

Zadaci

Električna čvrstina vazduha: $E_{\max} = 3 \text{ MV/m}$.

Permitivnost vakuum: $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.

Zadatak 7.1

Provodna lopta poluprečnika $a = 10 \text{ cm}$ nalazi se u vazduhu daleko od drugih tela. Odrediti maksimalno naelektrisanje koje može da postoji na lopti, kao i potencijal lopte u tom slučaju. (Pri jačini električnog polja $E_{\max} = 3 \text{ MV/m}$ vazduh postaje provodan. Na mestima na površi tela gde postoji ta jačina električnog polja, naelektrisanja napuštaju telo. Zbog toga se naelektrisanje tela smanjuje, a samim tim i jačina električnog polja. Proces se zaustavlja kada vrednost polja opadne ispod $E_{\max}$.)

Rešenje. Polje je najjače na samoj površi provodnika,

$$E_{\max} = \frac{Q_{\max}}{4\pi\epsilon_0 a^2}.$$

Sledi da je najveća količina naelektrisanja na sferi jednaka

$$Q_{\max} = E_{\max} 4\pi\epsilon_0 a^2.$$

Nakon uvrštavanja brojnih vrednosti, $Q_{\max} = 3 \cdot 10^6 \cdot 4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot (0,1)^2$, dobija se $Q_{\max} = 3,33 \mu\text{C}$. Potencijal lopte jednak je

$$V_{\max} = \frac{Q_{\max}}{4\pi\epsilon_0 a} = E_{\max} a = 0,3 \text{ MV}.$$

Zadatak 7.2

Mehur od sapunice poluprečnika $a = 1 \text{ cm}$ i male debljine zida nalazi se na potencijalu od 100 V . Kada se mehur rasprsnje, od njega se formira kapljica poluprečnika $b = 1 \text{ mm}$. Odrediti naelektrisanje i potencijal kapljice.

Rešenje. Iz potencijala mehura,

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a},$$

dobija se ukupno naelektrisanje mehura,

$$Q = V 4\pi\epsilon_0 a = 100 \cdot 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-2} = 0,11 \text{ nC}.$$

Ista količina naelektrisanja nalaziće se i na kapljici. Potencijal kapljice je

$$V_k = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 b} = \frac{a}{b} V = 10 \cdot 100 \text{ V} = 1000 \text{ V}.$$

Zadatak 7.3

Tečnost je raspršena u $N = 2200$ jednakih kapljica poluprečnika $a = 0,1 \text{ mm}$. Potencijal ovih kapljica jednak je 100 V . Odrediti potencijal kapi, poluprečnika $b = 1,3 \text{ mm}$, koja se dobija sjedinjavanjem svih kapljica.

Rešenje. Iz potencijala kapljice,

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a},$$

dobija se naelektrisanje jedne kapljice,

$$Q = V 4\pi\epsilon_0 a = 100 \cdot 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-4} = 1,11 \text{ pC}.$$

Naelektrisanje kapi Q_k jednako je zbiru naelektrisanja svih kapljica. Zato je naelektrisanje kapi N puta veće od naelektrisanja jedne kapljice i iznosi,

$$Q_k = NQ = 2200 \cdot 1,11 \text{ pC} = 2,44 \text{ nC}.$$

Potencijal kapi jednak je

$$V_k = \frac{Q_k}{4\pi\epsilon_0 b} = \frac{Na}{b} \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a} = 169 \cdot 100 \text{ V} = 16,9 \text{ kV}.$$

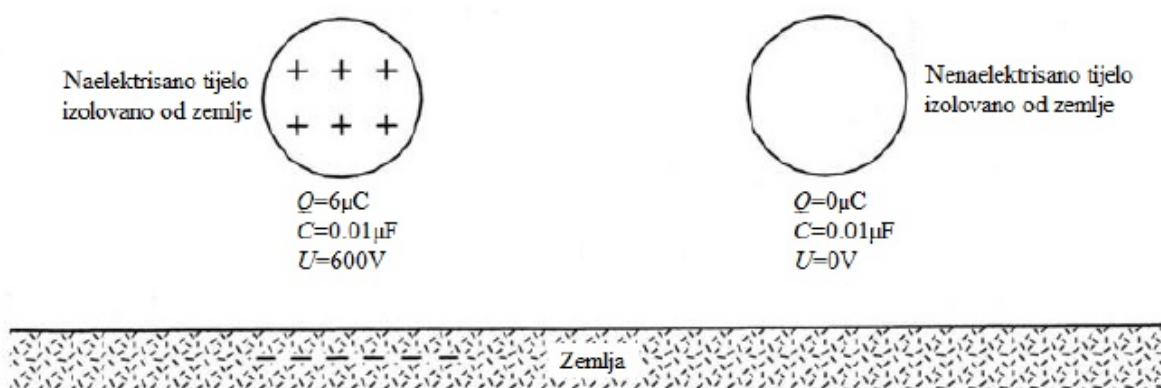
7.2.8. Potencijal zemlje

Za objekat se kaže da je na potencijalu zemlje, ako mu je potencijal jednak potencijalu zemlje. Za potencijal zemlje se uzima da je jednak nula volti.

