

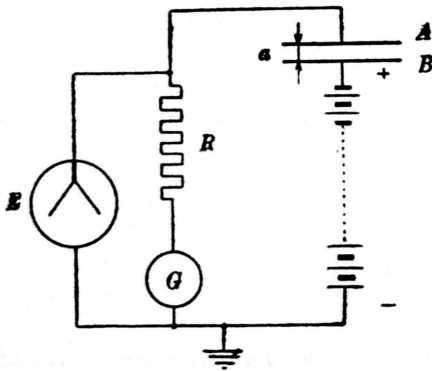
Účinnosť ionizačného činiteľa charakterizuje počet n' iónových párov, ktoré ionizačný činiteľ vytvára v objemovej jednotke za jednotku času. Veličina n' sa nazýva *intenzita ionizácie*. Keď ióny zanikajú v plyne len svojou rekombináciou, za rovnováhy počet vznikajúcich párov iónov sa rovná počtu párov rekombináciou zanikajúcich, takže $n' = \gamma n^2$, alebo

$$n = \sqrt{\frac{n'}{\gamma}} \quad (2)$$

Príklad 2. Z tzv. nasýteného prúdu pri vedení elektrického prúdu v suchom vzduchu (pozri čl. 5.3) vyplýva, že vplyvom ionizačných činiteľov, ktoré v ovzduší trvale pôsobia v 1 cm^3 vzduchu vzniká za 1 s asi 5 párov iónov. Pretože koeficient rekombinácie iónov vo vzduchu je asi $1,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$, pre koncentráciu iónov v ovzduší z týchto údajov dostávame:

$$n = \sqrt{\frac{n'}{\gamma}} = \sqrt{\frac{5 \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}}{1,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}}} = 10^3 \sqrt{\frac{5}{1,6}} \text{ cm}^{-3} = 1\,770 \text{ cm}^{-3}$$

5.3. Nesamostatné a samostatné elektrické výboje v plynoch. Majme na mysli elektrický okruh (obr. 5.1), v ktorom sú za sebou: meniteľný zdroj ems, medzera medzi kovovými doskami A a B so šírkou a , vyplnená plynom pod nejakým tlakom, úsek s veľkým odporom R a galvanometer G . Paralelne k odporu R a galvanometru je prípadne pripojený ešte citlivý elektrometer E .



Obr. 5.1.

Pretože v plyne medzi doskami A a B je vždy určitý počet iónov v okruhu je vždy elektrický prúd. Jeho intenzitu udáva galvanometer zaradený do okruhu, alebo ju — ak je príliš malá — počítame z údajov elektrometra podľa vzorca $I = \frac{u_R}{R}$, v ktorom u_R značí napätie udávané elektrometrom.

Pokiaľ napätie u medzi elektródami A a B je menšie, než je jeho kritická hodnota, pri ktorej pri danej vzájomnej vzdialenosti elektród nastáva už ionizácia molekúl plynu pôsobením elektrického poľa,

ióny vznikajú v plyne len pôsobením vonkajších ionizačných činiteľov. Za týchto okolností ióny miznú v plyne jednak rekombináciou na elektricky neutrálné molekuly, jednak putovaním k elektródam za vedenia prúdu. Keď hustota tohto prúdu je i , v objeme plynu, ktorý sa nachádza medzi sebe zodpovedajúcimi plošnými jednotkami oboch elektród, stráca sa prúdom za jed-

notku času (za predpokladu, že všetky sú jednomocné) $\frac{i}{e}$ párov iónov, v obje-
movej jednotke plynu teda priemerne $\frac{i}{ea}$ párov iónov. Za ustáleného stavu
musí sa počet iónov vznikajúcich pôsobením ionizačného činiteľa rovnať súčtu
počtu iónov, ktoré za rovnaký čas podliehajú rekombinácii, a počtu tých,
ktoré odnáša prúd. Teda

