



GYMNÁZIUM F. X. ŠALDY

PŘEDMĚTOVÁ KOMISE FYSIKY

Vedení elektrického proudu v plynech a ve vakuu

Poznámky & ilustrace

Gymnázium F. X. Šaldy • Honsoft

Verze 1.0 • leden 2006

VÝBOJ

Plyny jsou za normálních podmínek velmi dobrými izolanty. Aby plyn byl vodivý, musí obsahovat volné částice s nábojem a být ve vnějším elektrickém poli. Vodivými se plyny stanou **ionizací**: dodáním energie se některé molekuly plynu rozštěpí na volný elektron a kation. Uvolněné elektrony se mohou připojovat k neutrálním molekulám a vytvářet tak anionty. Elektrický proud v plynech tvoří kladné i záporné ionty a volné elektrony. Energie potřebná k rozštěpení molekuly se nazývá **ionizační energie** – udává se obvykle v elektronvoltech ($1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; např. pro vodík 13,5 eV, pro kyslík 15,6 eV).

Současně s ionizací probíhá v plynu i opačný děj, zvaný **rekombinace**. Nesouhlasně nabitě částice se přitahují a vytvářejí opět neutrální molekuly. Pokud převyšuje ionizace rekombinaci, zvyšuje se počet ionizovaných molekul a tedy i vodivost; pokud je tomu opačně, tak se vodivost zmenšuje.

Pokud se ionizovaný plyn nachází v elektrickém poli mezi dvěma elektrodami, vznikne elektrický proud jako uspořádaný pohyb kationtů k záporně nabitě katodě, aniontů a elektronů ke kladně nabitě anodě (ionty, které dorazí na elektrody, ztrácejí svůj náboj a mění se v neutrální molekuly). Děj, kdy elektrický proud prochází plynem, se nazývá **výboj**.

Rozdělení výbojů:

a) **nesamostatný výboj** – vznik iontů a elektronů je způsoben cizím, vnějším zdrojem – ionizátorem, elektrický proud prochází pouze za přítomnosti tohoto ionizátoru; přestane-li ionizátor působit, převládne rekombinace nad ionizací a výboj ustává;

b) **samostatný výboj** – výboj sám udržuje potřebný počet nositelů náboje, je tedy nezávislý na vnějším ionizátoru; i pokud přestane ionizátor působit, vznikají ionty samovolně; převládá ionizace nárazem, většinou je doprovázena světelnými a zvukovými efekty.

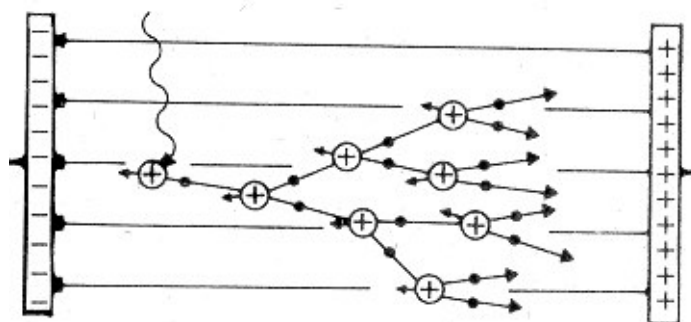
V případě a) je ionizace plynu vyvolávána **ionizátory**:

ionizace zářením – ionizátorem různé druhy záření (UV, RTG, γ),

tepelná ionizace – zahřátí plynu na vysokou teplotu (plamen, topná spirála).

V případě b) probíhá:

ionizace nárazem – ionty nebo elektrony urychlené elektrickým polem narážejí na dosud neutrální molekuly (atomy), ty jsou rozděleny na nabitě částice, počíná lavinová ionizace (viz OBR. 21). Poznamenejme, že vysoce ionizovaný plyn při samostatném výboji se nazývá **plasma**. Obsahuje přibližně stejný počet nábojů kladných a záporných, takže je navenek elektricky neutrální. Plasma je např. přítomné v nitru a v atmosféře hvězd, ve sluneční koróně apod.



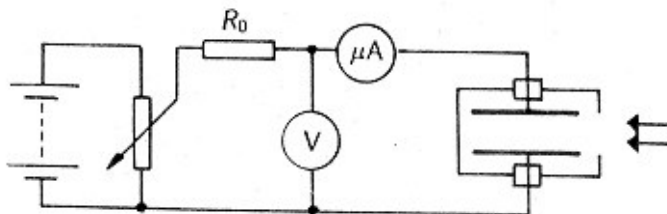
OBR. 21

VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA PLYNU

Elektrické vlastnosti ionizovaného plynu lze měřit v ionizační komoře (deskový kondenzátor, do jehož prostoru mezi deskami vniká ionizační záření; v závislosti na napětí mezi deskami se měří proud procházející plynem, viz OBR. 22). Výsledná závislost je v OBR. 23.

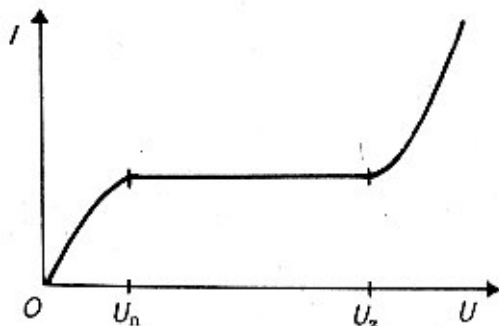
V závislosti na napětí U lze rozlišit tři odlišné části křivky:

1. Pokud je $U < U_n$, zanikne většina iontů rekombinací dříve, než dorazí na elektrody. Za těchto podmínek je počet iontů, které předají náboj elektrodám (tj. těch, které tvoří elektrický proud), přímo úměrný napětí; platí Ohmův zákon.
2. Při napětí $U \geq U_n$ se všechny ionty a elektrony podílejí na vedení proudu (mají takovou rychlost, že nestačí rekombinovat) a proud se s rostoucím napětím nezvyšuje (**nasycený proud**). Pro nasycený proud Ohmův zákon neplatí.