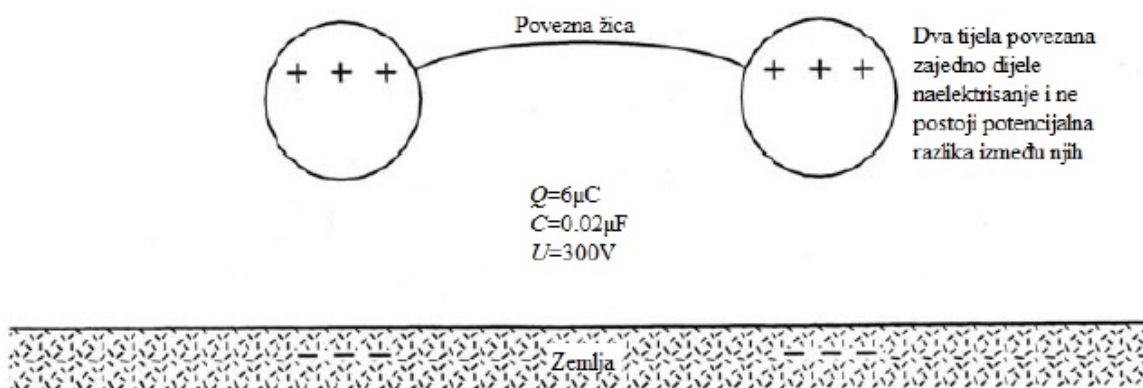
Provodni objekti koji su na potencijalu zemlje mogu biti naelektrisani (videti primere kod električnog polja). Naelektrisanje može otići u zemlju ili može doći iz zemlje, ako postoji provodni put za to.

 GROUNDED	Kada između provodnog objekta i zemlje postoji provodni put kaže se da je provodni objekat uzemljen. Varnica se ne može pojaviti između dva uzemljena provodna objekta.
 BONDED	Provodni objekti su povezani ako između njih postoji provodni put. U ovom slučaju provodni objekti su na istom potencijalu (koji u opštem slučaju nije jednak potencijalu zemlje). Između povezanih provodnih objekata ne može se pojaviti varnica. Međutim može se pojaviti varnica između provodnih objekata i zemlje.
 GROUNDED and BONDED	Da bi se izbegla pojava varnice, provodni objekti se povezuju i uzemljuju. Međutim, uzemljivanje rezervoara ne može sprečiti akumulaciju naelektrisanja na slabo provodnoj tečnosti u rezervoaru.

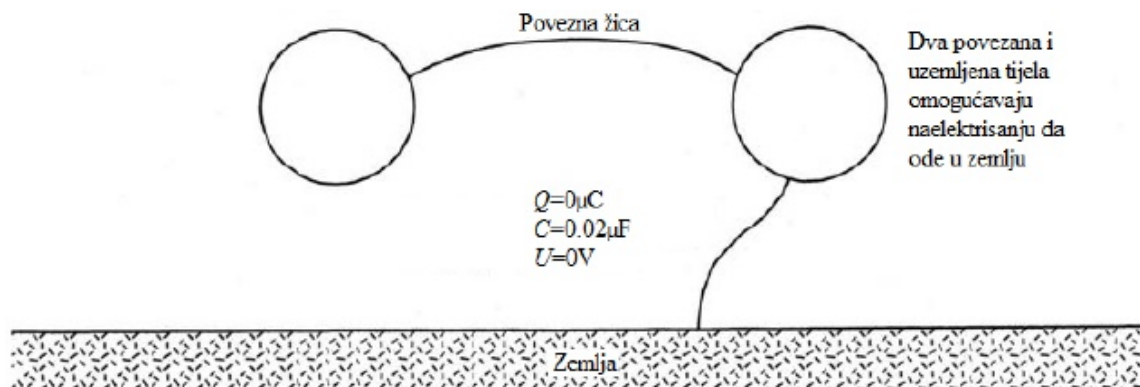
Primer povezivanja i uzemljivanja dva provodna tela prikazan je na narednoj slici [ref Dragović]



Slika 5.1 - Naelektrisano i nenaelektrisano tijelo izolovani od zemlje



Slika 5.2 - Oba izolovana tijela dijele isto naelektrisanje



Slika 5.3 – Oba tijela su uzemljena i ne posjeduju naelektrisanje

7.3. Razdvajanje naelektrisanja

Elektrostatičko naelektrisanje se koristi u većini fotokopir mašina i laserskih štampača. Koristi se takođe i u prečišćavačima vazduha. U ovim slučajevima energija akumulirana u sistemu se koristi na pozitivan način. Međutim, naelektrisanje na nekontrolisan način, može dovesti do štetnih posledica.