$$n' = \gamma n^2 + \frac{i}{ea} \quad (1)$$

Budeme sledovať závislosť intenzity prúdu I od napätia u medzi elektró-
dami (obr. 5.2), ktoré sú pripojené na svorky zdroja jednosmerného prúdu cez
vhodne volený a prípadne aj meniteľný odpor. Pri dostatočne malej hodnote
napätia u aj hustota prúdu i môže byť len veľmi malá, takže druhý člen
v rovnici (1) môže za ešte zanedbať. Za tohto predpokladu koncentrácia iónov
v plyne je $n = \sqrt{\frac{n'}{\gamma}} = \text{const}$, a hustotu prúdu určuje podobný vzorec ako
hustotu prúdu pri jeho vedení v roztoku elektrolytu,

$$i = \varrho_+ v_+ + \varrho_- v_- = en(v_+ + v_-) = en(u_+ + u_-) E = en(u_+ + u_-) \frac{u}{a} \quad (2)$$

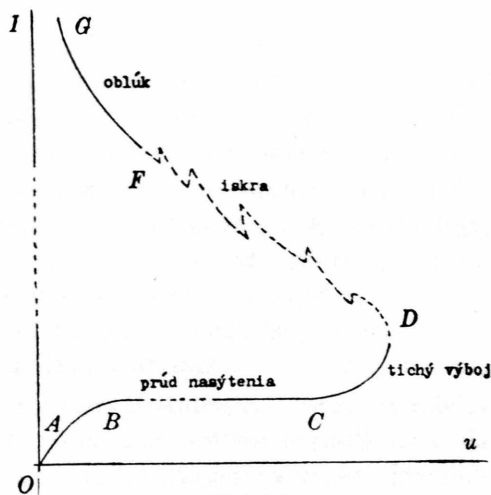
kde u_+ a u_- sú pohyblivosti plyných iónov, t. j. ich rýchlosti v poli jednot-
kovej intenzity. Súčin $en(u_+ + u_-)$ predstavuje zrejme *mernú vodivosť* plynu,
ktorá pri daných vonkajších podmienkach a pri malých prúdových hustotách,
pri ktorých koncentráciu iónov v plyne môžeme ešte považovať za konštantnú,
je teda tiež veličina stála.

Zo vzorca (2) okrem toho vyplýva, že intenzita prúdu medzi elektró-
dami A a B , keď ich plochy sú S , je

$$I = iS = \frac{en(u_+ + u_-) S}{a} u \quad (3)$$

Je teda úmerná napätiu na elektró-
dach. Podľa týchto výsledkov pri
malých napätiach sa vedenie prúdu
v plynoch riadi Ohmovým zákonom,
čomu na obr. 5.2 zodpovedá úsek OA .

Pri vyšších hodnotách prúdovej
hustoty člen $\frac{i}{ea}$ vo vzorci (1) ne-
možno už zanedbať. Pretože sa súčet



Obr. 5.2.

členov $\gamma n^2 + \frac{i}{ea}$ za pôsobenia nemeniaceho sa ionizačného činiteľa nemení, znamená to, že sa s rastúcou hustotou prúdu koncentrácia iónov v plyne znižuje. So stúpajúcim napätím na elektródach sa stále väčší počet iónov, vznikajúcich pôsobením vonkajšieho ionizačného činiteľa, prúdom odnáša k elektródam skôr, než môže nastať ich rekombinácia na elektricky neutrálne molekuly. Zmenšovanie koncentrácie iónov má za následok zmenšovanie vodivosti plynu. Vzrast prúdu so stúpajúcim napätím začína sa preto spomaľovať, čo vyjadruje na obr. 5.2 úsek krivky prúdu a napätia AB .

