облик електричних линија силе код истоимених наелектрисања

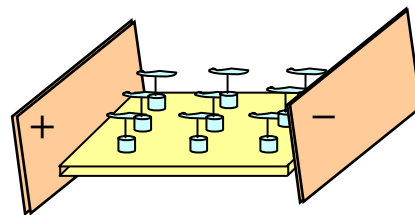
**Објашњење:** Проводник и траке наелектрисане су истом врстом електрицитета и одбијају се па папирне траке показују изглед линија сила при одбијању наелектрисања.



### Оглед 3.5 - 5

**Потребан прибор:** Две металне плоче (25x25 cm), картон на коме су прибадаче на чијим врховима су уске траке од танке хартије (од салвета), инфлуентна машина, два проводника.

**Ток огледа:** Металне плоче се поставе усправно на растојање око 10 cm. Између плоча се постави картон са прибадачама. Плоче се повежу проводником за инфлуентну машину, један за + пол а други за – пол. Листићи на прибадачама стоје опуштени. Кад се плоче наелектришу папирне траке се усправе и заузимају положај у правцу нормалном на плоче.



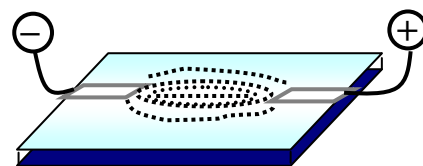
Слика 3.5 – 5  
Папирне траке у хомогеном  
електричном пољу

**Објашњење:** Кад се плоче наелектришу различитим врстама електрицитета тада се између њих јавља електрично поље, а такође плоче привлаче папирне траке које заузимају правац електричних линија силе створеног хомогеног електричног поља.

### Оглед 3.5 – 6

**Потребан прибор:** Стаклена или поливинилска плоча (15x15 cm), ситни опиљци плуте, електростатичка инфлуентна машина, плочице од станиола (5x2), које се залепе на супротним крајевима стаклене плоче, два жичана проводника.

**Ток огледа:** Стаклена плоча се стави на сто и повеже проводницима преко станиолских плочица, за инфлуентну машину једна на + пол, а друга на – пол. Између и око станиолских плочица поспу се опиљци плуте. Затим се помоћу инфлуентне машине плочице наелектришу. Примећује се да опиљци плуте заузимају одређени не хаотичан положај.

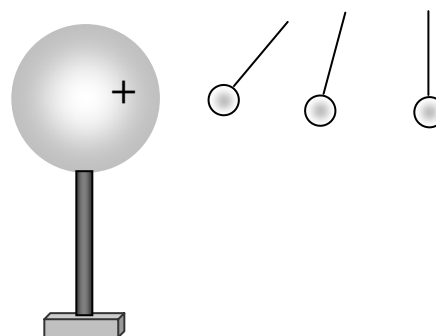


**Објашњење:** Кад се станиолске плочице наелектришу разноименим врстама електрицитета оне привлаче опиљке плуте по правцима, које имају линије силе, створене електричним пољем.

### Оглед: 3.5 – 7

**Потребан прибор:** Метална лопта постављена на изолаторско постоље, поливинилска или ебонитна шипка, електрично клатно, вунена тканина.

**Ток огледа:** Метална лопта на изолаторском постољу се наелектрише додиром помоћу наелектрисане поливинилске шипке. Затим јој се полако приближава електрично клатно. Примећује се да како се клатно све више приближава наелектрисаној лопти тако је и куглица клатна удаљенија од равнотежног положаја.



Слика 3.5 – 7  
Електрично клатно у електричном  
пољу на различитим растојањима

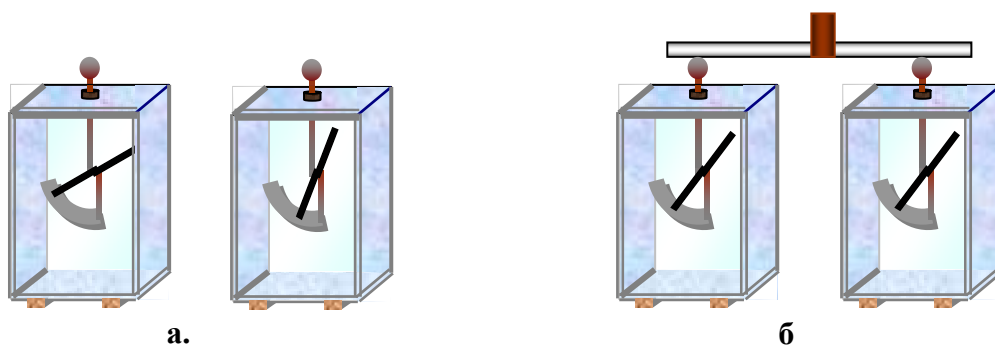
**Објашњење:** Наелектрисана кугла око себе ствара електрично поље. Ако је клатно даље од лопте она је ближе равнотежном положају, а кад је ближе лопти оно је даље од равнотежног положаја. Из овог се може закључити да електрично поље кугле није исто на

различитим растојањима и потврђује Кулонов закон да сила привлачења или одбијања наелектрисања обрнуто зависи од растојања. Овим огледом се може демонстрирати рад у електричном пољу.

### Оглед 3.5 – 8

**Потребан прибор:** два електрометра ебонитна шипка или пластични лењир, вунена тканина, проводник са изолаторским држаčem.

**Ток огледа:** оба електрометра се наелектришу, али један више, а други мање. Потом се споје проводником. После кратког времена електрометри показују исте вредности наелектрисања. Слика 3.5 – 8



Слика 3.5 – 8

а – електрометри различитих потенцијала

б – изједначавање потенцијала

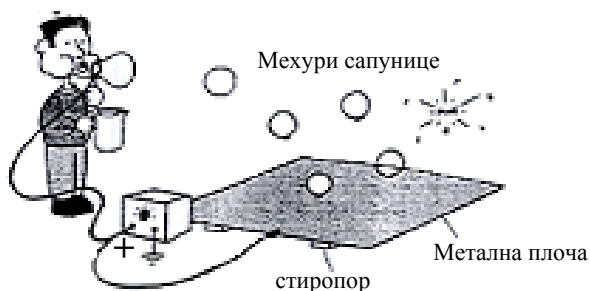
**Објашњење:** Један електрометар наелектрисан већом количином негативног наелектрисања значи да он има и већи потенцијал од другог електрометра који је мање наелектрисан. Кад се електрометри споје проводником тада долази до кретања електрона са електрометра који има већи потенцијал ка електрометру са нижим потенцијалом. Ово се догађа све док се потенцијали не изједначе. Зато електрометри показују исте вредности.

**Напомена:** ако би електрометри били наелектрисани стакленом шипком (позитивно) електрони би се кретали од електрометра са мањим потенцијалом ка оном са већим до изједначавања потенцијала.

### Оглед 3.5 – 9

**Потребан прибор:** Метална плоча површине  $1\text{m}^2$ , или алуминијумска фолија, високонапонски уређај (10 kW), концентрат сапуна за мехуре сапунице, метална жица, пластични штап, стиропор, каблови.

**Ток огледа:** Од металне жице се направи прстен пречника око 5 цм и причврсти на пластични држач (због изолације). Жичани прстен се повеже са + полом високонапонског извора, а напон подеси на 8 до 10 кВ. Метална плоча се постави на стиропор и повеже са + полом извора. Жичани прстен се потопи у концентрат сапунице, а затим се дувањем кроз прстен стварају балони од сапунице. Балоне дувањем усмеравају ка плочи. Примећује се да балони лебде изнад плоче.