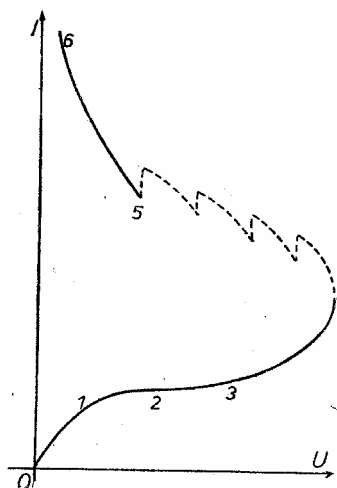


OBR. 22

3. Při napětí $U \geq U_z$ (U_z – **zápalné napětí**) nastane ionizace nárazem. Ionty a elektrony jsou urychleny elektrickým polem natolik, že při nárazu na neutrální molekulu ji ionizují. Počet ionizovaných molekul v plynu lavinovitě narůstá, a proto narůstá velmi rychle i proud. Plyn vede proud bez přítomnosti ionizátoru. Velikost U_z závisí na tlaku plynu a na druhu plynu. Se snižujícím se tlakem roste střední volná dráha částic. Na delší dráze získají ionty a elektrony kinetickou energii potřebnou k ionizaci molekul i při menším napětí. Proto je za nižšího tlaku zápalné napětí menší.



OBR. 23



OBR. 24

VÝBOJ ZA OBVYKLÉHO A ZVÝŠENÉHO TLAKU

Za normálního tlaku je třeba velké intenzity elektrického pole (řádu asi 10^6 V/m), aby vznikla ionizace nárazem. Pokračujme dále ve zkoumání výboje v závislosti na napětí – viz OBR. 24. (Předešlý OBR. 23 je jeho spodní částí.) V části křivky 3–4 v OBR. 24 vzniká **tichý výboj** (neboli: **Townsendův výboj**), který se projevuje světélkováním plynu a slabým šelestem na elektrodách. Tichý výboj není sám od sebe stabilní; udrží se, když do obvodu vložíme větší omezující odpor. Není-li tento odpor dostatečně veliký, roste ionizace nárazem lavinovitě a může při určitém vhodném napětí zasáhnout celý prostor, čímž vzniká **výboj jiskrový** (část 4–5). Zmenšíme-li omezující odpor ještě více a je-li výkon zdroje dostatečně veliký, mění se výboj jiskrový na **výboj obloukový** (úsek 5–6). Nezbytnou podmínkou obloukového výboje je zesílená emise u povrchu katody. Napětí na udržení oblouku je ovšem podstatně menší než při výboji jiskrovém. Samostatný výboj za normálního tlaku má tedy trojí povahu; prozkoumejme ony tři typy výboje podrobněji.

Tichý výboj

V blízkosti nabitých vodičů je zvláště velká intenzita elektrického pole tam, kde má povrchová vrstva malý poloměr křivosti, zvláště tedy u hrotů. Veliká intenzita elektrického pole může vést k tomu, že v okolním plynu nastane ionizace nárazem, a tím vzniká výboj. Tento tichý výboj má ve vzduchu červeně fialové zabarvení, vzniká např. na stožárech lodí nebo hrotech věží (**Eliášovo světlo**), projevuje se světélkováním a jiskřením (OBR. 25). Také na dálkovém vedení elektrického proudu (při napětích nad 100 000 V) nastává tichý výboj, zvaný **koróna** (OBR. 26). Koróna způsobuje značné ztráty energie, jsou-li dráty vedení příliš tenké; užívá se proto dutých vodičů, neboť při témže odporu mají menší křivost.

Jiskrový výboj

Výboj jiskrový je přechodem většího náboje při vysokém napětí – jde o elektrický průraz plynu. Nastává, jestliže intenzita pole mezi elektrodami dosáhne hodnot potřebných k lavinové ionizaci, ale zdroj není schopen trvale dodávat elektrický proud. Teplota v jiskře je velmi vysoká; celkový výboj trvá velmi krátkou dobu. Každá jiskra je provázena praskotem, který je způsoben tím, že Jouleovo teplo vyvinuté okamžitým silným proudem vyvolá na výbojové dráze mimořádné ohřátí plynu. Takto vzniklý velmi vysoký tlak se vyrovnává v plynu tlakovou vlnou, projevující se jako praskot.

Velkolepým příkladem tohoto výboje je **blesk**, tj. jiskrový výboj při napětí až 10^9 V mezi dvěma mraky nebo mrakem a zemí; blesk trvá asi 10^{-3} sekundy a představuje energii asi 100 kWh.

Technické využití:

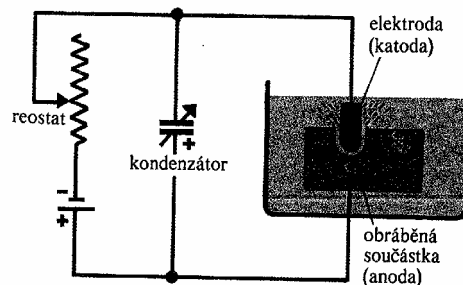
Různé metody **elektroerozivního obrábění**, např. **elektrojiskrové obrábění**. Obráběná součást se vloží do stroje tak, aby byla vodivě spojena s jedním pólem zdroje (OBR. 27), kondenzátor se začne nabíjet, až se napětí na svorkách zdroje a kondenzátoru vyrovná, v tom okamžiku přeskočí z katody na anodu jiskra, jejíž tepelná energie zahřeje obráběnou součástku na teplotu vyšší než je bod tání kovu. V místě dopadu jiskry se přitom vytvoří malý kráter tím, že část kovu se vypaří a část roztaveného kovu odlétne do chladicí kapaliny. Tento proces nabíjení kondenzátoru a jeho vybíjení elektrickou jiskrou se neustále velmi rychle opakuje, až je v součástce zhotoven požadovaný otvor.