So stúpajúcim napätím na elektródach zanikanie iónov ich rekombináciou stáva sa dejom stále podradnejším, až pri dostatočne veľkom napätí prakticky všetky ióny, ktoré vznikajú v plyne pôsobením vonkajšieho ionizačného činiteľa, dostávajú sa až k elektródam. Ďalšie zväčšovanie napätia nemá preto spočiatku za následok už ďalší vzrast prúdu, čo znázorňuje úsek krivky BC na obr. 5.2. Tomuto vodorovnému úseku krivky zodpovedá prúd, ktorý sa nazýva *prúdom nasýtenia*. Jeho hustota vyplýva z rovnice (1), keď v nej píšeme: $\gamma n^2 = 0$,

$$i_n = ean' \quad (4)$$

Priama úmernosť prúdu nasýtenia i_n intenzite ionizácie n' sa využíva na meranie účinnosti ionizačného činiteľa, napríklad na meranie intenzity rádioaktívneho žiarenia a pod. Prakticky sa to robí napríklad meraním rýchlosti vybíjania elektroskopu spojeného s ionizačnou komôrkou.

Avšak so stúpajúcim napätím na elektródach prúd sa nemení a rovná sa stále prúdu nasýtenia len tak dlho, pokiaľ ióny nezačnú vznikať v plyne aj pôsobením elektrického poľa v ňom vytvoreného, teda ionizáciou nárazom. Vedenie elektrického prúdu v plynoch po začatí ich ionizácie nárazom, na čo potrebné napätie je tým menšie, čím je aj tlak plynu menší, prebieha spôsobom veľmi závislým aj od kapacít elektród, od elektrického odporu v okruhu a od toho, či pole medzi elektródami je homogénne alebo nehomogénne.

Keď je tlak plynu väčší a elektrické pole v ňom vytvorené je homogénne, prúd nasýtenia po dostatočnom zväčšení napätia na elektródach sa bezprostredne mení na *iskrový výboj*, ktorý — keď odpor v okruhu je malý a zdroj prúdu v okruhu dostatočne výkonný — môže sa zmeniť aj na *oblúkový výboj*. Nevyhnutnou podmienkou vzniku oblúkového výboja je zosilnená emisia elektrónov z povrchu katódy v dôsledku jej ohriatia.

Iskrový výboj umožňuje lavínovitá tvorba iónov po začatí ionizácie plynu nárazom. Silným prúdom v čase trvania elektrickej iskry sa však potenciály obidvoch iskrou spojených telies vyrovnávajú, a preto celý dej sa môže opakovať, až sa po zhasnutí iskry na elektródy privedú nové náboje. V dôsledku

toho pri danej ems v okruhu frekvencia elektrických iskier je tým väčšia, čím sú kapacita elektród a odpor v okruhu menšie.

V nehomogénnom elektrickom poli vzniku iskier (na obr. 5.2 úsek DF) predchádza tzv. *tichý výboj*, pri ktorom sa ionizácia plynu nárazom deje iba tam, kde je intenzita poľa väčšia, teda v miestach, kde siločiarly elektrického poľa sú zhustené. Na obr. 5.2 tichému výboju zodpovedá úsek krivky prúdu a napätia CD . Tichý výboj sa prejavuje charakteristickým svetielkovaním a slabým šelestom pri elektródach.

Keď tlak plynu medzi elektródami je malý (len niekoľko torrov) a v okruhu je zaradený tiež len pomerne malý odpor, prúd nasýtenia sa so zväčšením napätia mení na tzv. *tlejivý výboj*.

Elektrické výboje sa zvyčajne rozdeľujú na *nesamostatné* výboje, ktoré nastávajú len za pôsobenia vonkajšieho ionizačného činiteľa, a na *samostatné* výboje, ktoré sa udržiavajú aj po odstránení tohto činiteľa. Na obr. 5.2 hraničným bodom oddeľujúcim nesamostatné a samostatné elektrické výboje je bod C .

V tomto článku sme doteraz sledovali vznik, priebeh a sprievodné javy elektrických výbojov v závislosti od napätia na elektródach pri konštantnom tlaku plynu. Veľmi poučné je tiež štúdium elektrických výbojov pri používaní konštantnej ems v okruhu v závislosti od tlaku plynu, najmä keď odpor v okruhu nie je príliš veľký. Používajú sa na to tzv. *Geisslerove trubice*. Geisslerova trubica je sklenená rúrka asi 50 cm dlhá a 4 cm široká, na oboch koncoch zatavená a vystrojená hliníkovými elektródami. V strede je k nej pripojená užšia rúrka, ktorá sa spája s dobrou vývevou, aby plyn z Geisslerovej trubice mohol byť odčerpávaný. Jej elektródy sa pripájajú priamo alebo prostredníctvom primerane veľkého odporu k svorkám zdroja jednosmerného prúdu s ems 2 000 až 10 000 voltov.

