

Nevihta Lorda Kelvina

William Thomson (Lord Kelvin)



William Thomson, oziroma kasneje Lord Kelvin (naziv Lord je dobil za svoje zasluge v znanosti; Kelvin pa se imenuje reka, ki je tekela mimo njegovega laboratorija), je bil precej zanimiv gospod. Večino svojega življenja je delal kot profesor na univerzi v Glasgow-u Združenega Kraljestva, kjer se je ukvarjal s fiziko - kot eno izmed (takrat) povsem novih ved.

Najbolj znan je po svojem prvem in drugem zakonu termodinamike, po njem pa se imenuje tudi enota za absolutno temperaturo – Kelvin. Čeprav so znanstveniki tistega časa že prej vedeli za obstoj absolutne ničle, je šele Lord Kelvin določil njeno točno vrednost, ki znaša $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Manj znano je, da se je Kelvin ukvarjal tudi s telekomunikacijami (danes IKT), kjer je kot inženir in izumitelj vodil projekt čezatlantskega telegrafa. Ta mu je prinesel zajeten kup denarja, zanj pa ga je odlikovala celo kraljica!

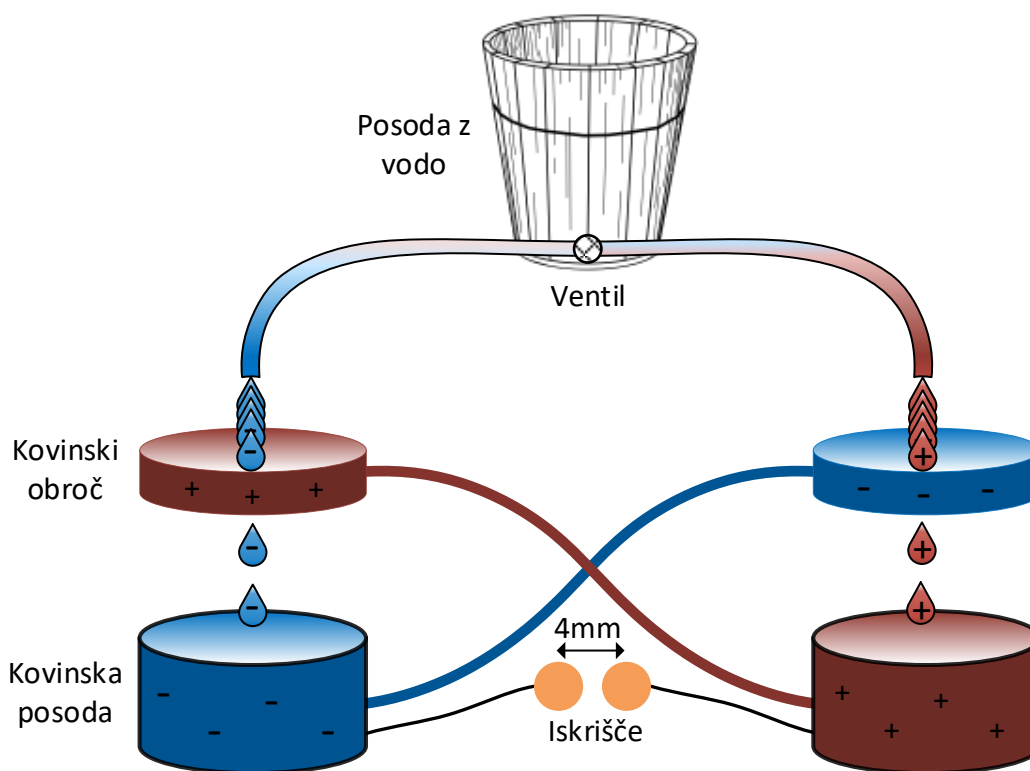
Še manj poznano je njegovo zanimanje za atmosfersko elektriko. Gre za preučevanje pojavov povezanih s premikanjem naboja med površjem zemlje, atmosfero ter ionosfero, kjer

najizrazitejši pojav nastopi ob nevihti (pri udaru strele). Čeprav se je z raziskavami ukvarjal precej malo časa (okoli leta 1859) je prinesel kar nekaj napredka. Na podlagi svojih ugotovitev pri projektu čezatlantskega telegrafa, je razvil vrsto naprav za merjenje atmosferskega električnega polja. Med počitnicami na sosednjem otoku Arran je s svojimi instrumenti lahko meril onesnaženost ozračja iz Glasgow-a, zaradi vpliva prašnih delcev na jakost električnega polja atmosfere. Njegov vodni kapalnik je bil dolga leta uporabljen kot elektromer za atmosfersko polje, na japonskem celo do leta 2021.