OBR. 25



OBR. 26



OBR. 27

Obloukový výboj

Oblouk vznikne po krátkém dotyku obou elektrod, při němž se jejich konce proudem rozžhaví, a po mírném oddálení elektrod od sebe. Mezi oběma elektrodami se vytvoří následkem vysoké teploty (asi $5000\text{ }^{\circ}\text{C}$) vrstva silně ionizovaného vzduchu (OBR. 28). Elektricky nabitě částice, které se pohybují velmi rychle již vlivem vysoké teploty, jsou ještě dále urychlovány elektrickým polem a svou energii přenášejí při srážkách i na neutrální molekuly. Další nositelé náboje vznikají termoemisí, podobně jako v elektronkách (viz dále). Rozžhavená katoda emituje elektrony, které s sebou odnášejí i částičky uhlíku, proto se katoda během doby zahrocuje, kdežto anoda se vlivem dopadajících iontů a elektronů prohlubuje a tvoří se na ní kráter. Kráter anody má teplotu asi $3\ 500$ až $3\ 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ a je hlavním zdrojem obloukového světla (asi 85 %), kdežto na katodu připadá jen 10 % a na vlastní oblouk 5 %. Teplota katody je $2\ 700$ až $3\ 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdežto oblouk má teplotu asi $4\ 800$ až $5\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

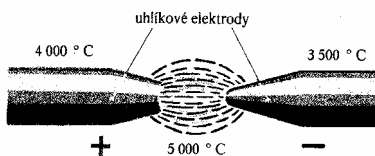
Technické užití:

Oblouková lampa – sestrojena 1875, zdokonalena Františkem Křižíkem (udržování stálé vzdálenosti mezi uhořívajícími elektrodami).

František Křižík (1847–1941) – významný český elektrotechnik a vynálezce. Světového významu nabyl jeho vynález samočinného regulátoru elektrické obloukovky (1878), o který se musel soudit s Wernerem von Siemensem. Stavěl první elektrickou dráhu v Praze (1891) a meziměstskou elektrickou dráhu Tábor – Bechyně (1902). Podstatně se přičinil o zdar Jubilejní výstavy v Praze (1891).

Vysokotlaké výbojky – promítací přístroje (výbojky plněné xenonem), protiletadlové světlomety, osvětlení majáků.

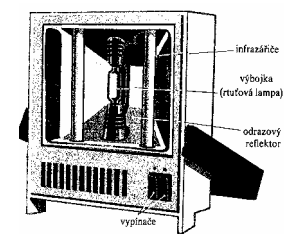
„**Horské slunce**“ – hlavní součástí domácího horského slunce je malá průhledná uzavřená baňka (rtuťová lampa) z taveného křemene, protože obyčejné sklo by ultrafialové záření nepropouštělo; do baňky jsou zataveny elektrody z wolframu. Baňka je místo vzduchu naplněna vzácným plynem (neon), který vede elektrický proud při napětí 230 V i za obvyklé teploty a obsahuje nepatrné množství kapalné rtuť. Jestliže rtuťovou lampu zapojíme, proud procházející vzácným plynem obsah baňky zahřívá, kapalná rtuť se začne teplem vypařovat, a když se po několika minutách promění všechna kapalná rtuť v páru, vznikne mezi elektrodami obloukový výboj, který je zdrojem jednak viditelného fialovo-modrého světla, ale i zdrojem neviditelného ultrafialového záření (OBR. 30).



OBR. 28



OBR. 29



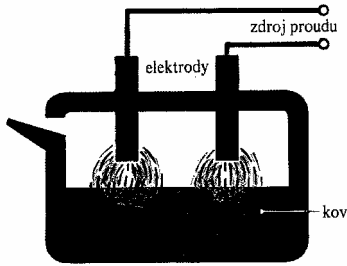
OBR. 30

Oblouková pec – tavení kovů, slitin kovů a jiných těžkotavitelných látek. V OBR. 31 je pec s přímým ohřevem (především k tavení oceli; velký výkon, nevýhodou ztráty přepalováním kovu), v OBR. 32 pec s nepřímým ohřevem (k tavení neželezných a drahých kovů).

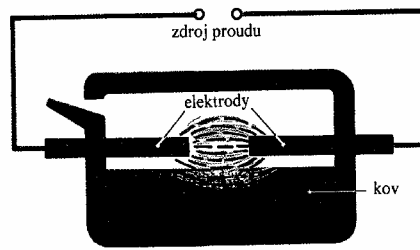
Obloukové svařování – využívá se tepla, které vzniká účinkem elektrického oblouku mezi kovovou elektrodou a kovovým předmětem. Svářeč se nejdříve lehce dotkne zápornou elektrodou (OBR. 34) kladné kovové desky, tím uzavře elektrický obvod zdroje proudu a po oddálení elektrody na vzdálenost několika milimetrů se vytvoří elektrický oblouk, v němž se elektroda a povrch svařovaného kovu taví, přičemž roztavená elektroda odkapává a vytváří svár.

Svařování na tupo (OBR. 33) – svařované tyče jsou upnuty do měděných čelistí, které jsou vodivě spojeny silnými měděnými vodiči. Tento okruh tvoří jediný sekundární závit transformátoru. Připojíme-li primární vinutí transformátoru na střídavé napětí, pak v sekundárním závitě vznikne sice jen malé napětí kolem 10 V, ale při spojení ocelových tyčí může obvodem procházet proud, jehož hodnota dosahuje u velkých svařovacích přístrojů až několik desítek tisíc ampér. Zpočátku se na sebe tyče přitlačí jen poměrně malým tlakem. Tím se vytvoří uzavřený obvod a protékající proud rozžhaví konce tyčí. Když ve vhodné chvíli tyče od sebe poněkud oddálíme, vytvoří se mezi nimi elektrický oblouk, jehož tepelnými účinky se počnou konce tyčí tavit. V tomto okamžiku proti sobě tyče stlačíme vysokým tlakem, snížíme proud a během několika sekund je spojení dokončeno.