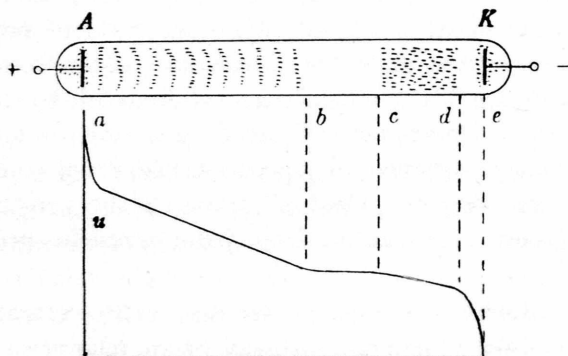
Keď tlak plynu, napríklad vzduchu, v trubici je ešte dosť veľký, v trubici je len veľmi slabý a nijako sa neprejavujúci nesamostatný výboj, lebo pomerne malé napätie vložené na elektródy trubice vytvára v trubici len slabé elektrické pole, v ktorom ionizácia nárazom nie je ešte možná. Keď však tlak klesne asi na 40 mm Hg, objaví sa v trubici úzky červený pruh (*kladný stĺpec svetelný*), ktorý sa rozprestiera od anódy až skoro po katódu; od katódy je oddelený *tmavým priestorom Faradayovým*. Katóda sama je obklopená *záporným tlejivým svetlom*. Na kladný svetelný stĺpec pôsobí magnetické pole práve tak ako na pohyblivý vodič elektrického prúdu, v ktorom ide prúd od anódy ku katóde.

S klesajúcim tlakom sa kladný svetelný stĺpec rozširuje a skraca a jeho jasnosť sa znižuje; často javí priečne zvrstvenie. Anóda sama sa obaľuje jasnou *anódovou vrstvou*. Záporné tlejivé svetlo sa tiež rozširuje a ostáva stále oddelené od kladného stĺpca tmavým priestorom Faradayovým. Katóda sa

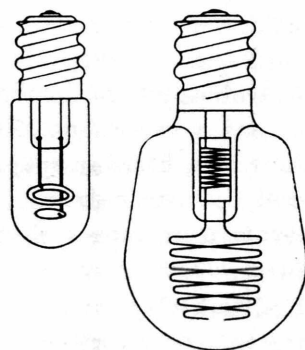
obklopuje *jasnou žltkastou vrstvou*, medzi ktorou a záporným tlejivým svetlom je druhý *tmavý priestor*, ktorý sa nazýva *Crookesovým*.

Rozloženie svietiacich vrstiev v Geisslerovej trubici pri tlaku asi 1 torr je naznačené na *obr. 5.3*. Písmeno *a* označuje na ňom jasnú anódovú vrstvu, úsek *ab* je kladný svetelný stĺpec, *bc* tmavý priestor Faradayov, *cd* záporné tlejivé svetlo, *de* tmavý priestor Crookesov a písmeno *e* značí jasnú katódovú vrstvu. Na obrázku je vyznačené aj rozloženie potenciálu v trubici, ktoré možno zistiť pomocou elektrických sond — tenkých platinových drôtikov zasahujúcich do rôznych miest v trubici a spojených s elektrometrami.

Pri ďalšom zriedovaní plynu v trubici mizne postupne (smerom k anóde) kladný anódový stĺpec aj záporné tlejivé svetlo; tmavý priestor Crookesov sa rozširuje na celú trubicu. Len v miestach ležiacich proti katóde sklo žltozelene fluoreskuje, čo znamená, že v trubici vzniklo nové žiarenie, ktoré sa nazýva *katódovým žiarením*. Spolu s Röntgenovým žiarením budeme sa ním zaoberať v nasledujúcom článku. Medzi studenými elektródami dokonale vyčerpanej výbojovej trubice ani pri veľmi vysokom napätí už neprechádza nijaký prúd a v trubici nevzniká nijaké žiarenie.