Pri tem poskusu bomo poustvarili Kelvinov vodni kapalnik za opazovanje električnega polja atmosfere. Skozi zgodovino so se za njegov aparat uporabljala številna imena, naprimer Kervinov hidroelektrični generator, Kelvinov elektrostatični generator in verjetno najbolj zanimivo: "Nevihta Lorda Kelvina".

Slika na naslovnici predstavlja nevihto Lorda Kelvina, kot si jo predstavlja umetna inteligenca.

Kelvinov vodni kapalnik



Slika 1: Poenostavljena shema Kelvinovega vodnega kapalnika

V osnovi je Kelvinov kapalnik zgolj ena izmed različic elektrostatičnega generatorja. Naprava uporablja padajoče kapljice vode, za ustvarjanje napetostne razlike s pomočjo elektrostatične indukcije, ki se pojavi med dvema, nasprotno naelektrenima deloma naprave. Napetostna razlika lahko s časoma postane tako velika, da pride do preboja zraka v obliki električne iskre.

Poenostavljeno zasnovo naprave prikazuje Slika 1. Posoda z vodo je povezana z dvema cevema za proizvodnjo dveh curkov kapljic, ki jih na dnu ulovita kovinski posodi. Oba curka se na poti proti posodi srečata s kovinskim obročem (brez da bi se ga dotaknila), ta pa je električno povezan z nasprotno kovinsko posodo. Rdeč obroč na levi je povezan z rdečo posodo na desni, moder obroč na desni pa z rdečo posodo na levi strani. Obe posodi in oba obroča morata biti medsebojno električno izolirana, tudi od ničelnega potenciala (tal) ter preostalih sestavnih delov naprave. Pomembno je, da se curek vode zlomi v posamezne kapljice predno doseže

dno posode, najbolj ugodno je, da se to zgodi v področju kovinskega obroča. Povezava med posodo in obročem je navadno izvedena kar z navadno žico, le redko pa jo tvori namenski kovinski nosilec.

Kako se torej obe posodi uspeta naelektriti s (precej velikim) nabojem? Ker sta med seboj dobro izolirani, na začetku med njima vedno obstajala drobna razlika v električnem potencialu. Predpostavimo, da je rdeča (desna) posoda za začetku malce bolj pozitivno naelektrena kot modra. Sedaj ima tudi rdeči (levi) obroč nekaj pozitivnega naboja, saj je galvansko povezan z desno posodo. Naboj na levem obroču bo privlačil negativne naboje v vodi (ione) v levem, curku zaradi Coulombove elektrostatične sile. Kapljica se odlomi od konca curka in s seboj nosi negativni naboj. Ko jo sila gravitacije (ki je precej močnejša od elektrostatične) potegne v modro posodo, le to s svojim nabojem rahlo negativno naelektri, kar se prenese tudi na desni obroč.

Sedaj je desni obroč že negativno naelektren in podobno kot levi (le da z obratnim predznakom) privlači pozitivni naboj v desni curek. Ko se od njega odlomi kapljica, je ta pozitivno naelektrena in pade v desno posodo, ki jo še bolj naelektri. Pozitivne naboje privlači desni obroč, ti pa padejo v pozitivno naelektreno rdečo posodo. Negativne naboje vodnega curka privlači levi obroč, kapljice pa padejo v modro, negativno naelektreno posodo. Takšnemu pojavu ločevanja naboja, ki se zgodi v vodi, pravimo elektrostatična indukcija. Bolj kot sta obe posodi naelektreni, večja je razlika med napetostjo obeh obročev in bolj učinkovit je proces elektrostatične indukcije. Med samim postopkom indukcije teče električni tok v obliki pozitivnih in negativnih ionov vode, ki ni nujno enak smeri pretoka tekočine. Tako lahko električni tok brez težav teče iz desne proti levi strani (preko vodovodne cevi), stran od območja, kjer se curek zlomi v kapljice in v nasprotni smeri toka vode!

