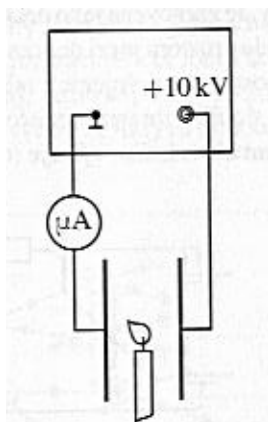


Elektrický proud v plynech a ve vakuu

Základní jevy. Ionizace plynu



Plyny jsou při normálním tlaku a teplotě izolanty. My však víme, že absolutní izolanty neexistují. I plyny mají nepatrnou vodivost. Nabitý vodič ztrácí nenadále svůj náboj i na vzduchu. Vybíjení nabitých izolovaných vodičů v čistém bezprašném vzduchu probíhá pomaleji než v prašném vzduchu nebo je-li v místnosti plamen, zdroj ultrafialového či rentgenového záření nebo radioaktivní preparát. Vybíjení si vysvětlujeme tím, že ve vzduchu jsou vždy nabitě částice – ionty, které jsou příčinou slabých proudů. Plyn, který se stal vodivým, se nazývá ionizovaný plyn. Činitele, který způsobí vznik iontů plynu, nazýváme ionizátor. Je to např. plamen, žhavé těleso, záření ultrafialové, rentgenové a radioaktivní. Ionizace molekuly plynu probíhá tak, že se od ní odtrhne elektron. K tomu je zapotřebí vykonat jistou, tzv. ionizační práci. Zbývá částice s kladným elektrickým nábojem – kationt. Kromě kationtů jsou v ionizovaném plynu anionty. Jsou to elektrony nebo jimi nabitě molekuly.

Rekombinace iontů – Kladné a záporné ionty v plynu se mohou při chaotickém pohybu navzájem srážet a spojovat. Vzájemným spojováním dvojice iontů zanikají. Při plynulém vzníkaní a nekombinování iontů se proto koncentrace iontů ustálí vždy na určité hodnotě závislé na vnějších podmínkách.

Nesamostatný výboj v plynu

Zasuneme-li mezi desky hořící svíčku mikroampérmetr ukáže výchylku a plamen svíčky se bude ohýbat k desce s nižším potenciálem, která je záporně nabitá. Velký vnitřní odpor zdroje omezuje proud na bezpečnou hodnotu. Vzdálíme-li plamen z dosahu elektrického pole desek, proud v obvodu ustane.

Vysvětlení: Působením plamene nebo záření se plyn ionizuje. Některé jeho molekuly se rozštěpí na elektron a kladný iont. Plamen nebo záření jsou ionizátory, energie, které dodávají elektronům energii potřebnou k jejich odtržení. Tato ionizační energie se obvykle udává v elektronvoltech ($1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$). Vzduch je vždy alespoň částečně ionizován účinkem kosmického záření a radioaktivity zemské kůry. Elektron vzniklý ionizací se může spojit s neutrální molekulou a vytvoří záporný iont.

Elektrický proud v plynu, který se udržuje jen po dobu působení ionizátoru se nazývá nesamostatný výboj.

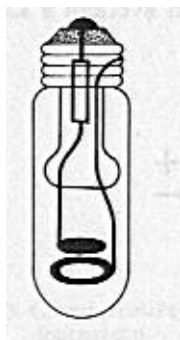
Samostatný výboj v plynu

Při značně vysokém napětí začne proud růst a existuje i po odstranění ionizátoru. Plyn si sám udržuje vodivost ději, které v něm probíhají, a proto se jedná o výboj samostatný. Napětí, při němž vzniká samostatný výboj, nazýváme zápalné napětí. Jak vysvětlit vznik samostatného výboje? Čím větší je napětí mezi elektrodami, tím větší je zrychlení iontů. Ionty mohou na své volné dráze dosáhnout takové kinetické energie, která je rovna nebo větší než ionizační práce, takže nárazem ionizují neutrální molekuly. Nastává ionizace nárazem. Samostatný výboj probíhá různě podle velikosti proudu.

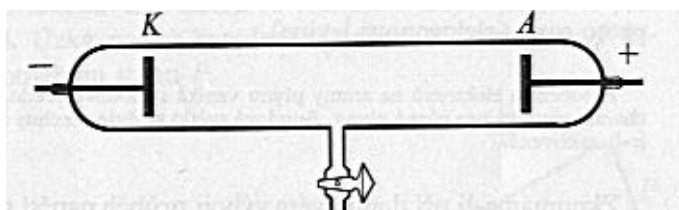
1. Při slabém proudu má světelný účinek podobu doutnání – výboj nazýváme doutnavým výbojem.
2. Při silnějších proudech se energie velkého počtu iontů dopadajících na elektrody projeví rozžhavením elektrod, které se tím stávají též ionizátory. Výboje se nazývá obloukový.
3. Krátkodobé výboje jsou nejintenzivnější – tvoří se jiskrový výboj.