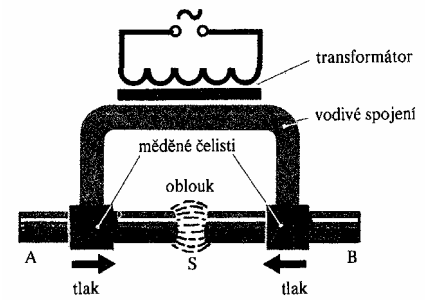
Další poznámky. 1. Oblouk vzniká mezi uhlíkovými elektrodami i při použití střídavého proudu, neboť katoda následkem malé tepelné vodivosti uhlíku zůstává na dosti vysoké teplotě i v době, kdy střídavý proud nabývá nulové hodnoty. Proto lze dosáhnout oblouku mezi vodou a uhlíkem jen tehdy, je-li uhlík katodou. 2. Elektrický oblouk mezi elektrodami lze získat i pod vodou; tímto způsobem se katoda v roztoku jemně rozptyluje. 3. Je-li jedna elektroda rtuťová a druhá železná, utvoří se oblouk jen tehdy, je-li rtuť katodou. Vedeme-li tedy trubici s takovými elektrodami střídavý proud, propouští jej jen v jednom směru, tj. proud usměrňuje (rtuťový usměrňovač pro velké výkony).



OBR. 31



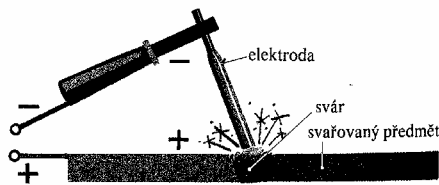
OBR. 32



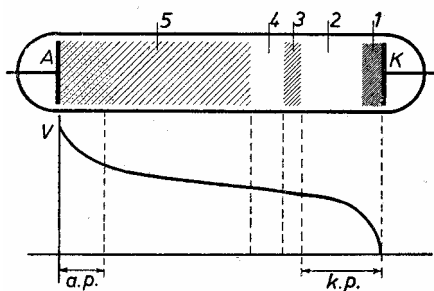
OBR. 33

VÝBOJ ZA SNÍŽENÉHO TLAKU (DOUTNAVÝ VÝBOJ)

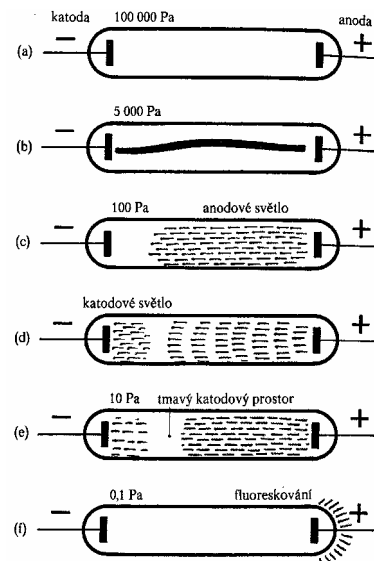
Ve zředěných plynech lze dosáhnout výboje mnohem nižším napětím než za normálního tlaku, neboť ionty mají mnohem větší volnou dráhu a získávají větší kinetickou energii potřebnou k ionizaci nárazem. Výboj ve zředěném plynu se nazývá **výboj doutnavý**. Můžeme jej sledovat v trubici, z níž čerpáme postupně vzduch (OBR. 36); zdrojem vysokého napětí je Ruhmkorffův induktor. Za tlaku 5 332,9 Pa objeví se v trubici úzký, hadovitě se vlnící červený pruh, který vychází z anody, ale nesahá až ke katodě. Při dalším zředování vzduchu se barevný pruh rozšiřuje a zkracuje, vzniká tzv. **anodový sloupec**, který je oddělen od katody tmavým **prostorem Faradayovým**, a na katodě se objevuje doutnavé **světlo katodové**. Dalším snižováním tlaku anodový sloupec bledne, stává se vrstevnatým a katodové světlo pokrývá celou katodu. Při tlaku asi 2,67 Pa světelné jevy v trubici mizejí a proti katodě se objeví žlutozelená **fluorescence** stěn trubice.



OBR. 34



OBR. 35



OBR. 36

Doutnavý výboj plynu je vždy provázen světelným zářením plynu, buzeným srážkami iontů s neutrálními molekulami plynu. Světelné jevy doprovázející doutnavý výboj jsou v OBR. 35. Rozdělení potenciálu mezi elektrodami výbojové dráhy je naznačeno ve spodní části téhož obrázku. Ve výbojovém prostoru trubice lze pozorovat tyto hlavní obory: **katodová vrstva 1**, **tmavý prostor Crookesův 2**, **doutnavé světlo katodové 3**, **tmavý prostor Faradayův 4**, **kladný sloupec anodový 5**.

Vysvětlíme nyní vznik jednotlivých oborů v trubici: Ve výbojové dráze jsou přítomny jednak částice elektricky nabitě – kladné a záporné ionty a volné elektrony, jednak částice elektricky neutrální – atomy a molekuly. Následkem silového působení elektrického pole získávají elektricky nabitě částice zrychlení.

Poněvadž elektrony mají menší hmotnost než ionty, získávají na kratší dráze větší zrychlení, a tím i větší rychlost. Následkem toho je v prostoru kolem katody málo elektronů a převládá zde tudíž kladný náboj kationtů, které vlivem velkého spádu napětí v okolí katody získávají značnou hybnost. Jsou v prostoru katodového spádu (Crookesův tmavý prostor) tak urychleny, že při dopadu na katodu mají dostatečnou energii, aby z atomů katody vyrazily elektrony, které působením silného elektrického pole tento prostor rychle opouštějí. Elektrony při určitém zředění dosáhnou v elektrickém poli takové energie, že mohou samy ionizovat další neutrální molekuly plynu. Vzniká lavinová ionizace. Poněvadž kladné ionty získávají mnohem menší zrychlení (mají daleko větší hmotnost než elektrony), zůstávají v prostoru mezi elektrodami déle než elektrony, takže v trubici vzniká kladný prostorový náboj. Proto potenciál v trubici neklesá rovnoměrně, jako je tomu u homogenního vodiče.

