

Jednosmerna struja u gasu

Provodljivost gasova. Joni. Udarne jonizacija

Normalni, tj neutralni gasovi su izolatori. Normalno, gas se sastoji od neutralnih molekula i u njemu nema slobodnih nosioca naelektrisanja, što dobro objašnjava zašto gasovi ne provode struju.

Da bi gasovi provodili struju potrebno je da dođe do njihove jonizacije. Jonizacija gasa se može izazvati na više načina, ali najčešće se koristi: zagrevanje gasa do temperatura belog usijanja, njegovo ozračivanje nekim visokoenergetskim zračenjem, kao što je ultraljubičasto ili rentgensko zračenje, ili izlaganje gasa nekom čestičnom zračenju, kao što su brzi elektroni, α čestice, protoni itd.

Zagrevanje gasa ili njegovo ozračivanje UV ili X – zracima ima za cilj da elektroni u atomima gasa apsorbiraju dovoljno energije da savladaju privlačnu Kulonovu silu jezgra i da tako uspeju da izađu iz atoma (to je jonizacija gasa).

Na taj način nastaju laki negativni joni – a to su elektroni koji su napustili svoje atome i teški pozitivni joni – a to su atomi koji su posle jonizacije ostali sa manjkom elektrona, tj sa viškom pozitivnog naelektrisanja.

U gasu mogu nastati i teški negativni joni – a to se dešava ako neutralni atomi gasa imaju jako izraženu težnju da prime jedan elektron zbog postizanja stabilne konfiguracije u valentnom nivou. Takvi su svi gasovi iz VII grupe periodnog sistema (fluor, hlor, itd.) koji u valentnom nivou imaju 7 elektrona, pa im do stabilne konfiguracije od 8 elektrona nedostaje 1 elektron. Ako elektron – kao slobodan laki negativni jon – naiđe na ovakav atom gasa, postoji velika verovatnoća da ga ovaj atom privuče i zarobi u svom valentnom nivou. U tom slučaju ovakav atom bi imao u sebi višak negativnog naelektrisanja – to bi bio teški negativni jon u gasu.

Ako je gas izložen čestičnom zračenju dolazi do pojave udarne jonizacije. Udarne jonizacije se može desiti na dva načina:

1. brza čestica uleće u atom gasa, direktno se sudara sa jednim od elektrona iz elektronskog omotača i pritom mu predaje dovoljno energije za jonizaciju. Na ovaj način jonizaciju mogu vršiti i naelektrisane i neutralne čestice. Međutim, elektroni, a i čestice koje vrše jonizaciju, su vrlo malih dimenzija što znači da je verovatnoća njihovog direktnog sudara izuzetno mala, pa je vrlo mala verovatnoća opisanog događaja.

2. naelektrisana čestica prolazi kroz atom gasa i pri slučajnom bliskom prolasku pored jednog od elektrona iz elektronskog omotača Kulonovom silom deluje na njega i izbacuje ga iz atoma. Ovakvu jonizaciju ne mogu vršiti neutralne čestice. Međutim, verovatnoća bliskog prolaska je mnogo veća nego direktnog sudara, pa je ovo način na koji se uglavnom i dešava udarna jonizacija.

Posledica prethodnog razmatranja je da mnogo veću jonizaciju gasa vrše naelektrisane (e^- , p^+ ili α^{++}) od neutralnih čestica – kao što su recimo neutroni (n). Istovremeno, to je razlog da je domet naelektrisanih čestica u gasu mnogo manji od dometa neutralnih čestica – zato što pri svakoj jonizaciji čestica predaje deo svoje energije elektronima u atomima gasa, što na kraju i dovodi do njenog zaustavljanja.

Kada je gas izložen jonizaciji, na bilo koji od prethodno opisanih načina, pored procesa jonizacije u gasu paralelno teče i suprotan proces, a to je rekombinacija. Naime, elektroni, kao slobodni laki negativni joni, pri svom haotičnom kretanju kroz međuatomski prostor u gasu mogu slučajno da naiđu na neki od teških pozitivnih jona i da privučeni Kulonovom silom uđu u taj jon na upražnjeno elektronsko mesto – čime bi došlo do njihove obostrane neutralizacije. Opisani proces se naziva rekombinacija i on smanjuje koncentraciju jona u gasu. Verovatnoća rekombinacije raste sa povećanjem koncentracije jona u gasu.