Sčasoma bosta naboja na obeh posodah postala tako velika, da bo prišlo do preboja izolatorja (zraka). Videli in slišali bomo preskok električne iskre. Naboj se bosta v hipu zmanjšala, postopek pa bo stekel od začetka.

Nasprotna predznaka nabojev, ki se nabereta na posodah, predstavljata električno potencialno energijo, ki se sprosti v obliki svetlobe in toplote ob preskoku električne iskre. Energija prihaja iz gravitacijske potencialne energije, ki se ustvari ob padcu kapljice. Enaka naboja se med seboj odbijata, zato bo posoda kapljico želela odbiti, kar se odraža v sili nasprotne smeri od smeri padca. Gravitacijska potencialna energija se tako pretvarja v električno potencialno energijo in kinetično energijo gibanja, ta pa se sprosti v obliki toplote, ko kapljica zadane posodo. Z vidika učinkovitosti je Kelvinov generator silno neučinkovit, zato se za proizvodnjo električne energije seveda ne uporablja.

Pri nalogi bomo iz široko dobavljivih sestavnih delov sestavili svoj elektrostatični generator po načrtih Lorda Kelvina in preizkusili njegovo delovanje. Kapljanje vode predstavlja dež, iskrenje pa strele. Tako si bomo doma ustvarili čisto pravo malo nevihto!

Potrebni pripomočki

Za izvedbo naloge potrebujemo:

- Dve kovinski posodi (posoda za kuhanje, solato, kovinski zabojnik za smeti ...)
- Dva kovinska obroča (dve prazni konzervi)
- Posodo z vodo (velika plastenka, plastična posoda, namenska posoda z ventilom)
- PVC cev za nadometno električno napeljavo

- PVC odtočno cev
- Cevko za namakanje (dolžina ~2m, \varnothing 8 mm)
- T-člen za spajanje gumijaste cevi za namakanje
- Plastičen obešalnik
- Dve sklepni sponi (univerzalni pant za vrata)
- Vijake, podložke in matice velikosti M4
- Odsluženo leseno desko in dva L kotnika
- Ostanek ravne plastike za podlogo iskrišča (CD/DVD ovitek, plastični pokrov)
- Plastično slamico ali trdo plastično cev
- Dve kovinski kroglici (ročaja za omaro)
- Bakreno žico za povezovanje (če je le mogoče s krokodilčki za lažjo pritrditev)
- Silikon
- Lepilo za vroče lepljenje
- Vrtalni stroj, fen za vroči zrak, kleščice, izvijač, škarje, zaščitna očala

Opis poteka naloge

Nalogo lahko izvedemo na različne načine, z različnimi pripomočki in tehnikami izdelave. Navodila so zasnovana tako, da zagotavljajo čim enostavnejšo izvedbo, rokovanje in ponovljivost hkrati. V kolikor kakšnega izmed sestavnih delov nimamo, ga lahko nadomestimo s podobnim gradnikom. V pomoč so nam tudi video navodila.

Največ preglavic nam bo povzročala povezava iz skupnega rezervoarja z vodo, razcep na dva curka in nadzor pretoka vode. Kot rezervoar lahko uporabimo kar nam je pri roki; velik škaf, 10L plastenko za vodo, ali pa namensko posodo z ventilom.

V trgovini poiščemo gumijasto (prozorno) cev premera med \varnothing 6 mm – \varnothing 12 mm. Za izvedbo naloge potrebujemo približno 2 m cevi. Najlažje je, da v trgovini poiščemo še T-člen za združevanje treh cevi, ki se pogosto uporabljajo v sistemih za namakanje. T-členom nato prilagodimo dimenzijo cevi. Če imamo na voljo 3D tiskalnik lahko T-člen tudi natisnemo (3D model je na voljo v elektronski obliki).