Z průběhu potenciálu můžeme snadno odvodit chování kladných a záporných nositelů náboje ve výbojové dráze. Kladné částice putují ke katodě a jsou urychlovány zvláště v Crookesově tmavém prostoru silným elektrickým polem, dopadají na kovovou katodu s velkou energií a vyrážejí z ní elektrony. Ty pak probíhají opačným směrem tmavým prostorem, a jsou zde rovněž silně urychlovány. Již v malé vzdálenosti od katody stačí jejich energie k ionizaci molekul plynu a k vyvolání záření – katodová vrstva (1). Na další své dráze v prostoru (2) jsou pak elektrony tak silně urychlovány, že srážkami s neutrálními molekulami způsobují světelné záření v prostoru (3). Zabrždění elektronů je však tak veliké, že přestává světelné záření v prostoru (4). V dalším mírném vzestupu potenciálu vzrůstá kinetická energie elektronů v prostoru (5) natolik, že nárazovou ionizací vznikají kladné ionty a záření kladného sloupce anodového (5). Bývá to nejdelší část zářícího prostoru v trubici a má charakteristickou barvu plynu. V kladném sloupci anodovém je plasma.

Spektrální trubice

Výbojky užívané ve spektroskopii. Skleněná trubice je uprostřed zúžena v kapiláru, kde nastává velká hustota proudu, a proto i značný jas. Trubice jsou plněny různými plyny (H_2 , N_2 , Ne, Ar, Kr, He apod.).

Výbojky

Podstatou je doutnavý výboj, který vzniká mezi elektrodami ve skleněné baňce naplněné parami rtuti nebo sodíku. Konstrukce rtuťové výbojky je znázorněna v OBR. 37. **Rtuťová výbojka** se skládá ze dvou baněk. Vnější baňka je skleněná a její stěny jsou pokryty vrstvou luminoforu. Vnitřní baňka je z křemičitého skla, jsou v ní zataveny dvě hlavní a jedna pomocná elektroda a je naplněna vzácným plynem argonem a nepatrným množstvím kapalné rtuti. Součástí rtuťové výbojky je rovněž tlumivka, která udržuje v prvních okamžicích po zapojení potřebné napětí na elektrodách, a dále kondenzátor. Připojíme-li výbojku na střídavé napětí, vznikne mezi hlavní a pomocnou elektrodou nejdříve doutnavý výboj ve zředěném argonu, teplem tohoto výboje se kapalná rtuť postupně vypařuje a v určitém okamžiku (3 až 5 minut) vznikne mezi hlavními elektrodami doutnavý výboj v parách rtuti. Světlo výboje je složeno z paprsků všech barev s výjimkou paprsků červených, a proto není bílé, ale nazelenalé. Se světelným zářením vzniká současně i neviditelné ultrafialové záření, které se účinkem luminoforu přemění především na červené paprsky, tyto paprsky pak doplní ostatní paprsky výboje a vnější baňka září světlem podobným přirozenému dennímu světlu. Rtuťové výbojky mají mnohem vyšší účinnost než žárovky, spotřebovávají méně elektrické energie a používají se především k osvětlování ulic, různých venkovních prostorů a velkých místností.

Sodíková výbojka se skládá z vnější a vnitřní baňky, ze dvou hlavních a jedné pomocné elektrody, její součástí je i tlumivka a kondenzátor. Povrch vnější baňky však není pokryt luminoforem, vnitřní baňka je naplněna zředěným plynem neónem a obsahuje nepatrné množství pevného sodíku. Připojíme-li výbojku na střídavé napětí, vznikne nejdříve pomocný načervenalý doutnavý výboj ve zředěném neónu, teplem se sodík přemění v páry a vznikne hlavní žlutooranžový výboj. Sodíkové výbojky mají světelnou účinnost vyšší než výbojky rtuťové. Žlutooranžové světlo sodíkové výbojky sice zkresluje barevnost předmětů, ale prochází velmi dobře mlhou a dýmem, a používá se proto především k osvětlování letištních ploch, seřaďovacích nádraží, v zabezpečovací a signální technice apod.

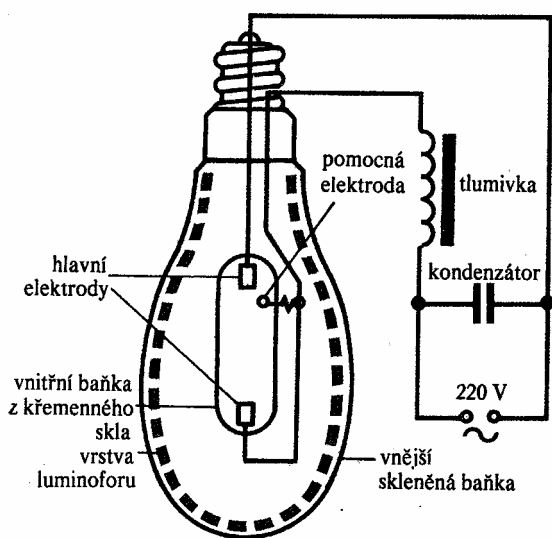
Zářivka

Zářivka je v podstatě rtuťová výbojka, jejíž konstrukce je poněkud upravena (OBR. 39). Skleněná trubice zářivky je naplněna většinou zředěným argonem a rtuťovými parami, vnitřní stěny trubice jsou pokryty luminoforem. Důležitou součástí je startér – v podstatě malá doutnavka, jejíž jednu elektrodu tvoří bimetal, který zapíná a vypíná proud procházející wolframovými vlákny elektrod umístěných na protilehlých koncích zářivkové trubice.

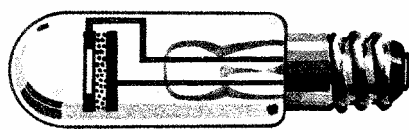
Připojíme-li zářivku na střídavé napětí 230 V, zářivka se hned nerozsvítí, protože její zápalné napětí je přibližně 400 V. Elektrický výboj vznikne nejdříve v doutnavce startéru, jejíž zápalné napětí je menší než 230 V. Uvolněným teplem se spojí kontakty bimetalového spínače, obvodem začne protékat proud (viz nákres a v OBR. 39), proud rozžhává vlákna elektrod a z nich uvolněné elektrony ionizují plyn uvnitř trubice. Současně se však začne ochlazovat bimetalový spínač, protože při spojených kontaktech výboj doutnavky zanikl. Když se spínač ochladí natolik, že se kontakty rozpojí, vznikne v tlumivce samoindukční napětí, které na okamžik vzroste přibližně na 500 V a takovéto napětí již vyvolá elektrický výboj v trubici. Od této chvíle začne proud procházet jen mezi elektrodami zářivky (nákres b), protože tlumivka (odpor) sníží napětí na svorkách elektrod na 110 V, toto napětí stačí udržet výboj v trubici, nestačí však zapálit doutnavku a tím ohřát bimetalový spínač, protože doutnavka je konstruována tak, aby její zapalovací napětí bylo větší než 170 V.