Слика 3.5 – 9

Мехури сапунице у електричном пољу

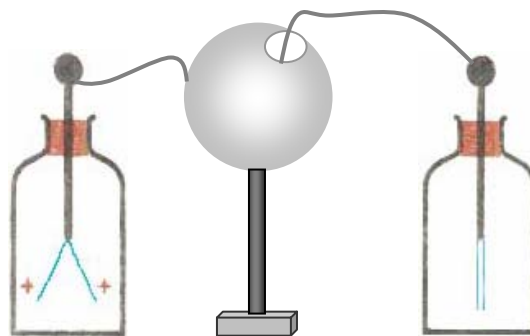
**Објашњење:** Помоћу висконапонског уређаја и метални прстен и плоча се наелектришу позитивно. Преко металног прстена се балони од сапунице наелектришу позитивно. Кад мехур сапунице доспе изнад плоче, он се од ње одбија. Мехур лебди изнад плоче на оној висини на којој је одбијена електростатичка сила иста као и тежина мехура. Ако се плоча повеже са извором у тренутку падања балона на њу они ће бити одбачени увис због одбијања Кулонове силе и остати да лебде изнад плоче.

### 3.6 Распоред електрицитета на проводницима

#### Оглед: 3.6 – 1

**Потребан прибор:** Метална лопта са узаним отвором или метална конзерва од сока (лименка) на изолаторском постољу, два електроскопа, два дужа жичана проводника, поливинилна шипка, вунена тканина

**Ток огледа:** Наелектрисаном поливинилном шипком се наелектрише метална лопта додиром. Један жичани проводник се веже за један електроскоп, а други проводник за други електроскоп. Затим се проводник који је везан за први електроскоп пажљиво провуче кроз отвор лопте и њиме додирне њен унутрашњи зид. Листићи електроскопа се не померају. Другим проводником се додирне зид лопте са спољне стране. Листићи електроскопа се размакну.



Слика 3.6 – 1

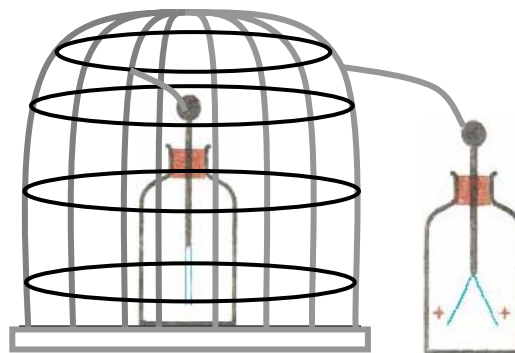
Наелектрисање на проводнику

**Објашњење:** Електрицитет се налази само на спољашњој страни проводника. (одељак 2.11)

#### Оглед 3.6 – 2

**Потребан прибор:** Кавез од металне мреже (димензија да у њега може да стане електроскоп), два електроскопа, два жичана проводника, поливинилна шипка, вунена тканина.

**Ток огледа:** Поставити електроскоп на подлогу која је изолатор и проводником повезати са унутрашње стране кавеза. Поставити кавез преко електроскопа. Други електроскоп повезати на спољашњу страну кавеза. Наелектрисаном поливинилском шипком додирнути кавез. Примећује се да се листићи електроскопа који је ван кавеза размакну, а листићи електроскопа који је у кавезу остају опуштени.



Слика 3.6 – 2

Фарадејев кавез

**Објашњење:** Електрицитет се налази само на спољашњој страни проводника.

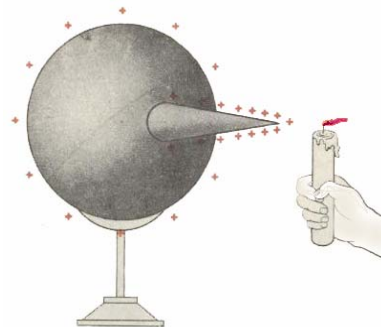
**Напомена:** Овај оглед је изводио Фарадеј за доказивање да се електрицитет распоређује само на спољашњој страни проводника.

### Оглед: 3.6 – 3

**Потребан прибор:** Метална лопта са шиљком, електростатичка инфлуентна машина, свећа, електроскоп.

**Ток огледа:** Помоћу електростатичке инфлуентне машине наелектрише се метална лопта са шиљком. Пламен свеће се приближи шиљку. Примећује се да се пламен повија као да „бежи” од шиљка. Ако се електроскоп примакне шиљку листићи ће се размакнути и остати размакнути кад се удаљи.

**Објашњење:** На врху шиљка је највећа електрична густина. При већем наелектрисању (у овом случају инфлуентном машином), у близини шиљка се створи снажно електрично поље које привлачи или одбија јоне којих увек има у атмосфери. Јони настају на разне начина (дејством космичких зрака из вавионе, дејством радиоактивних зрака из земље или у сударима молекула при високој температури у овом случају највише јона је створено у пламену свеће). Ови јони су снажно привучени или одбијени у електричном пољу шиљка и имају велику брзину стварајући такозвани електрични ветар. Пламен свеће се због тог ветра повија. (слика 3.6 – 3). У облику шиљка ако је позитивно наелектрисан, негативни јони буду привучени на шиљак, а тада у околини остаје вишак позитивних јона који наелектришу електроскоп и његови листићи остају размакнути.



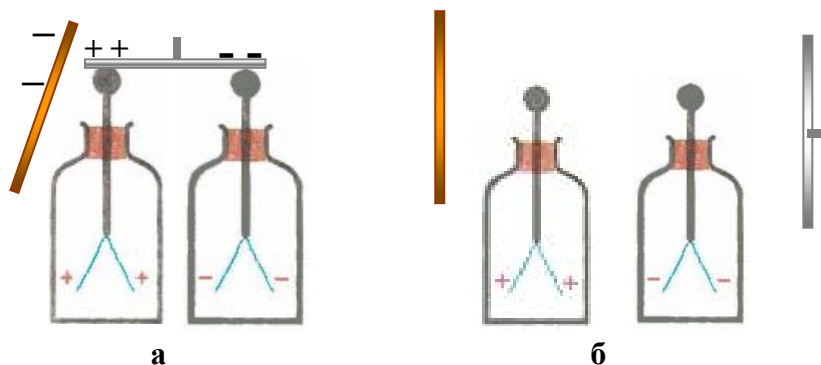
Слика 3.6 – 3  
Свећа у близини шиљка

## 3.7 Електрична инфлуенција

### Оглед: 3.7 – 1

**Потребан прибор:** Два електроскопа, метални проводник са изолаторском дршком, поливинилна шипка, вунена тканина.

**Ток огледа:** Електроскопи се поставе тако да се могу спојити металним проводником. Овако спојеним електроскопима се приближи, једном од њих, наелектрисана поливинилска шипка. Слика (3.7 – 1 а) Шта се дешава. Листићи оба електроскопа се размакну. Затим се поливинилна шипка удаљи, листићи електроскопа се поново врате у почетни положај. Поново се приближи шипка једном од електроскопа. Листићи се поново размакну код оба електроскопа. После овога подигне се проводник и у исто време се удаљи шипка. Примећује се да су листићи код оба електроскопа остали



Слика 3.7 – 1

а - Наелектрисавање електроскопа инфлуенциом  
б - Електроскопи после наелектрисавања

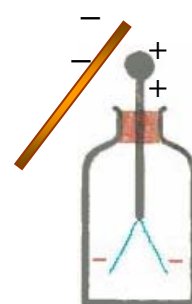
размакнути. Слика 3.7 – 1 б) Ако се наелектрисана шипка приближи првом електроскопу његови листићи почеће да се приближавају један другом, а ако се шипка приближи другом електроскопу његови листићи се још више рашире.

**Објашњење:** Кад се наелектрисано тело приближи проводнику, тада у проводнику долази до раздвајања наелектрисуња под утицајем електричне инфлуенције (слика 2.9 - 1). У овом случају негативно наелектрисана шипка раздвоји наелектрисуње у проводнику па и електроскопима тако да се на ближем крају проводника удаље електрони, који су покретни у проводнику, на његов други крај због Кулонове силе. Кад се истовремено удаљи шипка и проводник са електроскопа, раздвојени електрицитети који су наелектрисали електроскопе остају на њима па су електроскопи наелектрисани разноименим наелектрисуњем.