Obr. 5.3.

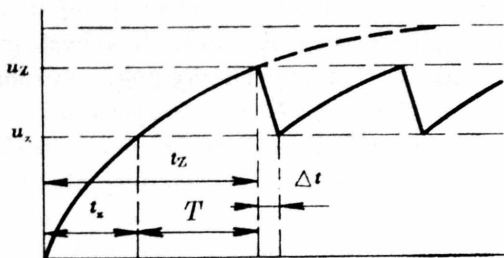


Obr. 5.4.

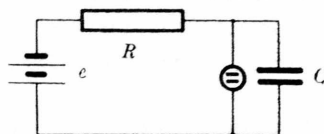
Predĺžením Geisslerovej výbojovej trubice, naplnenej plynom alebo parami pod tlakom asi 1 torr, predlžuje sa aj kladný svetelný stĺpec, nemenia sa však deje a svetelné javy v okolí katódy trubice. Takéto aj niekoľko metrov dlhé Geisslerove trubice, v ktorých podľa práve povedaného svieti prakticky len kladný svetelný stĺpec, používajú sa ako tzv. *neónky* pre reklamné účely. Neón svieti vo výbojkách červene, hélium žlté, zmes neónu a pár ortuti modro (v žltej trubici na zeleno) a pod. Ultrafialová zložka svetla výbojovky vyvoláva fluorescenciu niektorých látok, nanesených na jej vnútornú stenu. Na tomto princípe sú založené dnes veľmi rozšírené, pretože sú úsporné — *žiarivky*.

Keď je vzájomná vzdialenosť elektród výbojky malá, pri vhodnom tlaku svieti v nej len záporné tlejivé svetlo. Takéto tiež veľmi rozšírené výbojky sú znázornené na obr. 5.4. Aby mohol v nich vzniknúť elektrický výboj už pri napätíach 100 až 200 volt, ich hliníkové alebo železné elektródy sú potiahnuté vrstvou bária alebo jeho kysličníku, čím sa zväčšuje emisia elektrónov podporujúca výboj. Do výbojky sa v prípade potreby vmontuje odpor R , ktorý

ju chráni pred poškodením po jej pripojení na nevhodné napätie.

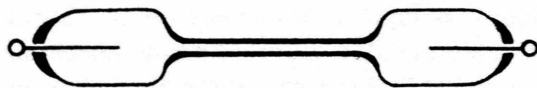


Obr. 5.5.



Obr. 5.6.

Malá výbojka bez vmontovaného odporu, tvaru znázorneného tiež na obr. 5.4, sa používa ako generátor tzv. *pílovitých kmitov* elektrického napätia, znázornených na obr. 5.5. Využíva sa tu okolnosti, že tzv. *zápalné napätie* výbojky u_z , pri ktorom sa výbojka rozsvieti, môže byť o 20 až 30 volt väčšie ako tzv. *zhášacie napätie* u_x , pri ktorom výbojka zhasína. Príslušné zapojenie je na obr. 5.6. Podľa výsledku úlohy č. 5 na str. 66 napätie na kondenzátore na obr. 5.6, ktorého kapacita je C , sa s časom zväčšuje podľa vzorca $u = u_0(1 - e^{-t/RC})$, podľa ktorého $t = -RC \ln(1 - u/u_0)$. Podľa tohoto výsledku zápalného napätia sa dosahuje na výbojke pripojenej paralelne ku kondenzátoru v čase $t_z = -RC \ln(1 - u_z/u_0)$, kedy sa kondenzátor prakticky okamžite vybije až na zhášacie napätie u_x . Pretože tohoto napätia sa dosiahlo po pripojení zdroja prúdu v čase $t_x = -RC \ln(1 - u_x/u_0)$, doba trvania jedného pílovitého kmitu je



Obr. 5.7.

$$T = t_z - t_x + \Delta t = RC \ln \frac{u_0 - u_x}{u_0 - u_z}$$

pričom Δt je čas, po ktorý sa kondenzátor vybíja. Vhodnou voľbou odporu R a kapacity C frekvenciu kmitov $\nu = 1/T$ možno meniť v rozsahu od niekoľko Hz až do niekoľko stotisíc Hz. Pílovitých kmitov sa používa v katódových osciloskopoch pre tzv. *časovú základňu*, t. j. pre niekedy vhodné vodorovné vychyľovanie stopy elektrónového lúča.