Jestliže se zářivka nerozsvítí, spočívá závada ve většině případů v tom, že bimetalový spínač zůstane rozpojen, a jak víme, napětí 230 V nestačí výboj v trubici vyvolat. Jestliže se zářivka nerozsvítí a na koncích trubice svítí jen rozžhavené elektrody, znamená to, že se kontakty sice spojily, ale zůstaly spojeny i po vychladnutí, výboj v trubici nemůže vzniknout, a pak je ovšem třeba zářivku vypnout, aby nedošlo k přepálení vláken elektrod, a vyměnit startér.

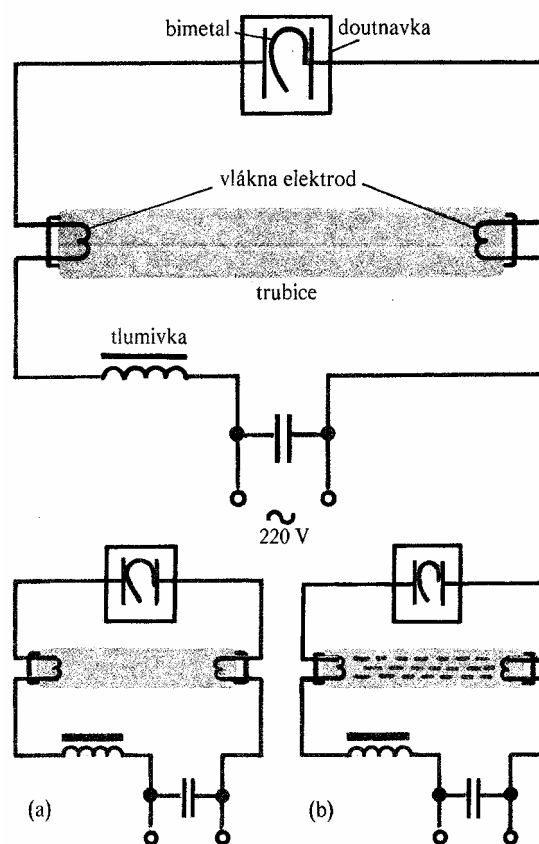
Životnost zářivky je okolo 2500 hodin, přičemž častější zapínání její životnost zkracuje. Vhodnou volbou luminoforu lze dosáhnout různých světelných odstínů vyzařovaného světla; například světla bílého, namodralého a narůžovělého.



OBR. 37



OBR. 38



OBR. 39

Neonka

Při elektrickém výboji ve zředěných plynech rozeznáváme katodové světlo a anodové světlo.

Jestliže na elektrodách zvýšíme napětí na 1000 V a elektrody od sebe oddálíme, pak u katody bude zářit jen krátký katodový sloupec, a anodový sloupec se prodlouží po celé délce trubice. Takovýto zdroj světla se nazývá neonka. Neonky se používají zejména k reklamním účelům. Jejich trubice jsou různě tvarovány do písmen nebo kreseb a září nejrůznějšími barvami podle druhu plynu, jimiž jsou naplněny. Tak například vzácný plyn neon září červeně, argon fialově a krypton růžově, páry sodíku žlutě, směs neonu, argonu a par rtuti modře. Zápalné napětí neónek je přibližně 5000 V na každý metr délky trubice, po vytvoření výboji však svítí již při napětí 1000 V.

Doutnavka

Jestliže naopak na elektrodách napětí snížíme a elektrody k sobě přiblížíme, pak při určité vzdálenosti anodové světlo zanikne a mezi elektrodami bude zářit jen katodové světlo. Takovýto zdroj světla se nazývá doutnavka. Doutnavky (OBR. 38) mají velmi malý světelný tok a používají se většinou jen k signalizaci, zda obvodem různých přístrojů, zařízení a strojů protéká proud (např. tužkové zkoušečky). Doutnavka má ocelové elektrody ve tvaru kotoučku a mezikruží; je naplněna zpravidla neónem nebo směsí neónu a helia při tlaku 1000 Pa, přičemž svítí načervenalým výbojem. Zapalovací napětí doutnavek je většinou 80 až 100 V, v provozu spotřebovávají proud jen 0,001 A. V patičce doutnavky je zabudován předřadný rezistor o odporu řádově $M\Omega$.

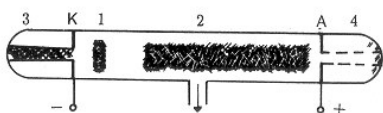
ZÁŘENÍ KATODOVÉ A ANODOVÉ

Při ještě větším zředění plynu, než bylo popsáno v předchozí kapitole, při tlaku pod 2,67 Pa, molekuly plynu již prakticky nepřekážejí pohybu elektronů a iontů v trubici, které se proto šíří prostorem zhruba přímočaře a dosahují na své značně dlouhé volné dráze velikých rychlostí. Pak již vlastně nejde o vedení elektriny plynem, ale o šíření nabitých částic prázdňným prostorem.

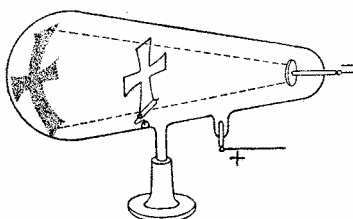
Katodové záření

Při výše popsaném snížení tlaku světelné úkazy z trubice mizí a jenom stěny trubice fluoreskují. Je-li v trubici kovová překážka, objeví se na protilehlé stěně její stín (pokus: trubice s křížem, OBR. 41). Tento úkaz svědčí o tom, že z katody se šíří přímočaře neviditelné záření, schopné vyvolat fluorescenci. Je to roj elektronů, které se přímočaře pohybují z katody. Podle místa svého vzniku bylo toto záření nazváno katodové (**paprsky katodové**). Lze pozorovat tyto vlastnosti katodového záření:

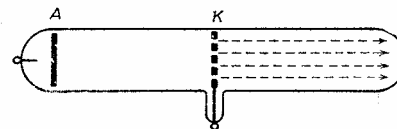
- není-li pod vlivem vnějšího elektrického či magnetického pole, šíří se rovnoměrně přímočaře,
- vychyluje jej elektrické a magnetické pole (OBR. 41),
- interaguje s látkou, způsobuje zahřátí, světélkování, chemické procesy (naexponování fotografického materiálu),
- proniká tenkými vrstvami, rozptyluje se,
- vyvolá RTG záření při dopadu na kovy s vysokou relativní atomovou hmotností,
- má mechanické účinky (roztočí lehký Crooksov mlýnek).