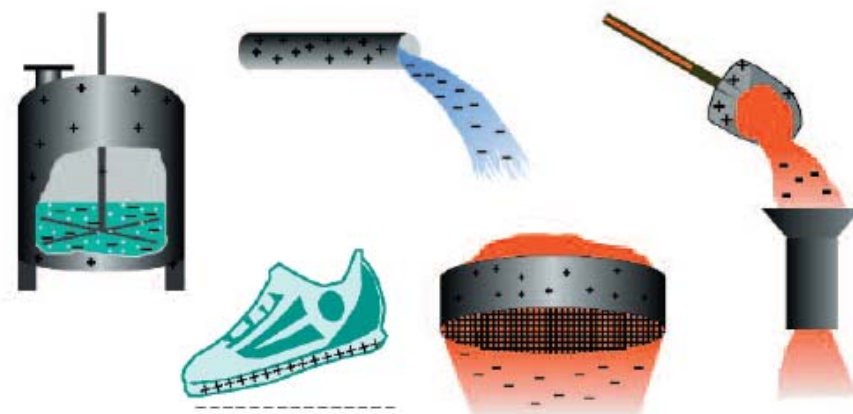
Statički elektricitet se može nagomilati na raznim predmetima, na ljudima, u oblacima (prašine, pare ili dima), itd. Statički elektricitet se javlja u mnogim industrijskim procesima, a samo u nekim od njih se koristi kao deo procesa. Statički elektricitet može biti uzrok požara i eksplozije.

Akumulacija naelektrisanja je određena sa dva suprotstavljena efekta: razdvajanje naelektrisanja i razilaženje naelektrisanja. Razdvajanje naelektrisanja i razilaženje naelektrisanje su istovremene pojave.

Do razdvajanja naelektrisanja može doći usled

- dodira i trenja,
- formiranja dvostrukog sloja naelektrisanja, kao na primer pri proticanju tečnosti kroz cev,
- elektrostatičke indukcije, kada se provodni objekat nađe u električnom polju,
- prenosom naelektrisanja, kada naelektrisano provodno telo dodirne drugo provodno telo pa se naelektrisanje podeli između njih (prethodni primer),
- naelektrisanje uz pomoć korone, koje se koristi za jonizaciju vazduha, naelektrisanje valjka fotokopir mašine, itd.

Mehanizmi razdvajanja naelektrisanja su isprepletani, pa ih je ponekad teško razdvojiti (izuzetak je samo prenos naelektrisanja).



Slika 7.5. Tipični primeri razdvajanja naelektrisanja.

Faktori koji utiču na količinu statičkog naelektrisanja su

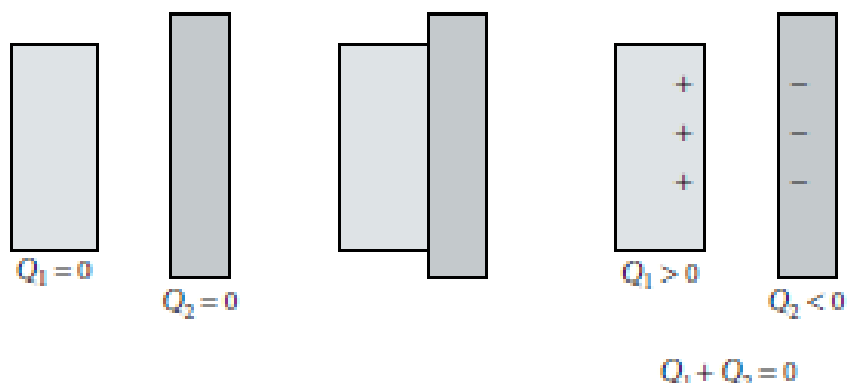
- tip materijala (različite vrste materijala imaju različite sklonosti ka naelektrisanju, npr. plastika je veoma sklona naelektrisanju),
- uslovi okoline (vlažnost vazduha, promena temperature, npr. hlađenjem materijali postaju skloniji naelektrisanju),
- ponavljanje (više ponavljanja istog postupka dovede do većeg naelektrisanja, npr. ako se proces spajanja i razdvajanja materijala ponavlja, ili ako se materijal kreće po nizu valjaka).

Istovremeno sa razdvajanjem naelektrisanja dešava se i drugi proces, a to je razilaženje naelektrisanja. Ako se naelektrisanje pojavilo na provodnom objektu, naelektrisanje će lako otići u zemlju ako je objekat uzemljen. To se neće desiti ako je objekat od dielektrika. Kada je brzina razdvajanja naelektrisanja veća od brzine razilaženja naelektrisanja, dolazi do akumulacije naelektrisanja. Akumulirano naelektrisanje stvara električno polje. Povećanje akumulirane količine naelektrisanja dovodi do povećanja električnog polja. Električno polje se može povećavati sve dok ne nastupi pražnjenje.

Mehanizmi razdvajanja naelektrisanja

i) Razdvajanje naelektrisanja usled dodira ili trenja

Kada dva tela dođu u dodir, doći će do prelaska izvesne količine naelektrisanja sa jednog tela na drugo. Pojava je veoma složena i još uvek nije razjašnjena do kraja. Kada se tela rastave, neki atomi na površi jednog tela zadržavaju elektrone (i time postaju negativno naelektrisani), a na površi drugog tela atomi imaju manjak elektrona (i time postaju pozitivno naelektrisani). Jedna površina će postati pozitivno naelektrisana, dok će druga postati negativno naelektrisana. Ilustracija naelektrisanja usled razdvajanja dva tela od dielektrika prikazana je na slici 7.6.



Slika 7.6. Ilustracija pojave naelektrisanja usled dodira.