Zato u gasu, izloženom jonizaciji, u jednom trenutku koncentracija jona prestaje da raste zato što dolazi do dinamičke ravnoteže između procesa jonizacije i procesa rekombinacije. To se dešava onda kada se broj jonizacija izjednači sa brojem rekombinacija u istom vremenskom intervalu.

Zemljina atmosfera je uvek blago jonizovana zbog prirodne radioaktivnosti zemljine kore, ali i zbog kosmičkog zračenja i zračenja koje stiže sa Sunca. Veće koncentracije jona u atmosferi mogu biti posledica jakih vetrova koji dovode do trenja između ogromnih slojeva vazdušnih masa, a to na samoj

granici između dva takva sloja može dovesti do vrlo intenzivne jonizacije izazvane mehaničkim trenjem jednog vazdušnog sloja o drugi.

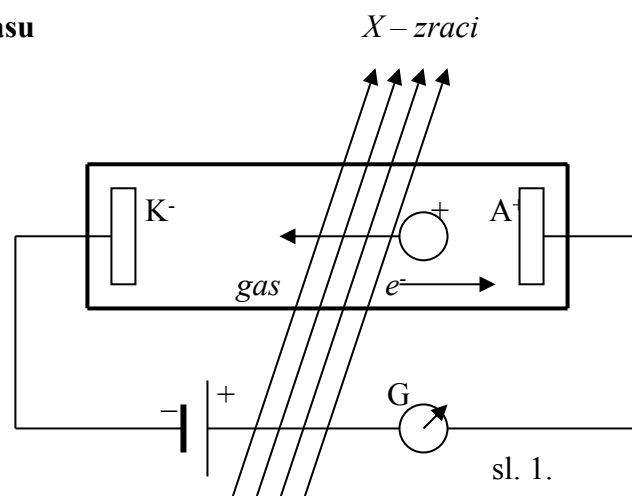
Naučno je dokazano da ljudi različito reaguju na pozitivne i negativne jone u atmosferi. Pozitivni joni loše utiču na autonomni vegetativni nervni sistem čoveka, što uzrokuje loš rad svih unutrašnjih organa koji su pod njegovom kontrolom. Nasuprot tome, negativni joni u vazduhu blagotvorno utiču na rad ovog sistema. Uz to pozitivni joni izazivaju razne psihičke tegobe – od nervoze do bezrazložnog straha. Negativni joni deluju opuštajuće i izazivaju dobro raspoloženje. Recimo, pred oluju vazduh je pun pozitivnih jona pa je to veliki deo razloga koji tada dovode do napetosti i uznemirenosti pa i straha, dok kiša donese visoku koncentraciju negativnih jona što opet izazove relaksaciju, pa nije onda čudno što se kada pada kiša dobro spava. Pozitivnih jona ima u zatvorenim i loše provetrenim prostorijama, a naročito u zatvorenim metalnim kabinama, dok je vrlo visoka koncentracija negativnih jona izmerena u morskom i planinskom vazduhu.

Sve prethodno rečeno možemo upotrebiti za definiciju jednosmerne struje u gasu:

Jednosmerna struja u gasu je usmereno kretanje pozitivnih i negativnih jona izazvanog spoljašnjim električnom poljem.

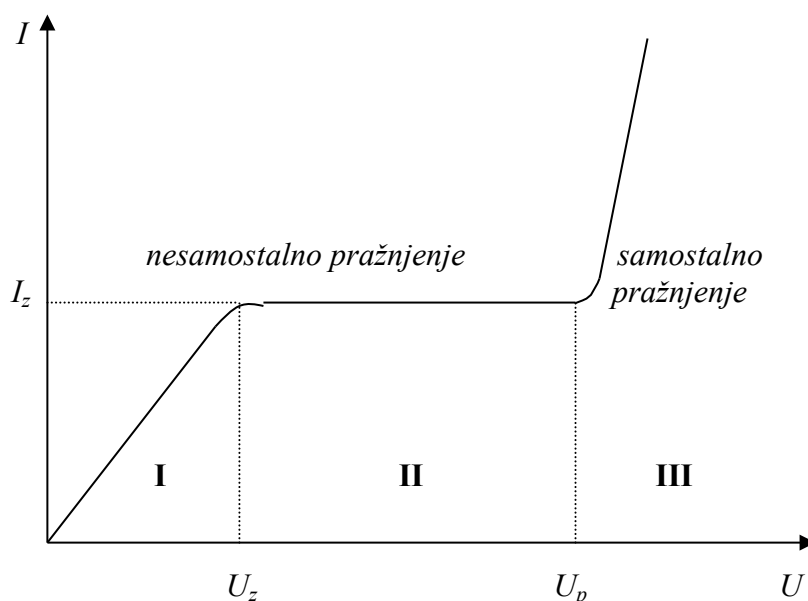
Nesamostalno i samostalno pražnjenje u gasu