### Оглед: 3.7 – 2

**Потребан прибор:** Поливинилска шипка, вунена тканина, електроскоп.

**Ток огледа:** Наелектрисана поливинилна шипка се приближи електроскопу. Листићи се размичу. Кад се шипка удаљи листићи се поново врате у првобитни положај. Поново се шипка примакне електроскопу. Листићи се размакну. Ако се електроскоп додирне прстом листићи се врате у првобитни положај. Кад се истовремено удаље шипка, и прст скине са електроскопа, листићи се поново размакну. Кад се сад приближи шипка електроскопу листићи почињу да се приближавају, а кад се удаљи поново се размичу.

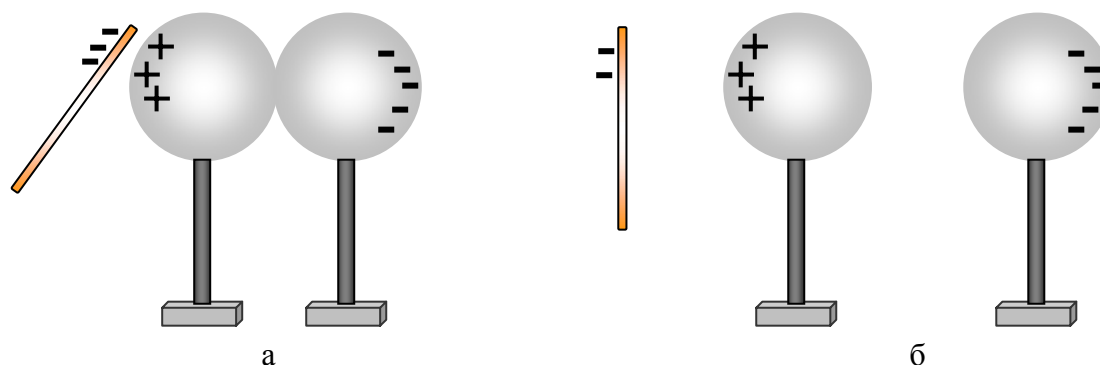


Слика 3.7 – 2  
Наелектрисување инфлуенцијом

**Објашњење:** Кад се наелектрисана шипка приближила електроскопу дошло је до раздвајања наелектрисуња на електроскопу. Шипка је негативно наелектрисана па се на куглици и електроскопу раздвојило позитивно наелектрисуње а на листићима негативно. Кад се ставио прст на куглицу електроскопа тада је негативно наелектрисуње (електрони) са тела прешло на куглицу и успоставила се електрична равнотежа. Одмицањем шипке и прста са електроскопа истовремено, негативно наелектрисуње је остало на електроскопу и он је остао негативно наелектрисан. Због тога су се листићи поново размакли. Да је електроскоп остао негативно наелектрисан доказује се поновним приближавањем шипке електроскопу јер се листићи приближавају.

### Оглед: 3.7 – 3

**Потребан прибор:** Две металне лопте или лименке од сока, поливинилна шипка вунена тканина, електроскоп.



Слика 3.7 – 3

а - Раздвајање наелектрисуња инфлуенцијом

б - Раздвојена наелектрисуња (наелектрисување инфлуенцијом)

**Ток огледа:** Кугле се поставе на изолаторско постоље и приближе једна другој тако да се додирују. Једној од кугли приближи се наелектрисана поливинилна шипка и држи кратко време. Затим се истовремено удаљи шипка и раставе кугле. Кад се једна кугла приближи електроскопу листићи се размичу. То се исто дешава кад се приближи електроскопу друга кугла. Ако се кугле приближе једна другој на малом растојању чује се пукетање и може се видети варница. Кад се кугле поново приближе електроскопу његови листићи се не размичу. (Слика 3.7 – 3).

**Објашњење:** Кад се спојеним куглама приближи наелектрисана поливинилна шипка једној од кугли долази до раздвајања наелектрисања (електрична инфлуенција). Кугла ближе шипки се наелектрише позитивно, а даља негативно. Пошто се истовремено удаљи шипка и раздвоје кугле, на куглама остају наелектрисања, зато се листићи електроскопа размичу кад им се приближе кугле. Кад се кугле приближе на малом растојању једна другој због јаког електричног поља између њих и околних јона у ваздуху долази до преласка електрона са негативно наелектрисане на позитивно наелектрисану. Том приликом се може чути пукетање и видети варница. После изједначавања наелектрисања на обе кугле оне су ненаелектрисане и кад се приближе електроскопу његови листићи остају опуштени.

#### Оглед 3.7 – 4

**Потребан прибор:** Лимена конзерва кока-коле или неког другог сока, пластични лењир, вунена тканина.

**Ток огледа:** Лименка се постави на равну глатку подлогу. Трењем се наелектрише лењир вуненом тканином. Лењир се приближи лименци, лименка почиње да се креће. Лименка је покренута, а није ни пипнута, а није било ни струјања ваздуха. (Слика 3.7 – 5).

**Објашњење:** Кад се наелектрисани лењир приближи лименци долази на њој до раздвајања наелектрисања електричном инфлуенцијом. Део лименке који је ближи лењиру наелектрише се позитивно, а онај део који је даље наелектрише се негативно. Због оваквог распореда наелектрисања на лименци, долази до привлачења с лењиром на коме је наелектрисање супротног знака (негативно).

**Напомена:** Ово исто се може урадити и са пластичном ваљкастом посудicom (изолатор), али шта се тада догађа. Пластична посуда неће да се креће за лењиром. Објашњење је да код изолатора нема слободних електрона па се не јавља електрична инфлуенција него само долази до промене диполног момента унутар молекула. Ова промена се макроскопски не испољава тако видно као електрична инфлуенција код проводника.

#### Оглед 3.7 – 5

**Потребан прибор:** Алуминијумска фолија, свилени конач, пластични троугао, две лименке од сока, стиропор, плута, маказе, вунена тканина.

**Ток огледа:** Начини се мала лоптица од плуте и кроз њу провуче свилени конач и обмота алуфолијом а



Слика 3.7 – 4  
Лименка у шетњи



Слика 3.7 – 5  
Лоптица скакуће између  
лименки



затим се постави на сталак. Троугао се наелектрише трењем о вунену тканину, држећи га за супротан крај. Једна лименка се постави на стиропор. Наелектрисаним троуглом се наелектрише лименка додиром (за бољи ефекат огледа може се лименци неколико пута додати наелектрисање помоћу троугла). Друга лименка се постави на сто поред лименке на стиропору (растојање око 2 cm). Кад се између лименки постави лоптица она почне поскакивати од једне до друге лименке. (Слика 3.7 – 6).

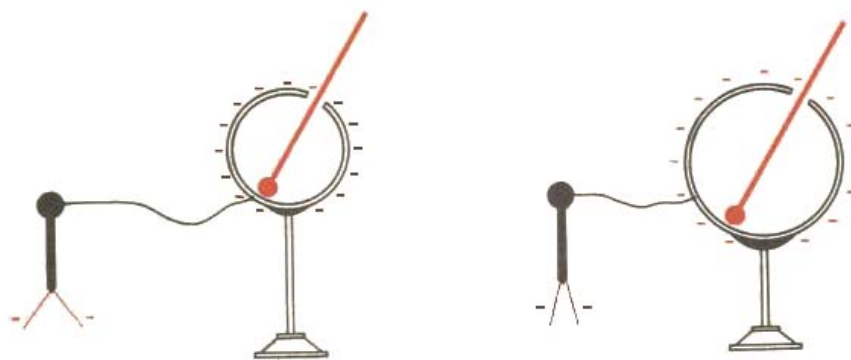
**Објашњење:** Трењем о вунену тканину троугао се наелектрише негативно, а помоћу њега и лименка на стиропору (изолатору). Друга лименка је ненаелектрисана. Кад се лоптица постави између лименки тада је лименка на стиропору привуче. Кад лоптица дотакне лименку, лименка јој преда део свог наелектрисања. При овом додиру лоптица се наелектрише истом врстом наелектрисања као и лименка па долази до одбијања лоптице од ње. Одбијена лоптица дотакне другу лименку. При додиру са ненаелектрисаном лименком, лоптица се разелектрише (предаје своје наелектрисања другој лименци). Како лименка на стиропору поседује још увек доста негативног наелектрисања (електрона) она поново привуче сад ненаелектрисану лоптицу. Лоптица се поново наелектрише негативно, одбије од прве лименке, дотакне другу, разелектрише се, прва лименка је опет привуче и тако овај процес траје док се лименка на стиропору не разелектрише, јер при сваком додиру са лоптицом она губи део свог наелектрисања.