Do razdvajanja naelektrisanja dolazi na dodirnim površinama između dva materijala u čvrstom stanju, između materijala u čvrstom stanju i tečnosti, između dve tečnosti, ili na dodirnoj površini tečnosti i gasa. Međutim ovo se ne dešava u gasovima. Dva slučaja koji odgovaraju ovakvom naelektrisanju su naelektrisanje usled i) dodira i trenja i ii) formiranje dvostrukog sloja naelektrisanja.

Do naelektrisanja usled trenja dolazi na dodirnoj površini dva čvrsta tela. Iako do razdvajanja naelektrisanja dolazi i samo dodiranjem, pri trenju se javljaju veće vrednosti površinskog naelektrisanja. Ako je trljanje jače pojaviće se veće količine naelektrisanja. Dodir ili trenje dovešće do pojave naelektrisanja na dodirnoj površi dva izolatora, ili između izolatora i provodnika. Do ove pojave ne dolazi između dva provodnika. Do naelektrisanja tela usled dodira ili trenja dolazi i u slučajevima kada se dodirnu tela od istog materijala.

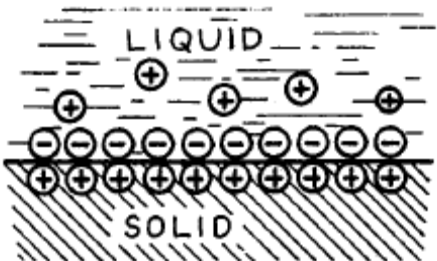
Nakon pojave površinskog naelektrisanja, razdvajanjem materijala razdvojiće se i naelektrisanje. Višak naelektrisanja na telu od dielektrika ostaje na onoj površi koja je naelektrisana dodiranjem, dok se kod provodnog tela višak naelektrisanja raspoređuje po površi tela.

Ako je količina naelektrisanja na telima dovoljno velika, prilikom brzog razdvajanja, može doći do pražnjenja.

Do pojave naelektrisanja usled razdvajanja naelektrisanja dolazi u procesima kao što su proticanje ili filtriranje tečnosti, pomeranje ili mlevenje materijala, pri mešanju ili prosejavanju rasutog materijala, na ljudima i vozilima koji se kreću po podlozi od izolatora, itd. Pojavu statičkog naelektrisanja je praktično nemoguće izbeći u ovakvim i sličnim procesima. U slučajevima gde se sa proizvodima rukuje ili se oni obrađuju dolazi do naelektrisanja i proizvoda i opreme.

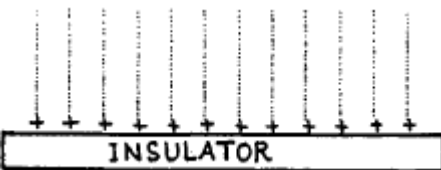
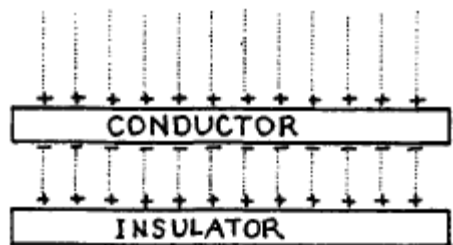
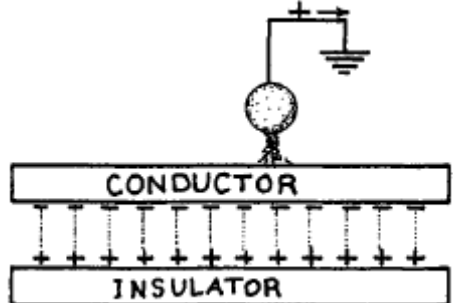
Do razdvajanja naelektrisanja dolazi i u slučaju uklanjanja naelektrisanog praha sa materijala. Do pojave naelektrisanog praha dolazi u procesima kao što su prosejavanje, sipanje, prenošenje, mlevenje, usitnjavanje, itd.

ii) Dvostruki sloj naelektrisanja

	Do pojave dvostrukog sloja naelektrisanja dolazi na površinama tečnosti: na dodirnim površinama čvrsto telo-tečnost, tečnost-tečnost ili gas-tečnost. U tečnosti se uz dodirnu površinu formiraju dva sloja naelektrisanja suprotnog znaka. Pri kretanju tečnosti sloj uz dodirnu površinu miruje, dok se drugi sloj kreće. Na opisan način se javlja struja toka u cevima sa tečnim dielektricima. Struja toka je veća kada je brzina protoka tečnosti veća.
---	---

iii) Elektrostatička indukcija

Ovaj tip naelektrisanja se javlja kada se provodni objekat nađe u električnom polju.

	Posmatrajmo naelektrisan dielektrik sa akumuliranim naelektrisanjem na njegovoj površini.
	Na provodniku postavljenom u električno polje dolazi do razdvajanja naelektrisanja usled elektrostatičke indukcije.
	Kada se uzemljena provodna elektroda približi gornjoj površini provodnika može doći do pojave elektrostatičkog pražnjenja.