Slika 2: T - člen

Plastični obešalnik razrežemo, da nam ostane približna oblika, kot jo prikazuje Slika 3. Na obeh koncih z vrvico ali lepilom za vroče lepljenje pričvrstimo gumijasto cevko tako, da le ta gleda navzdol. Na sredini obešalnika obe cevki združimo s tretjo (preostanek naše cevi dolžine vsaj 1 m) z uporabo T-člena. Spoj po potrebi dodatno zatesnimo s silikonom. Nato na sredino obeh cevk namestimo sklepno spono (pant za nihajna vrata), ki jo skozi eno izmed izvrtanih lukenj stisnemo s primerno dolgim vijakom M4 in pripadajočo matico. Ko bomo vijak močneje privili, bo spona stisnila gumijasto cevko in tako zmanjšala pretok. Na ta način izdelamo preprost in cenen ventil, ki omogoča nastavljanje neodvisno od debeline naše cevke.



Slika 3: Razdelitev cevi s pomočjo obešalnika in neodvisno nastavljanje pretoka s sklepno spono.

Način priključitve na rezervoar z vodo je odvisen od naše izbire posode. Če gre za preprost vrč vanj od strani (na spodnjem koncu proti dnu) izvrtamo manjšo luknjo s primernim svedrom, ki ustreza debelini naše cevke. Skupaj ju zalepimo s silikonom. Tega pustimo sušiti vsaj 6 h. Po potrebi uporabimo še eno sklepno spono za naš glavni ventil. V kolikor uporabljamo posodo z že izdelanim ventilom ali pipo, moramo le tej ustrezno prilagoditi postopek pritrditve.

Silikon lahko nadomestimo z lepilom za vroče lepljenje, a bo postavitvev manj robustna.



Slika 4: Zbirni posodi in kovinska obroča, povezani z laboratorijsko žico na krokodilčke.

Najpomembnejša naloga pri izgradnji Kelvinovega elektrostatičnega generatorja je v izolaciji med posodama in obročema. Kovinski obroč je najlažje pridobiti iz konzerve, ki ji odstranimo

vsebino, pokrov in dno, ter jo dobro umijemo. Veliko konzerv je z notranje strani prevlečenih s plastiko, a nas to ne ovira. Pomembno je zgolj, da je prevodna njena zunanost.

Kot kovinsko posodo lahko uporabimo karkoli nam je pri roki; lonec za kuhanje, kovinsko skledo za solato, koš za smeti ali večjo konzervo. Pri tem ni nujno, da sta obe posodi enako veliki. Slika 4 prikazuje primer postavitve z uporabo kovinskih pisarniških držal za svinčnike (z odrezanim dnom) in dveh okrasnih (kovinskih) košev za smeti.

Hitro bo nastopila težava kako obroček iz konzerve držati nad posodo, brez da bi bila med seboj v električnem stiku. Stojalo ne sme biti leseno, kovinsko ali stekleno. V splošnem mora biti zelo dober izolator. To omogočajo najosnovnejše trde PVC cevi za nadometno montažo električne napeljave, ki jih dobimo v domala vseh tehničnih trgovinah. Cev odrežemo z ročno žago ali namenskimi škarjami na izbrano dolžino in jo enostavno krivimo, ko jo segrejemo s fenom na vroči zrak (približno 200 °C), ali nad plamenom sveče.

V konzervo zvrtno dve luknji velikosti 4.5 mm, v enakem razmaku pa zvrtno tudi dve luknji v plastični cevi. Skozi luknji potisnemo M4 vijak in ga na drugi strani pričvrstimo z matico. Cev nato zvijemo s segrevanjem v obliko črke Z. Plastika je gibka dokler je topla, hlajenje pa lahko pospešimo s potapljanjem v vodo. Postopek ponovimo še za obroč (konzervo) na drugi strani.