Doutnavý výboj

Ionty získávají při daném napětí mezi elektrodami tím větší rychlost a energii, čím větší je jejich střední volná dráha. Snížíme-li tlak plynu, dosáhnou molekuly plynu potřebné energie k ionizaci při nižším napětí na elektrodách. Všimněme si nejprve doutnavého výboje v plynech za nízkého tlaku, tj. ve zředěných plynech.

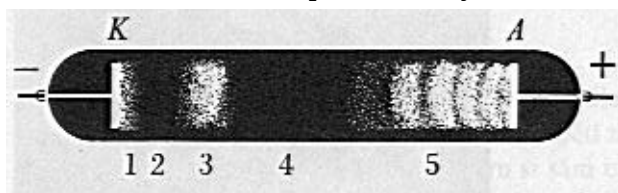


Doutnavky jsou krátké výbojky plněné neonem při tlaku 1000 Pa. V nich nevzniká anodový sloupec, ale jen katodové doutnavé světlo, které pokrývá elektrodu s nižším potenciálem. Zápalné napětí bývá 80 V - 150 V. Doutnavky se používají jako kontrolní světla jako indikátory napětí a konečně jako ukazatele směru proudu.



Změnu doutnavého výboje při změně tlaku plynu můžeme sledovat v trubici podle obrázku, která je připojena k vývěvě trubicí v, aby se tlak mohl měnit průběžně. K stabilizaci výboje zapojujeme v sérii s výbojkou velký

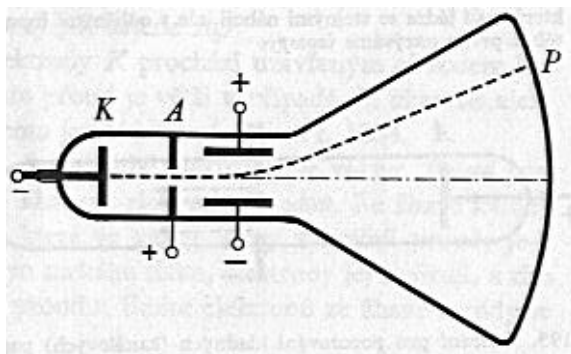
odpor (20 až 50 k Ω). Vznik výboje v trubici pozorujeme při tlaku řádově kolem 1 000 Pa. Z anody vychází vlnící se červený pruh, na katodě se objeví modravé doutnavé světlo. Oba výboje jsou odděleny Faradayovým tmavým prostorem. Při dalším snížení tlaku na 100 Pa vyplní anodové světlo celý příčný průřez trubice a jeho intenzita se zvětší. Katoda je celá pokryta katodovým doutnavým světlem. Při tlaku asi 100 Pa se anodové světlo zvrství, katodové světlo odstoupí od katody a nad katodou je růžová katodová vrstva (1). Anodové



světlo (5) je od katodového (3) stále odděleno Faradayovým tmavým prostorem (4) a mezi katodovým světlem a katodovou vrstvou je Crookesův tmavý prostor (2). Viz. obrázek

Při dalším snížení tlaku se tmavé prostory rozšiřují, intenzita světla klesá, až při tlaku asi 1 Pa anodové světlo mizí. Současně proti katodě objeví zelenavé nebo modravé světélkování skla. Výboj se tvoří v blízkosti katody, kde je velký potenciálový spád. Tím se kladné ionty velmi urychlují a dopadem na katodu jí odevzdávají svou energii, kterou přijmou elektrony kovu katody, z kovu vystupují a postupují k anodě. Po cestě ionizují molekuly plynu, vytvářejí tak nové elektrony a kladné ionty, tím se udržuje výboj. Počet volných elektronů se vzdáleností od katody k anodě proto roste. Ukazuje se, že zde neplatí Ohmův zákon.

Katodové záření



K emisi elektronů z katody dochází i při tak nízkém tlaku, při kterém už anodové světlo zaniklo. Tím intenzivněji světélkuje stěna trubice proti katodě. Vzniká katodové záření tvořené proudem elektronů, jejichž energie při dopadu na skleněnou stěnu trubice se mění na energii světelného záření. Vlastnosti katodového záření se studují v trubici, jejíž tvar je na obrázku. Úzký svazek katodového záření za štěrbinou A dopadá na protilehlou stěnu P.

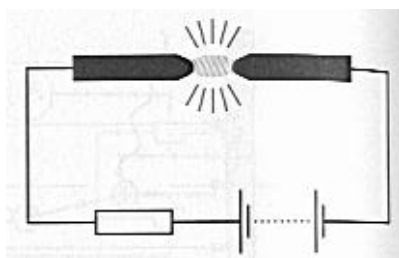
V elektrickém poli kondenzátoru se svazek katodového záření zakřivuje směrem k desce s kladným nábojem. Je to důkaz, že částice, které tvoří toto záření, mají záporný náboj.

Katodové záření ovlivňujeme pomocí (vychylujeme) polem elektrickým či magnetickým. Má účinky mechanické (roztočí lehký mlýnek), tepelné (soustředěním katodových paprsků můžeme rozžhavit anodu) a chemické (může způsobit neexponování fotografického materiálu). Dopadá-li katodové záření na kov s velkou relativní hmotností, vzniká v místě dopadu pronikavé rentgenové záření.