Na sl. 1. je prikazana cev u kojoj se nalazi gas. Na suprotnim krajevima cevi se nalaze katoda i anoda i one obezbeđuju električno polje. Galvanometar ne pokazuje struju zato što u gasu nema jona, tj. slobodnih nosioca struje. Ako se gas izloži delovanju nekog spoljašnjeg jonizatora, npr. rentgenskom zračenju, doći će do jonizacije njegovih atoma, pa će otpočeti njihovo usmereno kretanje prema elektrodama, tj. kroz gas će poteći jednosmerna struja – koju možemo očitati na galvanometru. Proticanje jednosmerne struje kroz gas se naziva električno pražnjenje. Kako je opisano pražnjenje uslovljeno spoljašnjim



uzrokom jonizacije gasa u cevi, ono se naziva nesamostalno pražnjenje.

Na graf. 1. je prikazana zavisnost jačine struje (I), koja protiče kroz gas, od napona između katode i anode (U). Grafik se može podeliti u tri zone: u prvoj zoni napon uzima vrednosti od 0 do U_z (ovo je oznaka za napon zasićenja). Ova zona prikazuje oblast nesamostalnog pražnjenja u gasu. Uočljivo je da u ovoj oblasti porast napona izaziva porast jačine struje. To je oblast u kojoj važi Ohmov zakon. Ako je napon $U = 0$, tada je i jačina struje $I = 0$. Ovo je logično jer bez spoljašnjeg električnog polja neće ni doći do usmerenog kretanja jona, tj neće ni biti struje. Pojava napona između katode i anode dovede do usmerenog kretanja jona, ali pri malim naponima ta struja je slaba zato što mali broj stvorenih jona stiže do elektroda, a treba imati na umu da je obrazac za jačinu struje: $I = n \cdot e \cdot v \cdot S$, iz koga se vidi da jačina struje direktno srazmerna koncentraciji slobodnih nosioca (n). Uzrok malog broja jona koji stiže na elektrode je njihova mala prosečna brzina, pa se zbog toga dešava veliki broj rekombinacija pri njihovim slučajnim susretima.



Sa povećanjem napona u cevi povećava se i prosečna brzina jona, pa se time smanjuje verovatnoća njihove rekombinacije. Na taj način porast napona dovodi do porasta jačine struje u prvoj zoni.

Napon zasićenja U_z izaziva tako veliku brzinu usmerenog kretanja jona da rekombinacije više nema. Tako počinje druga zona na grafiku. Kako tada svi stvoreni joni stižu na elektrode, jasno je da se ne može očekivati dalje pojačavanje struje sa porastom napona, što se u zoni II i ostvaruje.

Ovde se može razmotriti uticaj prosečne brzine jona (v) na jačinu struje. Prema obrascu za jačinu struje: $I = n \cdot e \cdot v \cdot S$ ovaj uticaj bi trebalo da bude jednak uticaju koji ima koncentracija jona koji stižu na elektrode. Međutim, praktično ovog uticaja nema pri porastu napona zato što joni pri usmerenom kretanju ka elektrodama ispred sebe nemaju slobodan prostor, već se na njihovom putu nalazi veliki broj neutralnih atoma gasa, što dovodi do njihovog sudaranja pri čemu se prosečna brzina jona smanjuje, pa se ne može očekivati značajniji uticaj brzine jona na jačinu struje.

Jačina struje u II zoni se naziva struja zasićenja (I_z). Zona I i zona II predstavljaju nesamostalno pražnjenje, jer bi isključivanje spoljašnjeg jonizatora dovelo do gašenja struje u gasu onog trenutka kada bi svi prethodno stvoreni joni stigli do elektroda.