### 3.8 Електрични капацитет и кондензатори

#### Оглед 3.8 – 1

**Потребан прибор:** Две металне лопте или две лименке од сока, једна већа друга мања, преносна лоптица, два електрометра, електроскоп, ебонитна шипка, вунена тканина, два кабла за повезивање.

**Ток огледа:** Металне лопте које се налазе на изолованом постољу, повежу се кабловима за електрометре. Помоћу ебонитне шипке наелектрише се електроскоп. Преносном лоптицом, са електроскопа се пренесе наелектрисање на већу лопту (лименку). Електрометар показује неку вредност. Поново се са електроскопа преносном лоптицом пренесе иста количина наелектрисања на мању лопту (лименку). Електрометар показује већу вредност него код веће лопте (лименке). Ако се преносном лоптицом поново пренесе иста количина наелектрисања на већу лопту (лименку) електрометар показује већу вредност. Ако се лопте (лименке) разликују за дуплу површину тада ће електрометар показивати исту вредност као и код мање лопте (лименке).



Слика 3.8 – 1

Капацитети тела различитих површина

**Објашњење:** Из овог се види да већа метална лопта може да прими већу количину електрицитета од мање па се каже да она има већи капацитет. Пошто се електрицитет нагомилава више на испупченим и шиљатим деловима површине проводника, онда

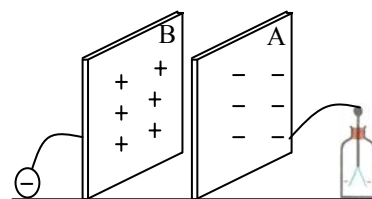
способност примања електрицитета зависи од облика тела. Тела једнаких облика и величине од бакра, сребра, гвозђа или других метала имају једнаке електричне капацитета. Значи да капацитет не зависи од врсте материјала, проводника.

### Оглед 3.8 – 2

**Потребан прибор:** Две металне плоче на изолаторском постољу (А и Б), поливинилна шипка, електроскоп, инфлуентна машина. (Слика.3.8 – 2)

**Ток огледа:** Плоча А се постави паралелно са плочом В. Плоча А се повеже са електроскопом, а плочу В са Земљом. Помоћу поливинилске шипке наелектрише се плоча А. Листићи електроскопа се размакну. Кад се плоча В примиче плочи А листићи се опуштају, а кад се удаљује листићи се опет размакну. Ако се плоче прикључене на инфлуентну машину, једна на + пол друга на – пол и помоћу машине одржава стални напон, примећује се да кад се плоче приближе види се да се напон не мења.

**Објашњење:** Негативно наелектрисана плоча А изазива инфлуентно раздвајање електрицитета на плочи В. Електрони са плоче В долазе у земљу. Плоча В постаје позитивно наелектрисана. Позитивно наелектрисана плоча В дејствује својим електричним пољем на плочу А тако да електрони са електроскопа делимично прелазе на плочу А. Да би се листићи електроскопа размакли као на почетку потребно је на плочу А довести нове електроне. Ово значи да се капацитет плоче А повећао. Кад су плоче прикључене на стални напон нема одвођења електрона у земљу него сво наелектрисање кружи у повезаном систему. Зато се напон на електроскопу не мења.



Слика 3.8 – 2  
Две паралелне плоче за  
показивање промене  
капацитета

### Оглед 3.8 – 3

**Потребан прибор:** Две металне плоче на изолаторским сталцима, инфлуентна машина, плоча од картона димензија као и металне плоче, стаклена плоча или нека друга изолаторска плоча, два проводника.

**Ток огледа:** Обе плоче се прикључе за инфлуентну машину једна на +, а друга на – пол и наелектришу. После наелектрисавања разведу се од инфлуентне машине и поставе паралелно. Једна плоча се повеже са електрометром. Електрометар показује одређени напон. Кад се између плоча постави картон примећује се да се напон смањи. Исто се дешава и кад се између плоча постави стаклена плоча или неки други изолатор.

**Објашњење:** Овако постављене плоче сачињавају кондензатор. Кад се између њих постави изолатор (диелектрик) тада се њихов капацитет повећава због поларизације дијелектрика (одељак 2.13) који изазива додатно електрично поље супротног наелектрисања од наелектрисања на плочама.

### Оглед 3.8 – 4

За показивање поларизације може да послужи оглед, како савити млаз воде не додирујући га.

**Потребан прибор:** Поливинилни лењир или неки други поливинилни предмет чешаљ, кашикица итд., вунена тканина.

**Ток огледа:** Наелектрише се поливинилни предмет и пусти танки млаз воде из чесме. Млазу се приближи наелектрисани предмет. Млаз воде се



Слика 3.8 – 4  
Млаз воде скреће



повија ка наелектрисаном предмету. Ако се предметом дотакне млаз па се после тога поново приближи млазу он се више не повија.

**Објашњење:** Молекули воде представљају електричне диполе, који поседују перманенти диполни моменат. Уколико нема спољашњег електричног поља, електрични диполи воде су неуређени, односно налазе се у стању хаотичног термичког кретања. У нехомогеном електричном пољу, које се ствара око наелектрисаног предмета који се приближи млазу воде, електрични диполи се уређују у правцу поља. У нехомогеном електричном пољу на диполе делују различите силе, а резултујућа сила, која делује између електричних дипола воде и наелектрисаног предмета, савија млаз воде. Ако млаз воде и наелектрисани предметступе у непосредни контакт, долази до преноса наелектрисиња са предмета на млаз воде и предмет се разелектрише. Молекули воде нису више у електричном пољу и поново су неуређени. Зато се млаз воде исправља.

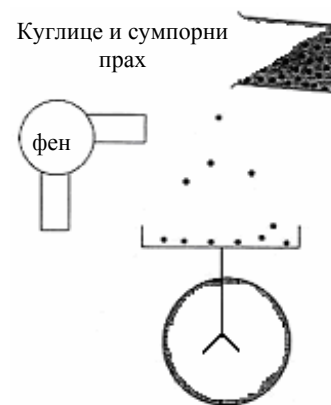
### 3.9. Електричне појаве у атмосфери

#### Оглед 3.9 – 1

**Потребан прибор:** Електроскоп, метална посуда која се може ставити на електроскоп, стаклена чаша, гвоздене куглице ( $\varnothing 3\text{mm}$ ), сумпорни прах, фен.

**Ток огледа:** Металну посуду поставити на електроскоп. У стаклену чашу ставити металне куглице и сумпорни прах и измешати. Мешање радити са неким изолатором нпр. стакленом шипком. Стаклена чаша са смешом се постави на око 10 цм изнад металне посуде тако да њен садржај приликом сипања упада у посуду. Приликом сипања садржаја у металну посуду усмерити «ветар» фена тако да пролази кроз садржај чаше док пада у металну посуду. Струја топлог ваздуха одува скоро сав сумпорни прах из падајуће смеше, тако да у металну посуду упадну све металне куглице са веома мало сумпорног праха. Листићи електроскопа се размакну показујући да постоји наелектрисиња у металној посуди. Слика 3.9 – 1.