7.4. Tipovi elektrostatičkog pražnjenja

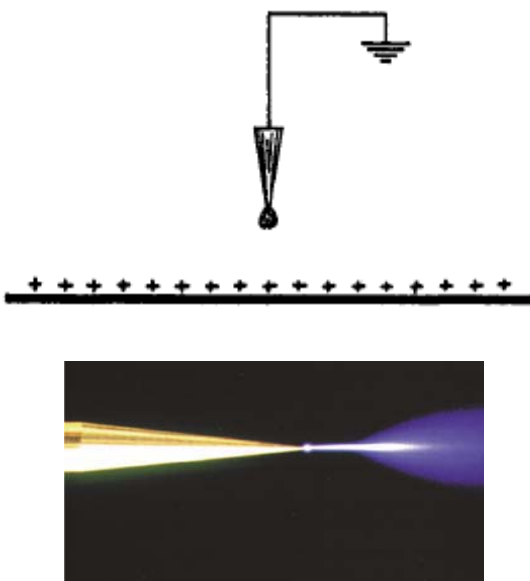
Kada jačina električnog polja dostigne električnu čvrstinu za dati dielektrik dolazi do elektrostatičkog pražnjenja. Klasifikacija elektrostatičkih pražnjenja je empirijska. Tipovi elektrostatičkog pražnjenja su

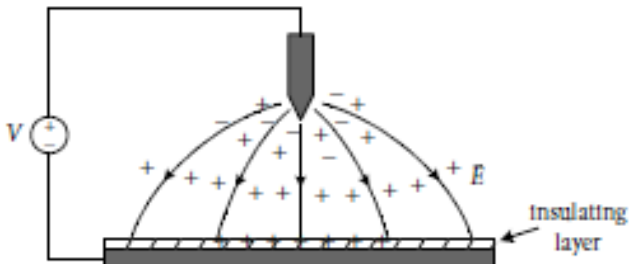
- korona,
- četkasto pražnjenje,
- razgranato četkasto pražnjenje,
- konusno pražnjenje,
- varnica,
- munja.

Varnica i munja su pražnjenje između dve elektrode, dok se korona i četkasto pražnjenje javljaju u prisustvu samo jedne elektrode.

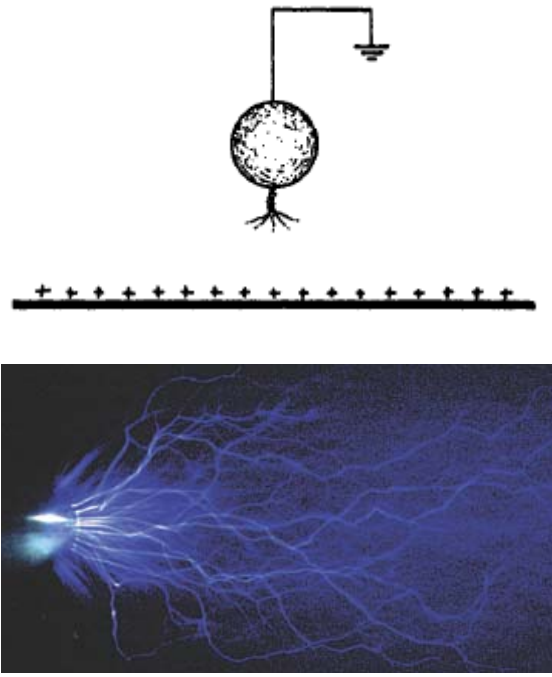
Elektrostatičko pražnjenje može biti uzrok požara ili šoka osoblja. Osim toga, elektrostatičko pražnjenje u svojoj okolini stvara jako brzopromenljivo elektromagnetsko polje, koje može dovesti do pojave smetnji ili oštećenja osetljivih komponenti (elektronike) nekog uređaja.

7.4.1. Korona

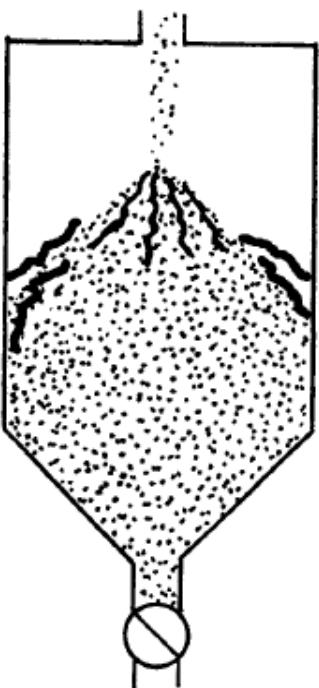
	Kada jačina električnog polja dostigne električnu čvrstinu dielektrika, to će se desiti u okolini šiljka. Joni će se pojaviti samo u okolini šiljka i neće se formirati provodni kanal. Joni će se kretati kroz vazduh sve dok se ne neutrališu. Ovakvo pražnjenje naziva se korona. Korona je pražnjenje male energije, manje od minimalne energije paljenja (osim u slučaju ekstremno niske minimalne energije paljenja, npr. vodonik ili ugljen disulfid). Korona je praćena sa slabim osvetljenjem u okolini elektrode. Korona prestaje kada jačina električnog polja postane manja od električne čvrstine vazduha. Javlja se i u okolini provodnika na visokom potencijalu. Često se može videti na dalekovodima.
--	--

	Korona se koristi za uklanjanje statičkog naelektrisanja sa papira, tkanine ili plastike (slika). Na naelektrisane čestice deluje električna sila $\vec{F} = Q\vec{E}$. Koristi se kod jonizatora (neutralizatora), koji mogu biti a) pasivni i b) aktivni (priključeni na izvor napona 5 kV – 10 kV).
---	--