Obr. 5.7 znázorňuje výbojku používanú v spektroskopii. Pretože v nej kladný svetelný stĺpec vzniká vo veľmi úzkej rúrke, má veľkú plošnú svietivosť. Premieta sa pomocou spojnej šošovky na štrbinu spektroskopu.

5.4. Katódové, kanálové a Röntgenové lúče. Katódové lúče objavil I. W. Hittorf r. 1869, názov im dal E. Goldstein r. 1876. Štúdiom katódových lúčov sa podrobne zaoberal najmä Crookes, ktorý zistil aj väčšinu ich význačných vlastností, nezávislých ani od plynu, ktorý vo výbojovej trubici ostal, ani od materiálu katódy. Tieto vlastnosti sú: 1. Katódové lúče vystupujú kolmo z katódy a šíria sa priamočiario, ako to dokazuje známy pokus s Crookesovým krížom. Je to spôsobené tým, že elektrické siločiarly sú na povrch katódy kolmé ako aj tým, že intenzita elektrického poľa je len v tesnej blízkosti elektród veľká (pozri *obr. 5.3*). Cez okienko zhotovené z veľmi tenkej hliníkovej fólie (*Lenardovo okienko*) katódové lúče môžu byť vyvedené z výbojovej trubice do okolitého vzduchu, ktorý silne ionizujú, pri prechode cez kovovú fóliu sa však silne rozptyľujú. 2. Miesto, na ktoré katódové lúče dopadajú, sa silne zohrieva. 3. Pôsobia na prekážky mechanickým tlakom. 4. Vzbudzujú fluorescenciu (napríklad skla) a fosforescenciu (smaragdu, rubínu, kazivca a niektorých iných nerastov). 5. Účinkujú na fotografickú dosku. 6. V elektrickom a magnetickom poli mení sa ich smer tak, ako smer pohybu záporných bodových nábojov. Touto svojou vlastnosťou sa katódové lúče podstatne líšia od svetelných lúčov.

Crookes sa pôvodne domnieval, že katódové lúče sú rýchle sa pohybujúce záporné ióny plynu, ktorý vo výbojovej trubici ešte ostal. Až J. J. Thomson správne usúdil (1897), že katódové lúče sú tvorené rýchle sa pohybujúcimi elektrónmi. Ku vzniku katódových lúčov vo výbojovej trubici obsahujúcej veľmi zriedený plyn dochádza v dôsledku termoelektrónovej emisie na povrchu katódy, ktorej teplota je zvýšená prudko na ňu dopadajúcimi kladnými plynnými iónmi.

Lepšie ako v obyčajnej výbojovej trubici možno vlastnosti katódových lúčov skúmať v *Braunovej trubici*, ktorá má tvar znázornený na *obr. 5.8*. V ceste katódových lúčov vznikajúcich na rovnej katóde *K* stojí v Braunovej trubici sklenená priečka *P* s malým otvorom *o*. Týmto otvorom prechádzajúci úzky zväzok katódových lúčov vytvára na fluorescenčnom tienidle *S* svietiacu stopu. Keď sa k trubici priblížime napríklad so severným pólom permanentného magnetu tak, že indukčné čiary, ktoré vychádzajú z magnetu, smerujú kolmo za nákresnú rovinu, na elektróny katódových lúčov začne účinkovať sila $\mathbf{f} = -e(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$, ktorá spôsobí, že sa zväzok katódových lúčov vychýli dolu. Prejaví sa to zmenou polohy svietiacej stopy na fluorescenčnom tienidle.

Objav katódových lúčov, ktorých náboj je záporný, viedol ku skúmaniu,