OBR. 40



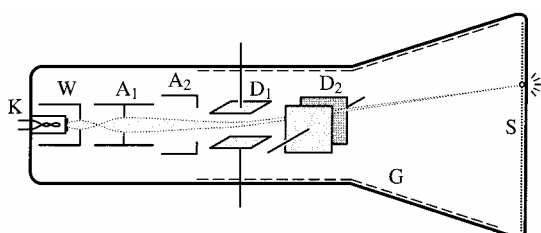
OBR. 41



OBR. 42

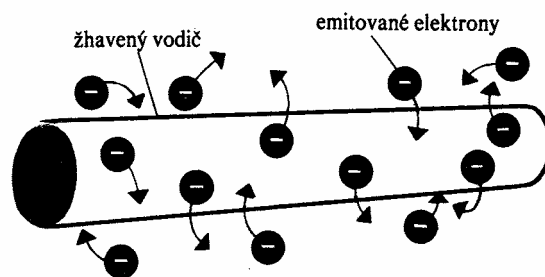
Užití: **elektronový paprsek** (obrazovka osciloskopu – OBR. 43 – vychylovací destičky, vychylování elektrickým polem; klasická televizní obrazovka – místo vychylovacích destiček cívky – vychylování magnetickým polem.)

Podrobněji bude popsáno v kapitole o pohybu nabitě částice v elektrickém resp. magnetickém poli.



6-10 Obrazovka s elektrostatickým vychylováním elektronového paprsku: K katoda, W řídicí elektroda, A₁, A₂ anody, D₁, D₂ vychylovací destičky, S stínítko, G grafitový povlak

OBR. 43



OBR. 44

Anodové (kanálové) záření

Opatříme-li katodu výbojové trubice otvory (OBR. 40, 42), zjistíme, že těmito otvory (kanály) prochází rovněž záření, které bylo proto nazváno **záření anodové** (nebo: **záření kanálové**). Obdobně jako katodové záření šíří se i záření anodové přímočaře, nese však kladný elektrický náboj.

Jak vzniká? Elektrony katodového záření popsaného v minulém odstavci jsou urychlovány v elektrickém poli mezi katodou a anodou a jsou unášeny k anodě. Na své cestě tyto elektrony ionizují molekuly plynu obsaženého po vyčerpání v trubici; tím vytvářejí kladné ionty plynu, které jsou rovněž urychlovány elektrickým polem, a to směrem od anody ke katodě.

ELEKTRICKÝ PROUD VE VAKUU

Vakuum neobsahuje nabitě částice; elektrický proud vakuem neprochází.

Průchod elektrického proudu vakuem je umožněn vznikem nositelů náboje na elektrodách; tzn. aby vznikl proud ve vakuu, je nezbytně nutné uvolnit elektrony z katody.

Tok elektronů ve vakuu má velký praktický význam. Jeho použití v různých elektronických zařízeních spočívá na těchto okolnostech:

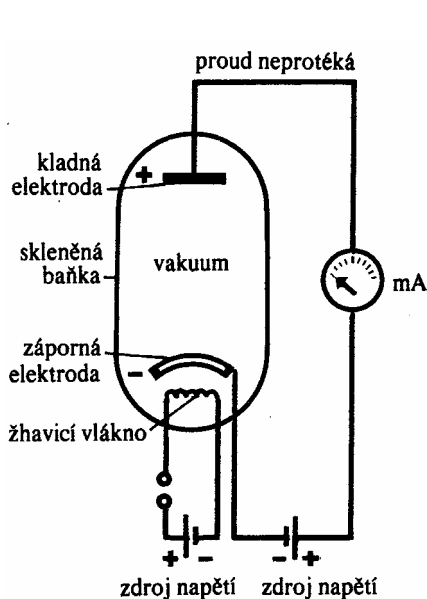
- Elektrony mají nepatrnou hmotnost, a proto mají ze všech částic největší měrný náboj, takže i při slabých magnetických nebo elektrických polích získávají značnou rychlost na poměrně krátké dráze. Jsou prakticky bez setrvačnosti.
- Přenos náboje není u nich prakticky spojen s přenosem látky.
- Elektrony lze snadno získat rozmanitými způsoby uvolňováním z kovů.

Vysvětleme zjednodušeně princip vzniku volných elektronů a vedení ve vakuu: V každém kovovém vodiči se neuspořádaně pohybují záporně nabitě volné elektrony a za obvyklých podmínek se pohybují jen uvnitř vodiče. Jestliže však vodič zahřejeme na dostatečně vysokou teplotu, získají některé elektrony takovou rychlost, že přemohou vnitřní přitažlivé síly a vyletují z vodiče do okolního prostoru. Tento jev se nazývá **termoemise** neboli **termická emise** nebo **tepelná emise elektronů** a vyletující elektrony se nazývají emitované elektrony. Termoemisi se ovšem původně elektroneutrální vodič stává kladně nabitý, převážná část emitovaných elektronů je neustále přitahována a vrací se zpět na povrch vodiče, a tím vznikne v jeho okolí tzv. elektronový mrak (OBR. 44).