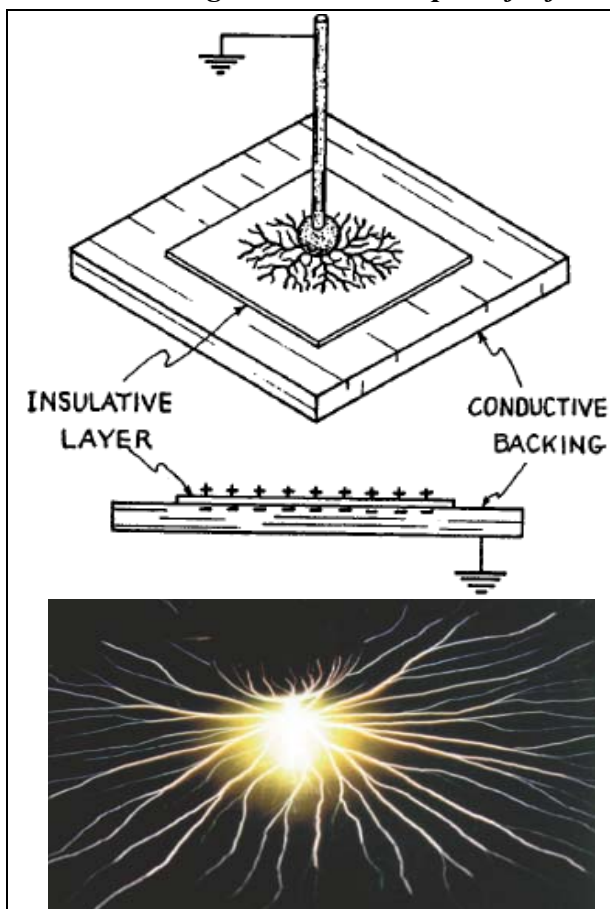
7.4.2. Četkasto pražnjenje

	Kada je elektroda u vidu šiljka može doći do pojave korone. Ako se poluprečnik zakrivljenosti elektrode poveća, javiće se drugačiji tip pražnjenja, tzv. četkasto pražnjenje. Ovaj tip pražnjenja javlja se na zakrivljenoj površi elektrode u jakom električnom polju. Primarni uzrok električnog polja nije od značaja. Prelaz od korone do četkastog pražnjenja ide sa prelaskom od oštre ka zaobljenoj elektrodi. Sa povećanjem poluprečnika zakrivljenosti elektrode, raste i mogućnost da pražnjenje dovede do paljenja. Kao i korona, i četkasto pražnjenje se završava negde u prostoru gde jačina električnog polja opadne ispod električne čvrstine dielektrika. Do četkastog pražnjenja može doći i pri površinskim gustinama naelektrisanja od $10\mu\text{C}/\text{m}^2$ na izolatoru, što iznosi samo 40% od $27\mu\text{C}/\text{m}^2$ (procenjena ekvivalentna energija je 3,6mJ). Ekvivalentna energija četkastih pražnjenja je 1 – 4 mJ.
---	---

7.4.3. Konusno pražnjenje

	Ovaj tip pražnjenja je primećen na konusnoj površini velike količine rasutog materijala. Javlja se pri skladištenju granula od izolacionog materijala u velike kontejnere ili silose. Pri skladištenju, sila gravitacije je jača od odbojne elektrostatičke sile između granula, zbog čega dolazi do sabijanja materijala. Površina materijala nakon skladištenja je mnogo manja od zbira površina svih granula. Ovo smanjenje površine rezultuje u povećanju površinske gustine naelektrisanja, zbog čega može doći do proboja vazduha i pražnjenja. Neprovodni organski prah je osetljiv na ovaj fenomen. Smatra se da je energija konusnog pražnjenja oko 20 mJ. Veće granule - veća energija.
---	--

7.4.4. Razgranato četkasto pražnjenje



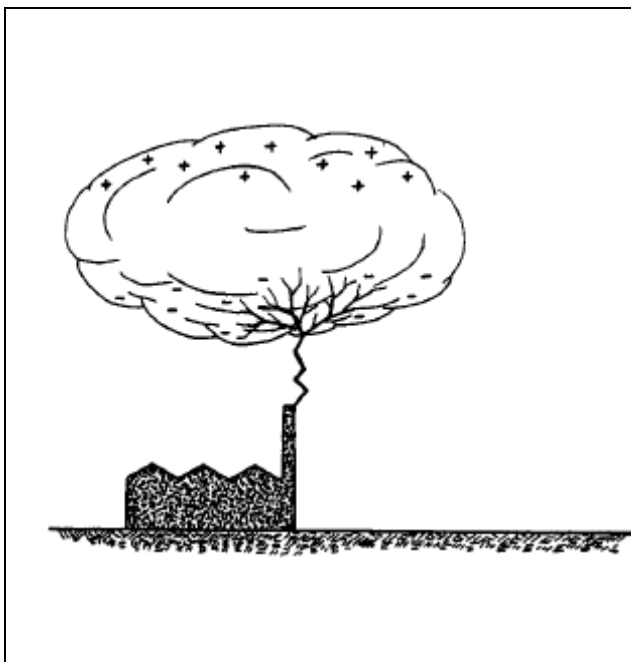
Ovaj tip pražnjenja ima veću energiju od četkastog pražnjenja. Uslov za postojanje ovakvog pražnjenja je postojanje ekstremno velike gustine površinskog naelektrisanja na izolatoru, oslonjenom na uzemljen provodnik. Razgranato četkasto pražnjenje javlja se na površini izolatora.