Nekoliko debelejšo PVC cev odrežemo na dolžino tako, da bo spodnji rob kovinskega obroča (konzerve) segal nad posodo približno 10-20 cm. Na odsluženo desko jo pritrdimo z dvema L kotnikoma, pri čemer en del kotnika vijačimo v leseno desko, drugega pa s pomočjo M4 vijakov in predhodno izvrtanih lukenj v PVC cev. Obe roki z našima obročema privijačimo na tako izdelani plastični steber, kot to prikazuje Slika 4.

Namesto vrtanja lukenj in pritrdjevanja z M4 vijaki lahko uporabimo tudi lepilo za vroče lepljenje, a moramo delati previdno, saj bo takšna postavitve manj trdna.

Namesto vijakov lahko uporabimo najlonske vezice ali zatezne objemke.

Struktura stojala zavisi od uporabljenih gradnikov in jo lahko poljubno prilagodimo. Pomembna je le dobra izolacija med zankama, kjer bo PVC cev zagotovo varna izbira.

Ne smemo pozabiti na izolacijo obeh spodnjih posod od tal. Večina talnih oblog je preveč prevodnih in naša naloga ne bo uspela. Uporabimo lahko stiropor, vendar se ta ne sme napiti z vodo. Iz PVC odtočne cevi lahko izrežemo tudi nekaj 10 cm kolobarjev, ki jih postavimo pod posodo in jo tako izoliramo od tal.



Slika 5: Izolacija posode od tal.



Slika 6: Končna postavitve Kelvinovega generatorja.

biti bližje stranicam, a še dovolj daleč, da curek in kapljice ne tečejo po kovini. Opazujemo kaj se dogaja na elektrooskopu in ustrezno popravimo pretok vode ter razdaljo do zank. Lističa elektrooskopa se morata počasi razmakniti. V kolikor s to ne zgodi, je težava lahko sledeča:

- Izolacija med posodama, tlom ter med obročema ni zadostna. Dodatno izoliraj s PVC.
- Navzkrižna vezava med obročema in posodama ni vzpostavljena. Preveri povezave.
- Elektrooskop ne deluje. Preveri njegovo delovanje z naelektritvijo PVC cevi.
- Curek vode se loči na kapljice izven območja obročev. Vsak curek vode se bo slej kot prej ločil na posamezne kapljice. To navadno vidimo kot moten curek, ki ni več enakomeren in svetleče gladek. Ločitev na kapljice se mora zgoditi znotraj obroča, da bo poskus deloval najbolje. Če se to zgodi prehitro, lahko povečamo pretok vode, če se to sploh ne zgodi, pa ga bo potrebno zmanjšati.

V osnovi ni potrebno, da je pretok vode v obeh curkih povsem enak, a se temu poskušamo čim bolj približati.

Ob zelo visoki relativni vlažnosti ozračja poskus ne bo deloval, saj bo do razelektritve prihajalo preko vlažnega zraka. Poskus prestavimo v klimatiziran in suh prostor.

Za konec izdelamo še preprosto iskrišče za ustvarjanje preboja v zraku. Najbolje bo nalogi služila kovinska krogla. Večja kot bo, lažje bomo izvedli poskus. Kovinske krogle (vsaj votle in lahke) ni tako enostavno dobiti, saj gre za precej namenske izdelke. Najlažje jih najdemo v obliki ročajev za vrata omar v trgovinah za domače mojstre. Med seboj ju moramo ustrezno izolirati s plastičnim podstavkom, kjer za izgradnjo uporabimo ostanke PVC cevi iz prvega dela naloge, ali pa trše plastične slamice za večkratno uporabo. Slika 7 prikazuje izdelano iskrišče na dveh podstavkih iz ostanka plastike, pritrjeno z lepilom za vroče lepljenje, s kroglicami približno 10 cm nad tlemi. Iskrišče naj bo razdeljeno na dva dela, da lahko razmak med kroglicama poljubno spreminjamo. Povezavo med kroglico in ustrezno posodo zagotovimo s krajšim kosom bakrene žice.