**Објашњење:** Атоми сумпора формирају осмоугаони прстен. Кад се чаша у којој се налазе металне куглице и сумпор продрма и добро промеша прстен се разара, те настају радикали са неспареним електронима, који се преносе са сумпора на металне куглице. Сумпор постаје позитивно наелектрисан, а металне куглице негативно наелектрисане. Кад се садржај чаше промеша не наелектрисаним стакленим штапићем, само се део честица разелектрише. Како су гвоздене куглице теже од честица сумпора, топла струја ваздуха са фенамање утиче на њихов пут него на лаке честице сумпора. Честице сумпора бивају одуване, а у металну посуду падају само негативно наелектрисане гвоздене куглице. Размакнути листићи електроскопа показују наелектрисиња гвоздених куглица.



Слика 3.9 – 1  
Симулација непогоде

#### Оглед 3.9 - 2

**Потребан прибор:** Два балона, конач дужине 1m, вунена тканина, игла или чиода, селотејп.

**Ток огледа:** Надувати два балона, завезати их концем, а потом оба конца везати за трећи и причврстити селотејпом за зид или орман (слика 3.9 – 2). Ако се оба балона протрљају истим материјалом, нпр. косом или вуненом тканином одбијаће се и стајати на одређеном растојању један од другог. Ако се метални шиљак, игла или чиода, руком принесу између балона, балони се крећу један према другом (слика..). Ако се игла удаљи

они остају у истом положају, близу један другом. Ако се жели приказати само узајамно одбијање балона, потребно је један балон концем причврстити за ћебе. Ако се



Слика 3.9 – 2  
Модел Френклиновог громобрана

наелектрисани балон приближи ненаелектрисаном, ненаелектрисани балон се помера из положаја мировања, односно бива одбијен.

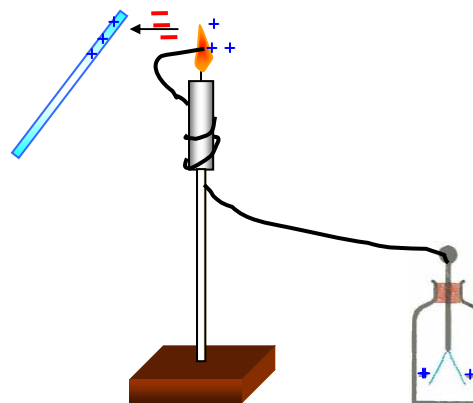
**Објашњење:** Балони су протрљани истим материјалом значи они су наелектрисани истоименим наелектрисицањима. Ако су наелектрисани негативно, кад се приближи игла између њих тада се електрони у металу, услед индикације, скупе на доњи крај игле и преко руке одлазе у земљу. Врх игле је позитивно наелектрисан и привлачи негативно наелектрисане балоне. На позитивно наелектрисаном шпицу долази до пражњења. Линеје електричног поља у близини шпица су велике густине, односно око шпица се образује јако електрично поље. У ваздуху су присутни носиоци наелектрисицања, (настали космичким зрачењем), који у јаком пољу имају довољну енергију да врше даљу јонизацију. Настали јони разелектришу балоне, тако да се после хлађења игле они више не одбијају.

### Оглед 3.9 –3

**Потребан прибор:** Свећа, изолаторска шипка, два проводника, електрометар, стаклена шипка, свилена тканина.

**Ток огледа:** Свећа се причврсти на изолаторску шипку тако да стоји усправно. Око свеће се намота проводник, а његов горњи крај стави у пламен свеће, а други крај повеже са електрометром. Кућица електрометра се повеже са земљом. Запаљеној свећи се приближи наелектрисана стаклена шипка. Електрометар показује да постоји наелектрисицање, отклоном казаљке.

**Објашњење:** У пламену свеће, услед високе температуре, стварају се позитивни и негативни јони. Док се пламену свеће не приближи наелектрисана шипка они се крећу хаотично и отприлике исти број позитивних и негативних јона делује на проводник у пламену



Слика 3,9 – 3  
Кретање јона у атмосфери

свеће тако да електрометар не региструје наелектрисање тј. он је електро неутралан. Кад се пламену приближи стаклена позитивно наелектрисана шипка у том простору се образује електрично поље. Негативни јони се сад крећу ка стакленој шипци, а позитивни ка проводнику у пламену, тако да проводник постане позитивно наелектрисан, а то се региструје електроскопом.

#### **Оглед 3.9 – 4**

**Потребан прибор:** Посуда (од керамике, шољица за кафу или нешто слично), вата, етар, дужа (2 – 3m) мотка, електрометар, један дужи проводник, један проводник за уземљење електрометра.

**Ток огледа:** Посуда у којој се стави вата са етром, причврсти се за мотку. Дужи проводник се намота око мотке, а његов горњи крај постави тако да буде у пламену запаљене вате натопљене етром. Други крај проводника се повеже са електрометром. Кад се мотка подиже навише електрометар показује да се проводник наелектрише, отклоном казаљке.

**Објашњење:** Пошто је Земља негативно наелектрисана, јони који се створе у пламену, негативни и позитивни понашају се тако да се крећу под утицајем електричног поља Земље. Негативни јони се одбијају тј. имају супротан смер кретања, а позитивни се крећу ка Земљи. Пошто у електричном пољу Земље долази до вишка позитивних јона, (због привлачења), а мањка негативних, (због одбијања) тада се проводник а тиме и електрометар наелектришу позитивно.

**Напомена:** Овај оглед се изводи напољу по лепом времену.

Поред наведених огледа наставник са својим ученицима може да изведе и друге огледе према постојећем прибору и инструментима, а такође може да сачини прибор и искористи нека приручна средства која се могу наћи у свакодневном животу.

## 4. Тематска јединица електростатика

У предходним одељцима је изложена општа теорија о електричним појавама, електростатика, које се јављају у природи као последица структуре супстанције. Поред личних искустава о електрицитету са којим су се ученици сигурно срели, у школи се први пут упознају са појмом наелектрисавања тела и електрицитетом у IV разреду основне школе и то само један час у оквиру наставне теме материјали и његове одлике.

Детаљније упознавање ученика са електричним појавама почиње у VIII разреду основне школе и II разреду средње школе. Да би ученици схватили појаве и усвојили нове основне термине из области електрицитета треба у обради наставних јединица следити поступан редослед у излагању градива уз обавезно демонстрирање тих појава и њихово логично објашњење.

### 4.1 Опште методичке напомене

Тематска јединица, електростатика, са којом почиње излагање о општим електричним појавама обрађује се 10 школских часова у основној школи и 10 до 15 часова у средњој школи. Број часова у средњој школи зависи од врсте школе (гимназија или средња стручна школа), а и од нивоа школе (друштвени смер гимназије, економска школа итд).

У оквиру наставне теме, електростатика, у основној школи предвиђено је према програму, 5 часова за излагање новог градива и 5 часова за систематизацију и утврђивање усвојених појмова. У оквиру ових часова потребно је да ученици усвоје појмове, како се наелектрисавају тела, разлику између проводника и изолатора, појам о елементарној количини наелектрисања, узајамно деловање наелектрисаних тела, Кулонов закон, електрично поље, рад силе електричног поља, напон, веза између напона и хомогеног електричног поља и електричне појаве у атмосфери. Поред ових појмова који су наведени у садржају програма, мора се нагласити постојање две врсте електрицитета и да од њиховог односа у супстанцији зависи и стабилност те супстанције. У објашњавање стабилности атома не треба улазити јер се та област опширније излаже у тематској јединици, елементи атомске и нуклеарне физике. Такође треба обратити пажњу на распоред електрицитета на проводнику. Поред овога ученици треба указати како се електростатичке појаве и особине наелектрисаних тела могу искористити у техници и обичном животу. Такође их треба упознати са негативним последицама које могу бити изазване електростатичким појавама, и како се могу уклонити, због опште безбедности.