Za pojavu razgranatog četkastog pražnjenja potrebna je površinska gustina naelektrisanja reda $250 \mu\text{C}/\text{m}^2$ i debljina izolatorskog sloja manja od 8mm. Pri ovom pražnjenju oslobađa se energija od nekoliko džula (smatra se da je tipično 1J). Zbog toga ovaj tip pražnjenja uzrokuje paljenje bilo koje zapaljive smeše.

Mere za sprečavanje pojave razgranatog četkastog pražnjenja:

- debljina dielektrika $> 10 \text{ mm}$,
- povećanje specifične provodnosti izolatora (zapreminske ili površinske),
- smanjenje električne čvrstine dielektrika ($V_b < 4 \text{ kV}$), tako da do proboja dođe pre nego što se stvore uslovi za razgranato četkasto pražnjenje (npr. fina perforacija džakova).

7.4.5. Munja

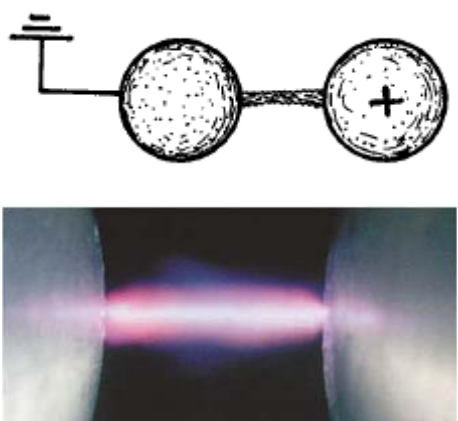


U olujnim oblacima može biti uskladištena neverovatno velika količina naelektrisanja. Do pražnjenja dolazi u vidu munja. Pražnjenje se može javiti između dva oblaka, u oblaku ili između oblaka i zemlje. Ovaj tip pražnjenja je veoma opasan po živi svet, kao i za električne i elektronske uređaje. Tipične vrednosti jačine struje groma iznose nekoliko desetina hiljada ampera (nekoliko 10kA).

Pokazuje se da se do ovakvog tipa pražnjenja ne može doći u zapreminama manjim od 60 m^3 , niti u cilindričnim kontejnerima prečnika manjeg od 3m, bez obzira na njihovu visinu.

Pražnjenje u vidu munja je primećeno u oblacima prašine pri vulkanskoj erupciji.

7.4.6. Varnica

	Ovaj tip pražnjenja javlja se između dva provodna objekta (ljudi, proizvoda, mašina), pri čemu se jedan objekat nalazi na visokom potencijalu, a drugi na mnogo nižem potencijalu ili je uzemljen. Kritična vrednost električnog polja se može pojaviti zbog smanjenja rastojanja između tela i/ili povećanjem napona/naelektrisanja ($E = U/d$, $Q = CU$). Energije varnica koje se javljaju u industrijskim procesima su obično nekoliko puta veće od minimalne energije paljenja.
---	---

7.4.7. Procena energije varnice

Energija uskladištena u kondenzatoru kapacitivnosti C može se odrediti kao

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{Q^2}{2C},$$

gde su U i Q napon i naelektrisanje kondenzatora, $Q = CU$. Prilikom pražnjenja, obično se ne pretvori sva energija u energiju varnice, međutim ova vrednost se koristi za procenu energije varnice.

Kapacitivnost između dve paralelne provodne ploče površine S , na rastojanju d , jednaka je

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}.$$

Iz prethodnog izraza se vidi da rastojanje između ploča ima velik uticaj na kapacitivnost.

Kapacitivnost sfere poluprečnika a jednaka je

$$C = 4\pi\epsilon_r\epsilon_0 a.$$

Zamenom brojnih vrednosti za vazduh ($\epsilon_r = 1$) dobija se

$$C = a \cdot 10^{-10}.$$

Sfera poluprečnika 1cm ima kapacitivnost od 1pF, dok sfera poluprečnika 10cm ima kapacitivnost od 10pF. Sfera poluprečnika k cm ima kapacitivnost od k pF.

Primeri kapacitivnosti: metalno bure na podlozi od izolatora 200 – 400pF, vozilo sa gumama na izolatoru 500 – 1000pF, metalni poklopac na plastičnim ili staklenim cevima 10 – 30pF.

Zadatak. Proceniti kapacitivnost čoveka.

Rešenje. Jedna teorema elektrostatičke glasi da se kapacitivnost usamljenog provodnog tela konačnih dimenzija nalazi između kapacitivnosti opisane i upisane sfere. Za brzu procenu kapacitivnosti tela može se uzeti srednja vrednost kapacitivnosti ove dve sfere.