Kroglico lahko oblikujemo tudi s tesnim mečkanjem ALU folije za živila, ali pa uporabimo debelejša kosa žice, ki ju na koncu skrivimo v obliki črke J in približamo na razdaljo 3 mm.



Slika 7: Preprosto iskrišče

Sedaj lahko iskrišče uporabimo, da s Kevinovim generatorjem ustvarimo (drobno) strelco. S krajšim kosom žice na en del iskrišča povežemo levo posodo, desno pa povežemo na drug del. Kroglice med seboj najprej razmaknemo za 3 mm in pričnemo s spuščanjem vodnih kapljic. Ko bo elektroskop pokazal dovolj veliko naelektritev, bo tudi med kroglicama preskočila drobna iskrica. Razdaljo iskrišča nato povečujemo toliko časa, da iskra komaj še uspe preskočiti. Tedaj bomo slišali najglasnejši pok, v temi pa bomo videli tudi droben blisk.

- Opazujemo kaj se dogaja z vodnim curkom tik preden preskoči iskra.
- Spremenimo pretok vode in opazujemo kako se to odraža na hitrosti preskoka iskre ter razmaku lističev elektroskopa.
- Poskusimo se dotakniti naelektrjenih spodnjih posod z roko in opazujemo dogajanje na elektroskopu.

Lord Kelvin je s svojim pripomočkom meril hitrost naelektritve in vpliv na vodni curek, s tem pa opazoval zemljino statično električno polje in njene spremembe. Z našim poskusom lahko njegovo teorijo enostavno ponazorimo, bi pa se morali precej bolj potruditi pri izdelavi, da bi to postal uporaben merilni instrument.

Nasveti

- Poskus lahko sestavimo precej enostavneje tudi brez uporabe gumijastih cevi. V dve plastični posodi (banjica od sladoleda) proti dnu iz strani zvrtno drobno luknjico, ju postavimo na primerno višino in galvansko povežemo s kosom aluminijaste folije. V obe posodi nalijemo vodo. Konzerve, ki tvorijo obroč prilagodimo po višini tako, da se točka drobitve curka v kapljice nahaja na sredini konzerve (obroč).
- Namesto izgradnje nosilca obročev, lahko konzerve prilepimo viseče z robu police, kjer naj konzerva pod rob police sega vsaj 20 cm. Lepilni trak je slabo prevoden in se bo obnašal kot zadosten izolator za naše potrebe. Celoten poskus lahko sestavimo precej hitreje, a žal ne prinaša enostavne ponovljivosti, ter ni odporen na dolgotrajne poskuse saj lepilo pod vodo hitro popusti.
- Če se vodni curek zlomi v kapljice takoj pri izstopu iz gumijaste cevi cevko preprosto postavimo v sredino obroča iz konzerve.

Dodatno

- Če se curek vode zlomi v kapljice tik nad kovinskim obročem, kapljice pa nato potujejo skozi njegovo središče, lahko opazimo še dodatno razpršitev drobnih kapljic v smeri proti obroču - zaradi privlačne sile med dvema nasprotno naelektrenima delcema (vodna kaplja in obroč).
- Za spodnji posodi ni nujno, da sta kovinski. Lahko uporabimo tudi plastično posodo, vendar moramo žico takrat potopiti v vodo, z odjemom tik na površini vode (plovec). Poskus bo v tem primeru bolje deloval s slano vodo.

Vprašanja za razmislek

- Kdaj je tempo preskakovanja iskre najhitrejši?
- Zakaj se curek vode, če ta ne teče povsem po sredini zanke, vidno odkloni tik pred preskokom iskre?
- Kaj se zgodi, če se ene izmed posod držimo z roko? Kaj se zgodi, če se držimo obeh hkrati? (posodi sta kovinski)
- Kako bi nalogo razširili na več vodnih curkov?
- Zakaj takšna statična elektrika za nas ni nevarna?
- Kakšni pogoji v prostoru bodo najboljši za delovanje Kelvinovega generatorja?
- Ali bi poskus deloval tudi z destilirano vodo, oljem ali Cockto?
- Kaj je potrebno pri vaši postavitvi spremeniti, če bi želeli, da generator postane merilni instrument?