Samostatný výboj v plynu

Za atmosférického tlaku může nastat obloukový výboj, jiskrový výboj nebo koróna.

Obloukový výboj



Je nejdůležitější, který je snadno realizovatelný. V obvodu zdroje, jehož napětí je alespoň 60 V a který může dodávat proud alespoň 10 A, jsou zapojeny dvě uhlíkové elektrody a robustní předřadný rezistor (viz. Obrázek). Obloukový výboj vznikne, jestliže elektrody krátce přitiskneme k sobě a pak vzdálíme na několik milimetrů. Během dotyku se konce elektrod rozžhávají a po oddálení způsobí tepelnou ionizaci okolních molekul vzduchu. Obvodem prochází

silný proud, kterým se teplota elektrod i plazmy mezi nimi zvýší na několik tisíc kelvinů.

Vysoké teploty obloukového výboje se využívá při obloukovém svaření kovů, kde svařované kovové díly tvoří jednu elektrodu a druhou elektrodou je drát z přídatného kovu obalený struskotvorným materiálem.

Jiskrový výboj

Mezi jiskrou a obloukem není v podstatě žádný rozdíl, pokud jde o děje ve výbojové dráze. O tom zda vznikne obloukový či jiskrový výboj rozhodne zdroj napětí. Není-li na elektrodách udržováno stálé napětí, vzniká krátce trvající intenzivní výboj zvaný jiskra. Přeskok jiskry je doprovázen vznikem zvukové vlny, kterou při malých výbojích vnímáme jako prasknutí, při silných výbojích jako ohlušující ránu. Vysokou teplotu jiskrového výboje se narušuje povrch elektrod. V jiskrovém výboji je ionizace ještě větší než v obloukovém výboji.

Blesk - K jiskře dojde při blesku. Proud dosahuje velmi vysokých hodnot, ale trvá velmi krátce. Bleskem se za bouřky vyrovnává napětí mezi dvěma mraky nebo mezi mrakem a zemí dosahující až miliardy voltů. Během necelé tisícině sekundy dosahuje proud desítky tisíc ampérů.

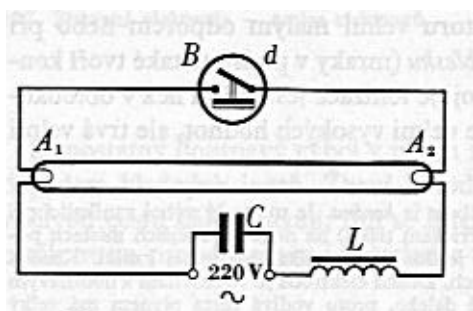
Koróna

Je to trvalý výboj vznikající při vyšších tlacích na nejzakřivenějších místech povrchu vodičů, kde intenzita pole je dostatečně velká, aby výboj vznikl. Koróna vzniká nesnáze na jemných hrotech. Druhá elektroda ve srovnání s doutnavým výbojem je hodně daleko, proto vodivá cesta plynem má velký odpor. Koróna způsobuje ztráty na vedeních velmi vysokého napětí a můžeme se s ní setkat v silných atmosférických polích před bouřkou na skalních útesech, stožárech lodí.

Praktické využití samostatného výboje v plynu

a) **Výbojky** – zde se využívá obloukového výboje mezi uhlíkovými elektrodami. Sloužit jako intenzivní zdroj světla ve velkých promítacích přístrojích a ve světlomotech. Dnes se pro tyto účely používají vysokotlaké výbojky plněné xenonem. Pro osvětlení ve veřejných prostranstvích se používají vysokotlaké sodíkové výbojky, které vydávají jednobarevné žluté světlo. Jako zdroj ultrafialového záření (v horském slunci) se používají vysokotlaké rtuťové výbojky. Výboj se vysokotlakých výbojkách podobný jako výboj obloukový (vysoká teplota, velké proudy). Mohou být různě zakřivené či do tvaru u.

b) **Zářivky** – při svícení využívají fluorescence. Jsou plněny argonem a rtutí. Používají se v nich žhavené elektrody, které emitují elektrony ionizující rtuťové páry. Atomy rtuť vysílají ultrafialové záření, které dopadá na stěnu trubice pokrytou fluoreskujícími látkami, jež mění ultrafialové záření ve viditelné světlo. Světelná účinnost je až 20 %, asi čtyřikrát větší než u žárovek.



Na obrázku je schéma. Zářivky v obvodu střídavého proudu. Po uzavření obvodu se zapálí doutnavka d, tzv. startér. Ohřeje se bimetalická elektroda B a zapne elektrody A, které se rozžhaví a emitují elektrony. Vznikne výboj se světelným účinkem, startér zároveň zhasne, ochladí se a vypne. Proud však trvá dále. Tlumivka L výboj stabilizuje a kondenzátor C zlepšuje hospodárnost.

c) **Výbojové trubice** vhodně zúžené se používají jako zdroje světla.