Kapacitivnost usamljene provodne sfere (u vakuumu, odnosno vazduhu) je $C = 4\pi\epsilon_0 a$, gde je a poluprečnik sfere. Kao inženjerska procena kapacitivnosti posmatranog tela može se uzeti $C = 4\pi\epsilon_0 (a + b)/2$, gde su a i b poluprečnici opisane i upisane sfere. Ako se uzme da je srednji poluprečnik ovih sfera 0,5m dobija se $C = 50$ pF. U praksi je ova kapacitivnost veća, zbog kapacitivnosti između tabana i tla.

Pri potencijalu čoveka od približno 35kV dolazi do jonizacije vazduha u okolini čoveka, pri čemu nastaje tiho pražnjenje (korona). Zato potencijal ljudskog tela praktično ne može preći tu vrednost.

7.4.8. Varnica sa ljudskog tela

Ljudi se mogu naelektrisati ili direktno razdvajanjem različitih materijala ili elektrostatičkom indukcijom (ako su u blizini drugog naelektrisanog objekta). Neki tipični primeri direktnog naelektrisavanja su hodanje po neprovodnoj površini, skidanje spoljašnjih delova odeće, čišćenje objekata trljanjem ili kontakt sa naelektrisanim telom.

Ljudsko telo je dobar provodnik za statički elektricitet. Osobe koje su izolovane od zemlje mogu se lako naelektrisati i zadržati naelektrisanje. Ljudi mogu biti izolovani od zemlje zbog toga što su podloga i/ili obuća od neprovodnog materijala. Uobučajeni scenario za stvaranje varnice su situacije kada su ljudi izolovani od zemlje.

Ako se naelektrisani čovek nađe blizu drugog provodnog tela, može doći do pražnjenja, koje se manifestuje varnicom. Zato se pri radu sa osetljivom elektronskom opremom ili u eksplozivnom okruženju moraju preduzeti odgovarajuće mere da se spreči da se ljudi naelektrišu.

Za procenu energije pražnjenja, za kapacitivnost ljudskog tela se obično uzima 200 pF. Ljudsko telo se može naelektrisati naelektrisanjem reda veličine μC , u kom slučaju potencijal ljudskog tela dostiže i nekoliko kV.

Primer. Čovek kapacitivnosti 200 pF na potencijalu od 10 kV naelektrisan je naelektrisanjem $Q = CV = 2 \mu\text{C}$. Ovaj napon se može javiti na čoveku pri skidanju pulovera, ako je izolovan od zemlje. Energija uskladištena u čoveku je $W = 1/2 CV^2 = 1/2 \cdot 200 \cdot 10^{-12} \cdot (10^4)^2 = 10^{-2} \text{ J} = 10 \text{ mJ}$.

Ljudsko telo može da uskladišti mnogo više energije od one koja je potrebna da se zapale gasovi, zapaljive tečnosti, prašine ili eksplozivi. Prilikom pražnjenja, obično se ne pretvori sva energija u energiju varnice, međutim ova vrednost se koristi za procenu energije varnice. Tipične energije varnice koja se javlja pri pražnjenju ljudskog tela su od μJ , do nekoliko mJ. Varnica od 1 mJ se može osetiti, od 10 mJ se oseća kao ubod, a od 100 mJ se oseća kao slabi udar.

Energije pražnjenja od nekoliko mJ mogu biti indirektna opasnost po zdravlje usled nenamernih pokreta. Takvi udari mogu izazvati povrede usled kontakta sa pokretnim delovima mašina ili zbog pada. Čak i slabi udari mogu izazvati uznemirenost i dovesti do gubitka koncentracije.

Pražnjenje traje kratko (najčešće kraće od $1 \mu\text{s}$), proteklo naelektrisanje je malo (reda μC), ali jačina struje ($i = \Delta q / \Delta t$) može dostići i nekoliko desetina ampera.

Pored opasnosti od mogućnosti paljenja zapaljivih smeša, pražnjenje statičkog elektriciteta može izazvati i električni udar. Električni udari usled statičkog elektriciteta se razlikuju od drugih električnih udara po tome što su oni kratkog trajanja. Opasni nivoi ovih udara izraženi su preko energije ili naelektrisanja, a ne preko struje.

Elektrostatička pražnjenja se smatraju kao direktna opasnost za zdravlje ljudi ako energija oslobođena u pražnjenju prelazi 350 mJ ili preneto naelektrisanje prelazi $50 \mu\text{C}$. Iz toga sledi da četkasta pražnjenja ili varnice sa malih izolovanih provodnih objekata ne mogu izazvati električne udare koji su direktno štetni po zdravlje. Međutim, varnice sa velikih objekata ili razgranata četkasta pražnjenja mogu biti štetna jer energija ovih pražnjenja prelazi 1 J.

Otpornost obuće može da varira od nekoliko stotina oma do teraoma. Uzimajući u obzir ove parametre, vreme relaksacije naelektrisanja kreće se od nekoliko mikrosekundi do nekoliko minuta.

Mere koje se preduzimaju je smanjenje nastajanja naelektrisanja na osoblju i sigurno pražnjenje svakog akumulisanog naelektrisanja. Ovo se postiže postojanjem provodnog poda, nošenjem provodne ili disipativne obuće i odeće, kao i uklanjanjem naelektrisanja sa osoba pre njihovog ulaska u zonu opasnosti.