Што се тиче излагања електростатике у средњој школи значајно је посебно обратити пажњу на рад у електричном пољу, напон, капацитет проводника и примена капацитета (кондензатори).

Излагање градива у средњој школи базира се на вербално – илустративној методи, али ово не значи да се не могу извести поједини демонстрациони огледи.

Огледи као што су 3.3 – 1 и 3.7 – 1, подсетиће ученике како се тела могу наелектрисати и постојању две врсте наелектрисања. При обради рада електричног поља може се извести оглед 3.5 – 7. Куглица се може помоћу изолатора приближити или удаљити у електричном пољу које потиче од наелектрисане кугле. При обради капацитета проводника и кондензатора могу се извести огледи 3.8 – 1, 3.8 – 2, 3.8 – 3. За показивање како се понаша дипол у електричном пољу може послужити оглед 3.8 – 4. У сваком случају треба увек тежити да се нека појава прикаже адекватним демонстрационим огледом.

## 4.2 Наставне методе, облици и средства

Наставне методе могу бити вербалне, демонстрационо – илустративне и лабораторијско – експерименталне. Од вербалних метода користи се усмено излагање, углавном у форми дијалога, где наставник својим начином излагања треба да наведе ученике да сами изведу одређене закључке. Монолог је оправдано користити само у случају кад се излаже сасвим ново градиво и кад се оно жели представити ученицима на систематичан прегледан и логичан начин, а за кратко време. Монолог карактерише изражену наставникову активност и релативно пасиван положај ученика. У конкретном случају монолог би се користио у објашњавању структуре супстанције на основу атомске теорије, упознавање са историјским развојем науке о електрицитету и објашњавању електричног поља као једног од облика материје. Најважнија наставна метода која се користи за објашњавање електричних појава је демонстрациона. Демонстрациони огледи, којима ће бити приказане електричне појаве су једноставни и сваки ученик их може извести. Осим овакве експерименталне методе наставног типа у обради теме о електрицитету могу се користити огледи ван наставног типа као и практични радови ученика. Систем учења који се на овакав начин остварује доприноси дубљем зрелијем и трајнијем усвајању знања, у односу на уобичајено механичко учење.

Групни рад је један од наставних облика погодан за обраду тематске јединице о особинама електрицитета. Број ученика у групи зависи од броја ученика у одељењу и креће се од 4 до 5 ученика.

Наставна средства која се користе у обради ове наставне јединице су слике, цртежи, као и постојећи лабораторијски прибор (стаклена и ебонитна шипка, електроскоп, електрометар, инфлуентна машина ...). Поред лабораторијског прибора могу се користити и прибори из свакодневног живота ученика (пластични троугао, чешаљ, салвети, лименке, алуфолије, ...).

Поред записа у свескама, ученици треба активно да користе уџбеник, као један од најважнијих извора знања, јер је у њему логично и прегледно представљено све оно што је потребно да усвоје за ову наставну тему према свом узрасту. Да би се знања употпунила и трајније задржала, потребно је ученике упутити и у друге изворе знања, радна свеска, стручни часописи, ТВ – емисије, интернет и сл. У пракси је потврђено да такви необавезни начини стицања знања позитивно утичу на ученике овог узраста, а нарочито ако су илустровани сликама и симулацијама.

## 4.3 Структура и ток часа

Под структуром наставног часа подразумева се унутрашња повезаност и међусобни однос појединих програмско-садржајних елемената и њихова временска распоређеност. Према програмско-садржајној структури, наставни час треба да садржи следеће основне елементе: организацију наставног часа, проверу домаћих задатака, обнављање и утврђивање пређеног градива у циљу припреме ученика за усвајање нових наставних знања, излагање новог градива, синтетизовања обрађене методске јединице и задавање домаћег задатка. Кад је реч о временској структури наставног часа физике, прихваћена је шема: уводни, главни и завршни део часа. Ова подела не значи никакву одвојеност, нити наставник треба да наглашава када почиње нови део часа, ради се само о покушају обједињавања групе сродних информација у једну целину. У наставку рада, приказан је један од могућих концепата наставних часова предвиђених за обраду наставне теме из области електрицитета, електростатика.

## **Први час**

Уводни део часа био би посвећен понављању градива из VI разреда о структури супстанције, и подсећању ученика шта су радили на часовима хемије о структури супстанције у VII разреду, а затим приступити објашњавању атомске структуре. После овог дела часа ученици се кроз разговор подсети како су наелектрисавали тела у IV разреду (наелектрисавање тела непосредним додиром), а неко од ученика може извести оглед 3.2 – 1. Овај уводни део часа био би нешто дужи од уобичајених 5 до 7 минута.

У главном делу часа потребно је ученицима указати на развој науке о електрицитету, да би стекли осећај да је то дуготрајан процес и да до објашњења неких појава треба мукотрпан и истрајан рад великог броја људи. Затим огледом 3.3 – 1 у форми разговора објаснити постојање две врсте електрицитета и како оне делују једно према другом, а може се извести и оглед 3.3 – 2 који би ученици покушали да објасне. Затим се помоћу огледа 3.4 – 3 такође разговором објасни разлика између проводника и изолатора. Можда би се овде могло и поменути постојање полупроводника који имају велику примену у савременој техници.

У завршном делу часа укратко се понови шта је рађено на часу и шта је закључено, на који начин се могу наелектрисати тела, врсте наелектрисања и постојање проводника и изолатора. У овом делу се може приказати оглед 3.2 – 2 за показивање практичне примене наелектрисаног тела. За домаћи задатак може се дати ученицима да изведу оглед 3.3 – 5.

## **Други час**

У уводном делу овог наставног часа кроз разговор, како је коме успео оглед који је препоручен за домаћи, понови се садржај претходног часа. Затим неко од ученика понови оглед 3.4 – 3 уз објашњење.

Главни део часа започиње се, (пошто је већ потребан прибор употребљен у претходном огледу), огледом 3.7 – 1 и објасни наелектрисавање тела без непосредног додира тј. електричном инфлуенцијом (електростатичка индукција). Како су на овај начин оба електроскопа наелектрисана једнаким количинама електрицитета али супротног знака може се објаснити закон о одржању количине наелектрисања. Такође за објашњење овог закона може да се изведе оглед 3.3 – 3. За наелектрисавање тела електричном инфлуенцијом може неко од ученика уз упутство наставника извести оглед 3.7 – 2.

Завршни део часа се употреби за понављање на који се начин могу наелектрисати тела (непосредним додиром и електричном инфлуенцијом) и понови закон о одржању електрицитета уз извођење огледа неког од ученика. За домаћи се може препоручити ученицима да изведу оглед 3.7 – 5 и да покушају да га објасне у својој свесци.

## **Трећи час**

Прва половина трећег часа наставне теме електростатика углавно би био посвећен понављању градива са претходна два часа и проверити како је успео препоручени оглед, а у другој половини би се објаснило међусобно деловање наелектрисаних тела и Кулонов закон. За ово објашњење користио би се оглед 3.5 – 7 тако што би се куглица у једном случају наелектрисала позитивно, а у другом случају негативно, с тим што би кугла била наелектрисана позитивно.

## **Четврти час**

Почетак часа започети огледом 3.7 - 2, који би извео неко од ученика уз објашњење и оглед 3.5 – 7.

Затим би главни део часа био посвећен објашњењу електричног поља као једног од облика материје. Помоћу огледа 3.5 – 2, 3.5 – 3 и 3.5 – 4 објаснити кроз разговор

електричне линије силе и да оне служе само за сликовито представљање електричног поља. Огледом 3.5 – 5 објаснити хомогено електрично поље. После овога може се објаснити распоред електрицитета на проводницима огледом 3.6 – 2, а огледом 3.6 – 3 показати дејство шилка.

На крају часа укратко поновит и проверити како су ученици схватили појам електричног поља, на који начин су разумели електричне линије силе и хомогеност поља, као и наачин разумевања распореда електрицитета на проводницим.