III zona je oblast samostalnog pražnjenja. To znači da bi i pri isključivanju spoljašnjeg jonizatora struja nastavila da teče. To bi značilo da se iznad napona proboja (U_p) u gasu pojavljuje neki novi proces u kome se stvaraju novi joni. Taj proces je udarna jonizacija koju vrše primarni joni gasa – a to su oni koje stvara spoljašnji jonizator. Ako je napon veći od napona proboja, tada primarni joni – između dva sudara sa neutralnim atomima gasa – steknu tako veliku brzinu, tj. energiju da pri sudaru sa neutralnim atomima gasa vrše njihovu udarnu jonizaciju i na taj način stvaraju sekundarne jone, a oni im se pridružuju u procesu provođenja struje, ali i u novim udarnim jonizacijama. Sada se spoljašnji jonizator može isključiti a struja će i dalje teći i to sve jača što je napon veći – zato što to znači sve veću energiju kojom joni raspolažu za vršenje udarne jonizacije.

Vrednost napona proboja prevashodno zavisi od gustine gasa. Na izgled ova zavisnost je čudna, ali postoji logično objašnjenje. Naime, ako je gas razređen tada je rastojanje između njegovih atoma povećano, pa joni imaju, između dva uzastopna sudara sa atomima, duži slobodni put, što omogućava da i pri manjim naponima joni imaju prostora i vremena da steknu dovoljnu energiju za vršenje sekundarne udarne jonizacije. Obrnuto, u zgusnutom gasu potreban je veliki napon da bi se pojavila sekundarna udarna jonizacija, tj. da bi došlo do proboja gasa – jer se joni moraju ubrzavati do potrebnih energija na jako malim slobodnim putevima između dva sudara.

Na primer: napon proboja atmosferskog vazduha na normalnom pritisku iznosi oko 30 000 V, ako su elektrode udaljene 1 cm. Na ovaj način nastaje munja. Dakle, napon proboja je praćen varnicom koja preskače prostor između elektroda. Ako je gas jako razređen, kao u neonskim cevima, napon proboja može biti i običnih 220 V, na rastojanju elektroda od 1 m – što dovodi do takozvanog “tinjavog pražnjenja” u cevi, a ono je uzrok da cev svetli.

Gajger Milerov brojač

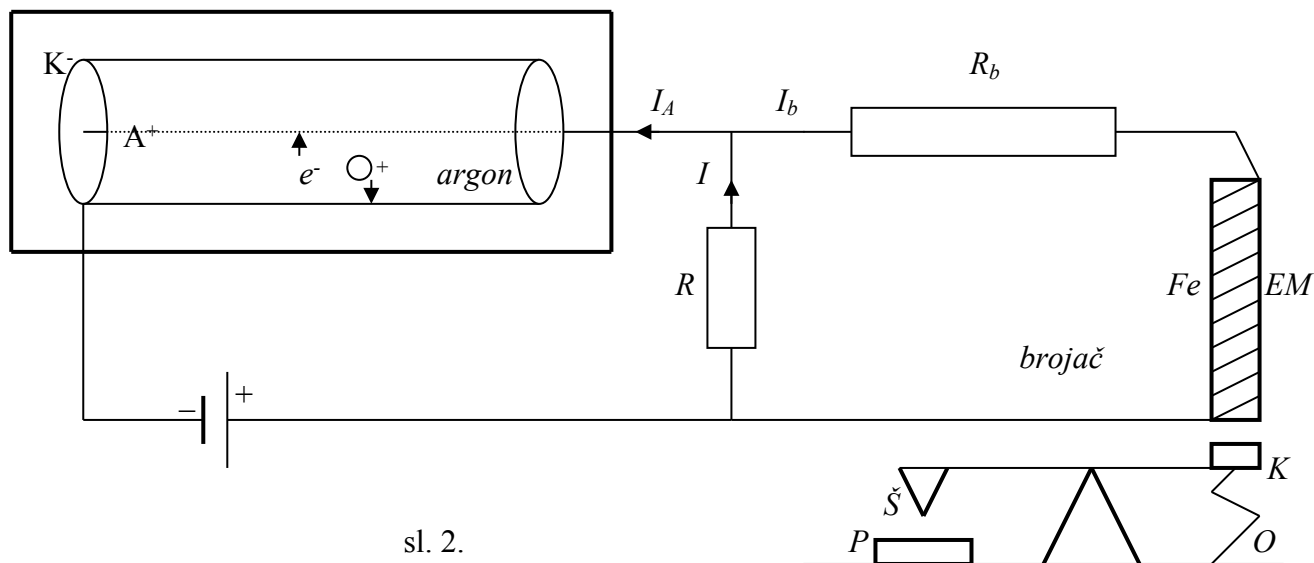
Ovo je sprava za detekciju radioaktivnog zračenja. a njen rad se zasniva na samostalnom pražnjenju kroz gas. Na sl. 2. se može videti njegova konstrukcija. Sastoji se od metalne kasete u kojoj se nalazi inertni gas – argon. Kako ima popunjen valentni nivo, atom argona se vrlo teško jonizuje, pa je to razlog da je baš takav gas u komori – jer je potrebno sprečiti njegovu slučajnu jonizaciju. Pritisak argona u cevi je dosta nizak, tako da je napon njegovog proboja oko 1000 V.