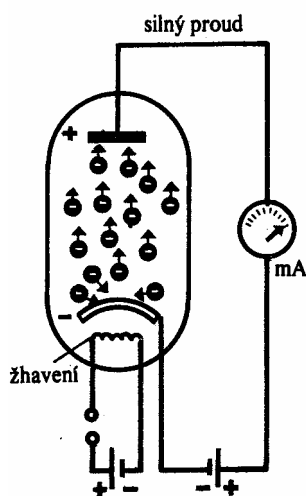
Elektronky

Elektronka je baňka, z níž byl vyčerpán vzduch na méně než 0,01 Pa, záporná elektroda je připojená na záporný pól a kladná elektroda připojená na kladný pól zdroje stejnosměrného napětí; žhavicím vláknem

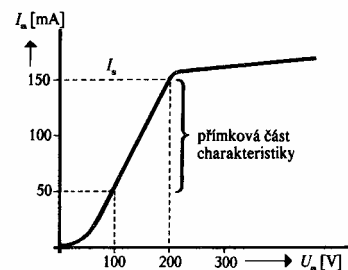
Lze zahřívát zápornou elektrodu. Je-li žhavicí vlákno chladné (OBR. 44), pak obvodem s miliampérmetrem proud neprotéká, protože vakuum v baňce je dokonalý izolant. Jestliže vlákno rozžháváme (OBR. 46), zahřeje se na vysokou teplotu i záporná elektroda, termoemise vzroste, od záporné elektrody ke kladné elektrodě se začne pohybovat podstatně vyšší počet emitovaných elektronů, a tím vzroste i proud zaznamenaný miliampérmetrem. VA charakteristika je v OBR. 47.



OBR. 45

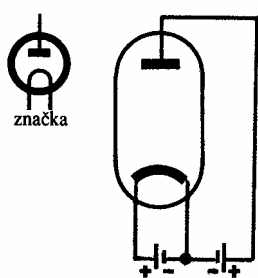


OBR. 46

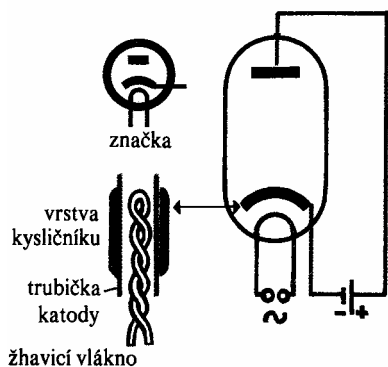


OBR. 47

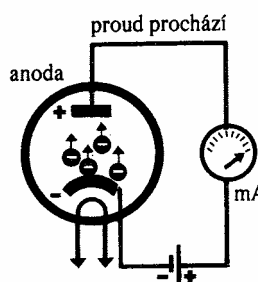
Podle způsobu žhavení katody rozeznáváme elektronky přímo žhavené a elektronky nepřímě žhavené. V přímo žhavených elektronkách (OBR. 48) prochází žhavicí proud přímo katodou, která se rozžhává a emituje elektrony. Katoda takovéto elektronky je zhotovena například z těžkovatelného kovu wolframu a je žhavana stejnosměrným proudem. V nepřímě žhavených elektronkách (OBR. 49) prochází žhavicí proud wolframovým vláknem, které je izolovaně zasunuto do kovové trubičky, a teprve tato trubička tvoří katodu, z níž se po nepřímém zahřátí emitují elektrony. Katody těchto elektronek jsou zhotovovány například z niklového plechu a jsou pokryty vrstvičkou oxidů různých kovů.



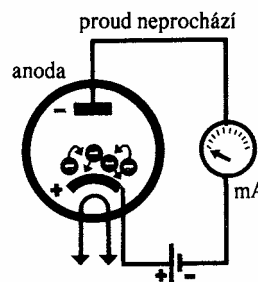
OBR. 48



OBR. 49



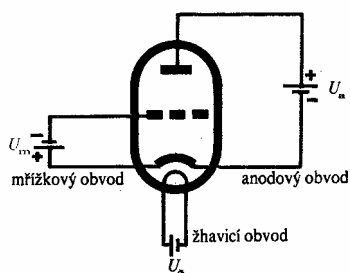
OBR. 50



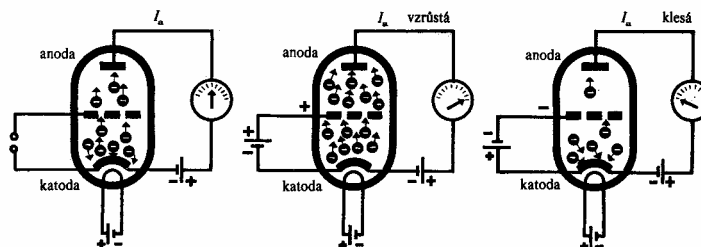
Elektronka se dvěma elektrodami se nazývá **dioda**. Dioda se užívala jako usměrňovač střídavého proudu, neboť propouští proud pouze jedním směrem. Princip je zřejmý z OBR. 50. Význam diod jako usměrňovačů je spíše historický; byly nahrazeny polovodičovými diodami. Proto bude o usměrňování podrobněji pojednáno v kapitole o polovodičích.

Trioda (OBR. 51) má tři elektrody (katodu, anodu, mřížku). Konstrukce je v OBR. 53. Malými změnami mřížkového napětí můžeme podstatně měnit velikost anodového proudu (OBR. 52). Proto se trioda užívala jako zesilovač; byla nahrazena polovodičovou součástkou – tranzistorem.

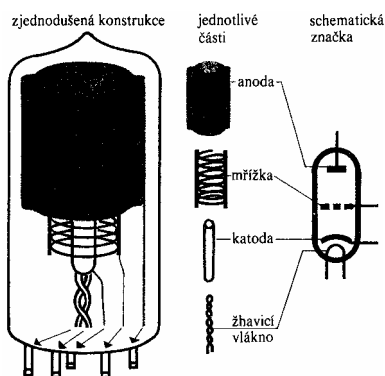
K různým účelům byly vyráběny elektrony s více elektrodami, např. pentoda se třemi mřížkami (OBR. 54).



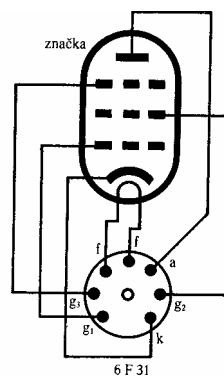
OBR. 51



OBR. 52



OBR. 53



OBR. 54

Toto je pracovní verze textu. Seznam literatury a zdroje ilustrací budou uvedeny v další verzi textu.