#### **Пети час**

На почетку часа понови се на који је начин распоређено наелектрисање на проводницима и дејство шилка. Потом се провери како је схваћен појам електричног поља и начин његовог представљања помоћу линија силе. Потом неко од ученика изведе оглед 3.5 – 7 уз објашњење.

Док је прибор за оглед на столу наставља се са објашњавањем рада у електричном пољу и рад који врши електрично поље. После овога се помоћу огледа 3.5 – 8 прелази на објашњавање појма потенцијала и напона. Овде је битно да ученици схвате да је напон разлика потенцијала, а не како често бива, да је за њих напон и потенцијал једно те исто.

Завршни део часа искористити за проверу како су схваћени и усвојени појмови обрађени у главном делу часа.

#### **Шести час**

Овај час би трбало да буде час за утврђивање и обнављање појмова обрађених на часовима четир и пет уз ученичко извођење огледа и објашњавање.

#### **Седми час**

Уводни део часа се посвети поновном обнављању појма електрично поље, распоред електрицитета на проводницима, потенцијал и напон уз извођење огледа 3.5 – 7 и 3.5 – 8 и обавезно објашњавање ученика.

Главни део часа ће се искористити за упознавање ученика са електричним појавам у атмосфери. Постојање јона у атмосфери објасни се и покаже огледом 3.9 – 3. За заштиту од удара грома уз објашњење громобрана прикаже се оглед 3.9 – 2. Овде је потребно и ученицима указати на који начин је Френклин експериментисао да би доказао да су муња и гром електричне природе. Потребно им је рећи да је руски научник Попов погинуо при извођењу сличног огледа.

У завршном делу часа поновити изложено градиво да би се проверило како су ученици схватили шта су јони и како утичу на атмосферске појаве. Приликом понављања може се извести оглед 3.9 – 2

#### **Осми час**

Осми час би обухватио обнављање и систематизацију пређеног градива тематске јединице, електрицитет, уз извођење и објашњавање огледа 3.3 – 1 (две врсте наелектрисања), 3.4 – 3 (проводници и изолатори), 3.7 – 1, 3.7 – 2 (електростатичка инфлуенција), 3.5 – 8 (напон и потенцијал), 3.6 – 2 3.6 – 3 (распоред наелектрисања на проводницима, дејство шилка) и 3.9 – 2 (електричне појаве у атмосфери). Овај час је потребно искористити за припрему ученика да самостално изводе демонстрационе огледе.

#### **Девети час**

Овај час је предвиђен за самостално извођење демонстрационих огледа у групи. На почетку часа ученици се поделе у пет група према извученим бројевима од 1 до 5. Једну групу сачињавају ученици који имају исти извучени број. Оглед број 1 изводе ученици



прве групе и тако редом. Уз помоћ наставника свака група узима потребана прибор за извођење огледа и поставља на за то оређен сто.

Предвиђени огледи:

1. Оглед 3.3 – 1 (наелектрисавање тела, две врсте електрицитета, узајамно дејство наелектрисаних тел)
2. Оглед 3.7 – 1 (електрична инфлуенција, проводници и изолатори, закон о одржању електрицитета)
3. Оглед 3.6 – 3 (електрично поље, распоред електрицитета на проводницима)
4. Оглед 3.5 – 8 (потенцијал и напон)
5. Оглед 3.9 – 2 (електричне појаве у атмосфери)

Огледи су одабрани према томе које појаве објашњавају, делом према постојећој опреми и прибору који се налази у школи. Пре почетка извођења огледа сваки ученик добија детаљно упутство за извођење свих 5 огледа са питањима која су везана за област електростатике. За сваку вежбу предвиђено је 5 до 7 минута. После завршетка извођења огледа ученици враћају прибор на за то предвиђено место. Док ученици изводе огледе наставник кроз разговор са њим проверава како су схватили изведен оглед и да ли су сви ученици извели оглед.

Питања која су дата уз упутства за огледе могу бити:

1. Наведи на који начин се могу наелектрисати изолатори.
2. Написати назив јединице за количину наелектрисања и како се означава.
3. Кад ће се два наелектрисана тела одбијати.
4. Навести име научника који је уочио однос између два наелектрисања.
5. Како су рапоређена наелектрисања на Фарадејевом кавезу.
6. Написати чему је сразмеран потенцијал наелектрисаног тела.
7. Написати: назив јединице за потенцијал и њену ознаку.
8. Шта је напон и како се означава, назив и ознака јединице?
9. Која је разлика између муње и грома?
10. Који уређај служи за заштиту од удара грома?

### **Десети час**

Овај час је предвиђен за систематизацију и обнављање усвојених појмова при обради тематске јединице електростатика. У звршном делу часа потребно је ученике упознати са неким практичним примерима електростатичких појава који је обрађен у одељку 2.15.

У овом делу представљен је само један од могућих начина како се може изложити тематска јединица електростатика у основној школи. Излагање ове теме у средњој школи је на нешто вишем нивоу и базира се на искуству и математичком знању ученика, али како је раније напоменуто (одељак 4.1) и овде је потребно кад год је могуће изводити демонстрационе огледе и обавезно у њима укључити ученике.

Огледи наведени у делу 3 који се не изводе на часовима редовне наставе, могу се изводити на часовима додатне наставе и секцији, а такође и на наставном часу ако постоји могућност.

## Закључак

Електрицитет ученици почињу да упознају у IV и VIII разреду основне школе, а затим у II разреду средње школе. Паралелно са узрастом, расте и сложеност појмова које треба усвојити да би се објаснила ова тематска јединица. Ако се за неку тематску јединицу из физике са сигурношћу може тврдити да се допада ученицима, да их интригира и да о њој имају сасвим пристојно предзнање, стечено искуством, онда је то свакако електрицитет. То је чињеница која олакшава рад наставнику, али у исто време и обавезује, јер је потребно све те електричне појаве и објаснити. Једноставно речено, квалитет знања ученика мора напредовати с узрастом. Да би се то остварило, пресудна је улога наставника као предавача, организатора и мотиватора. У конкретном случају електростатике, осим уобичајеног објашњавања нових појмова, наставник мора да води рачуна и о следећем:

- мора инсистирати на логичном редоследу увођења нових појмова и физичких величина и на чињеници да је то у стварности био дуготрајан процес, јер се неком од ученика увек може учинити да је целокупни сазнајни процес трајао колико и излагање наставника;
- посебну пажњу треба да усмери на адекватну интерпретацију појма електричног поља као конкретног случаја физичког поља, односно специјалног случаја постојања материје;
- аналогију са гравитацијом може користити у објашњавању електричног поља, али уз неопходно наглашавање њихових разлика где је то потребно;
- обавезно да укаже на непрекидност електричног поља, то јест на чињеници да оно постоји у свим тачкама простора, а не само на електричним линијама силе;
- ученицима треба указати на то да електрично поље постоји не само код макроскопских тела него и код микрочестица и да су ова прва резултат суперпонирања микроелектричних поља;
- ма колико експерименти у настави били визуелно атрактивни на макроскопском плану, неопходно је завирити у структуру супстанције да би се они објаснили, јер чисто макроскопски (феноменолошки) приступ у проучавању ове теме може да се доведе само до нивоа емпиријских закључивања;

Једноставни огледи, које може извести сваки ученик, од изузетног су значаја како за разумевање појава и систематско стицање знања из области електрицитета, тако и за увођење научног метода у свакодневну наставу. Коначан циљ је целовито објашњење појаве електрицитета на нивоу датог узраста, уз научни и методолошки приступ теми.

Често бива да нас неки догађаји који се десе у детинству прате цео живот. Можда ће и неки од ових огледа о електрицитету заинтересовати неког ученика и пратити га цео живот, као што се десило великом проналазачу Николи Тесли. Наиме једне вечери пред непогоду он је помиловао свог љубимца, мачка, при том се између његове руке и мачкових леђа појавио плусак праскавих варница. Теслин отац, Милутин, је сматрао да је то иста она појава која изазива громове. Мали Никола је очаран појавом размишљао: није ли природа једна огромна мачка? Ако јесте ко њу милује по леђима. А зна се да га је електрицитет пратио цео живот.