U cevi se još nalaze i dve elektrode: katoda u obliku cevi i anoda u obliku žice koja se nalazi duž ose cilindrične katode. Važno je napomenuti da se anoda i katoda nigde ne dodiruju.

Anodna struja se deli u dve grane – jedna, u kojoj se nalazi otpornik R , a koja zatvara strujno kolo u kome se nalazi izvor jednosmerne struje, čija elektromotorna sila je oko 1000 V. Druga grana, u kojoj se nalazi otpornik R_b , vodi deo anodne struje u brojač, čiji je zadatak da otkucava (a samim tim i da prebrojava) prolazak kroz komoru svake čestice koja je u stanju da izazove jonizaciju argona. Otpornik R_b je znatno veći od otpora R , tako da vrlo mali deo anodne struje ide u brojač, dok najveći njen deo protiče kroz otpornik R .

Vrednost otpora R je tako podešena da njegov proizvod sa jačinom struje koja teče kroz njega bude tačno jednak naponu između katode i anode. Dakle, pad napona na otporniku R je: $I \cdot R = U$.

Kada kroz komoru prođe neka brza mikročestica (ili visokoenergetski foton), tada ona na svom tragu vrši udarnu jonizaciju neutralnih atoma argona. Ovako stvoreni – primarni joni, pod dejstvom napona između katode i anode, krenu ka elektrodama, ali kako je napon veći od napona proboja oni između dva sudara sa neutralnim atomima argona steknu dovoljno veliku brzinu, tj. energiju da i sami vrše udarnu jonizaciju. Na taj način nastaju sekundarni joni, koji i sami vrše udarnu jonizaciju... Tako čitava lavina jona stiže na obe elektrode. Zato je anodna struja vrlo jaka i kao što je već rečeno, njen manji deo ide u brojač (I_b) i to izazove jedan otkucaj brojača, dok njen najveći deo I prolazi kroz otpor R , što u kolu izazove pad napona $I \cdot R$. Kako je podešeno da ovaj pad napona bude brojno jednak naponu između katode i anode, to dolazi do razelektrisanja elektroda. Posledica je da joni više ne stižu na elektrode, a to izazove njihovu rekombinaciju, zbog čega se argon vraća u neutralno stanje. To dovodi do prekida anodne struje, što dovede do ponovnog uspostavljanja napona između elektroda, a komora je spremna da detektuje novu česticu.



sl. 2.

Za to vreme u brojaču struja I_b izazove vrlo jako magnetno polje oko elektromagneta EM . On privuče gvozdenu kotvu K , a posledica je da metalni šiljak \check{S} udari u metalnu pločicu P , čime je otkucan prolazak čestice kroz komoru. Kada dođe do prekida anodne struje elektromagnet se razmagnetiše i više ne deluje na kotvu, pa je opruga O vrati u donji položaj, a šiljak se odvoji od pločice, što znači da je spreman za novi otkucaj.

Opisani procesi traju oko jednog desetiljaditog dela sekunde ($0,0001 s$), a to znači da je komora u stanju da detektuje oko 10 000 pojedinačnih prolazaka u jednoj sekundi.