Ако је овај рад барем делимично помогао расветљавању појаве, електрицитет, и ако је својим садржајем и начином излагања успео да заинтересује икога да сазна нешто више о електрицитету, његов задатак је испуњен.

## Литература:

1. Др Душанка Ж. Обадовић, Једноставни експерименти у настави физике (скрипта), Нови Сад, 2006/2007.
2. Др инж. Драгиша М. Ивановић, Инж. Властимир М. Вучић, Физика II електромагнетика и оптика, Научна књига, Београд 1976.
3. Др. Иван Јанић, Основи атомске физике (скрипта), Нови Сад, 1992
4. Др Ђорђе Мушички, Увод у теоријску физику II, Завод за издавање уџбеника социјалистичке републике србије, Београд, 1965.
5. Агнеш Капор, Петар В. Вуца, Општи курс физике, Зрењанин. 2007.
6. Белешке са предавања др. Радомира Кобиларова, Физика јонизованих гасова, ПМФ, Нови Сад, 2007.
7. Милан Распоповић, Светозар Божин, Емилио Даниловић, Физика за II разред гимназије природно-математичког смера, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1994.
8. Др. Гојко Димић, Душан Илић, Јездимир Томић, Физика за VIII разред основне школе, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1976.
9. Винко Ковачевић, Бранка Бечановић, Природа и друштво уџбеник за IV разред основне школе, „Клет”, Београд 2007.
10. Живко К. Костић, Између игре и физике, Новинско издавачко предузеће „Техничка књига”, Београд, 1962.
11. Милан О. Распоповић, Методика нставе физике, Завод за уџбенике и наставна срдства, Београд, 1992.
12. Службени гласник РС – Просветни гласник, број 9, Београд, 21. јул 2006.
13. [www.tehnika.edu.yu/tehniclass/radovi/elektrotehnika/elektrotehnika.html](http://www.tehnika.edu.yu/tehniclass/radovi/elektrotehnika/elektrotehnika.html) - 37k
14. <http://tesla.pmf.ni.ac.yu/people/nesiclj/predavanja/biologija/2005/fizika>.
15. <http://www.tsrb.hr/prirodoslovlje/downloads/pokus.pdf>
16. [http://eskola.hfd.hr/atmosferski\\_elektr/](http://eskola.hfd.hr/atmosferski_elektr/)
17. <http://sr.wikipedia.org/wiki>
18. <http://www.infovek.sk/predmety/fyzika/expert02/pokus07.html>

### **Кратка биографија кандидата**



Милан Толмач, рођен 30.05.1951. године у Мокрину где је завршио основну школу. Гимназију је завршио у Кикинди, а потом Вишу педагошку школу у Зрењанину. Запослен у „MSK “ Кикинда

## DEMONSTRACIONI OGLEDI IZ ELEKTRICITETA

UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

### KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

*Redni broj:*

**RBR**

*Identifikacioni broj:*

**IBR**

*Tip dokumentacije:*

Monografska dokumentacija

**TD**

*Tip zapisa:*

Tekstualni štampani materijal

**TZ**

*Vrsta rada:*

Diplomski rad

**VR**

*Autor:*

Milan Tolmač

**AU**

*Mentor:*

Dr. Dušanka Obadović, redovni profesor

**MN**

*Naslov rada:*

Demonstracioni ogledi iz elektriciteta

**NR**

*Jezik publikacije:*

srpski (ćirilica)

**JP**

*Jezik izvoda:*

srpski/engleski

**JI**

*Zemlja publikovanja:*

Srbija

**ZP**

*Uže geografsko područje:*

Vojvodina

**UGP**

*Godina:*

2008.

**GO**

*Izdavač:*

Autorski reprint

**IZ**

*Mesto i adresa:*

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,  
Novi Sad

**MA**

*Fizički opis rada:*

4/63/9/1/63/0/0

**FO**

*Naučna oblast:*

Fizika

**NO**

*Naučna disciplina:*

Demonstracioni eksperiment u nastavi

**ND**

*Predmetna odrednica/  
ključne reči:*

Elektricitet, elektrostatika, nastava fizike

**PO**

**UDK**

*Čuva se:*

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

**ČU**

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Važna napomena:</i>                    | nema                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>VN</b>                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Izvod:</i>                             | Demonstracioni ogledi iz elektriciteta za nastavnu temu elektrostatika. Prikazan je razvoj nauke o elektricitetu i opšta teorija iz elektrostatike. Posebna pažnja u radu posvećena je metodama koje se koriste u nastavi fizike. U cilju što boljeg razumevanja pojava iz elektrostatike, kao i uvođenja naučnog metoda u svakodnevnu nastavu, prikazani su demonstracioni ogledi, odabrani tako da svaki od njih reprezentuje po jednu osobinu naelektrisanih tela, naelektrisanje tela, dve vrste elektriciteta, električno polje, linije sila električnog polja, raspored naelektrisanja na provodnicima, kapacitet provodnika, električne pojave u atmosferi i primena elektrostatike. |
| <i>Datum prihvatanja teme od NN veća:</i> | 18. 05 2007.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>DP</b>                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Datum odbrane:</i>                     | 11.01.2008.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>DO</b>                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Članovi komisije:</i>                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>KO</b>                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Predsednik:</i>                        | dr. Srđan Rakić, docent                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <i>član:</i>                              | dr. Milan Pantić vanredni profesor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <i>član:</i>                              | dr. Dušanka Obadović, red. prof.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

## DEMONSTRATIONAL EXPERIMENTES FROM ELEKTRICITU

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

### KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:*

Monograph publication

**DT**

*Type of record:*

Textual printed material

**TR**

*Content code:*

Final paper

**CC**

*Author:*

Milan Tolmač

**AU**

*Mentor/comentor:*

PhD Dušanka Obadović, full professor

**MN**

*Title:*

Demonstrational Experimentes From Elektricitu

**TI**

*Language of text:*

Serbian (Cyrillic)

**LT**

*Language of abstract:*

Serbian/English

**LA**

*Country of publication:*

Serbia

**CP**

*Locality of publication:*

Vojvodina

**LP**

*Publication year:*

2008

**PY**

*Publisher:*

Author's reprint

**PU**

*Publication place:*

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića  
4, Novi Sad

**PP**

*Physical description:*

4/63/9/1/63/0/0

**PD**

*Scientific field:*

Physics

**SF**

*Scientific discipline:*

Demonstrative experiments in teaching

**SD**

*Subject/ Key words:*

Electricity, electric statics, physics teaching

**SKW**

**UC**



|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Holding data:</i>                     | Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>HD</b>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Note:</i>                             | none                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>N</b>                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Abstract:</i>                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>AB</b>                                | This paper (work) outlines demonstration experiments of electricity for teaching of electric statics. The development of science on electricity and the general theory of electric statics is described. Specific attention is dedicated to the methods used in the teaching of physics. In order to comprehend the phenomena of electric statics, and introduce the scientific method in everyday teaching, demonstration experiments outlined, are selected so that each of them represents one feature (characteristic) of electrified bodies, electrifying of bodies two types of electricity, electric field the lines of electric field force, the disposition of electricity charge on conductors, conductor capacity, electrical phenomena in the atmosphere, and the application of electrostatics. |
| <i>Accepted by the Scientific Board:</i> | 18. 05 2007.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>ASB</b>                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Defended on:</i>                      | 11.01.2008.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>DE</b>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Thesis defend board:</i>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>DB</b>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>President:</i>                        | Srđan Rakić, PhD, assistant professor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <i>Member:</i>                           | Milan Pantić, PhD, associate professor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <i>Member:</i>                           | Dušanka Obadović, PhD, full professor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |