

M. Otta

O elektrickém výboji ve zředěných plynech

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 36 (1907), No. 3, 320--327

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122595>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1907

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Ku konci buďtež uvedeny některé úlohy:

K_1	a	K_2	K_1	a	K_2
(7, 3, 6)		(-3, -2, 4)	(7, 3, 8)		(-3, -2, 3)
(6, 4, 5)		(-5, -3, 6)	(8, 4, 6)		(-5, 3, 5)
(3, 3, 4)		(-5, 2, 3)	(6, 2, 5)		(-5, -1, 2)
(3, -2, 6)		(-7, -7, 4)	(6, 7, 8)		(-7, 1, 5)
(-3, 2, 3)		(2, -3, 4)	(-5, 3, 7)		(2, -6, 4)
(4, -7, 7)		(-7, 0, 6)	(3, 6, 9)		(-2, -6, 4)
(1, -6, 4)		(4, -1, 3)	(1, 6, 5)		(-1, -2, 3)

O elektrickém výboji ve zředěných plynech.

Studujícím středních škol napsal **M. Otta**, gym. professor na Kr. Vinohradech.

Při výkladech školských lze pozorovati, že v nadpise uvedený oddíl z nauky o elektrině se žákům velice zamlouvá, tak že tito jeví značný zájem pro úkazy, které při elektrickém výboji nastávají. Poněvadž pak kniha učebná obsahuje velmi málo o zjevech těchto, odhodlal jsem se napsati tyto řádky a doufám, že budou vlídně přijaty těmi, jimž jsou určeny.

Indukované proudy, vedeme-li je ze sekundární cívky velkého induktoria Ruhmkorffova ke dvěma konduktorům, které ve vzduchu jsou postaveny izolovaně, objeví se výbojem elektrickým mezi oběma svodiči. Výboj ten podobá se disruptivnímu výboji, který možno pozorovati při pokusech influenční elektrickou Wims-hurstovou. Liší se však od něho tím, že jest mohutnější a skvělejší a po případě i doskoku značnějšího, což snadno nahlédneme, povážíme-li, že vyrovnávají se tu větší množství elektrická a rozdíl potenciálu jest větší než při výbojích obyčejné influenční elektriky. Tvar takového výboje upomíná silně na blesk, s nímž jest téže podstaty.

Podoba výboje toho však se valně pozmění, vybějí-li se indukované proudy prostorem naplněným zředěným plynem, čili jak krátce říkáme, prostorem zředěným. Prostor takový můžeme si zjednati tím, že přitavíme ke rtuťové vývěvě válcovitou trubici nebo kulovitou nádobu skleněnou, v níž plyn obsažený postupně zřeďujeme. Trubice takové mají tvar různý a skládají se v podstatě z nádob skleněných, do kterých jsou zataveny dva

platínové nebo aluminiové drátky — zvané elektrodami. Trubice takové sestrojeny byly poprvé v Německu prof. *J. W. Hittorfem* a v Anglii prof. *W. Crookesem*. Známý byly pod jménem trubic Crookesových; nyní jim říkáme krátce trubice evakuované nebo výbojové. Spojíme-li elektrody takovéto trubice s póly sekundárního vinutí induktoria Ruhmkorffova a čerpáme postupně vzduch, můžeme sledovati systematicky všechny změny, které dozná výboj elektrický při kterémkoli stavu zředění plynu v trubici výbojové.

Zředuje-li v trubici Crookesově vzduch, nepozorujeme s počátku na jiskře elektrického výboje žádné změny, postupuje-li však zředění, shledáváme, že jiskra znenáhla pozbývá své původní jasnosti a určitosti, bílá barva jiskry dostává znenáhla nádech červenavý, stává se pásem, jehož obrysy se zvětšují a pozbývají určitého tvaru. Klesne-li pak napětí vzduchu v trubici výbojové pod 10 *mm*, objeví se najednou vedle jednoho světelného pruhu pruh druhý, často i několik, až výboj *ztrácí* nadobro podobu jiskry. V tom okamžiku naplní se celá trubice při napětí asi 5 *mm* mihotavým světlem barvy červenofialové, které má u jedné elektrody zabarvení slabě růžové, kdežto u druhé krásné modravě fialové. Světlo slabě růžové objevuje se na anodě, fialové pak na katodě. Změnou směru proudu hlavního lze vyměnití místa anodě a katodě, jež se ukáže výměnou světla růžového za fialové a naopak.

Pokračuje-li zředění dále, až jest napětí v trubici 1 *mm*, dostávají se nové zjevy. Na anodě objeví se — je-li zředovaný plyn vzduch — několik vrstev zarůžovělého světla, které jsou od sebe navzájem odděleny tmavými, až i několik *mm* širokými pruhy, jimiž červenavé světlo anody jest přerušováno. Pozorujeme-li tyto tmavé pruhy v červenavém světle anody bedlivěji, shledáme, že nemají při pohonu trubice induktoriem určitou polohu, nýbrž že se míhají ve světle červenavém. Za nimi následuje tmavý pruh široký, který zove se *tmavým prostorem Faradayovým*. Také však světlo vycházející z katody se změní. Bezprostředně na katodě objeví se zářící vrstva, za kterou následuje *tmavý* prostor; za tímto pak následuje fialové světlo katody. Úzký prostor kol katody nejprve objeven byl *J. W. Hittorfem*, nese však název *tmavého prostoru Crookesova* po

badateli anglickém, který jej neodvisle od Hittorfa o něco později objevil.

Je-li trubice naplněna plynem jiným, jak tomu bývá u trubic Geisslerových, jsou zjevy při postupujícím zředění obdobné, jen základní barva světla bývá jiná. Barva ta nezávisí však jen na jakosti plynu, nýbrž i na šířce trubice a intenzitě proudu. Tak na příklad svítí vodík purpurově červeně v trubicích úzkých, modravě zeleně v širokých, dusík svítí v úzkých rourách modře, v širokých při menší intenzitě proudu červeně, při větší intenzitě žlutě a pod.

Klesá-li napětí vzduchu v trubici výbojové pod 1 mm, rozšiřuje se záře kol katody a rovněž i Crookesův tmavý prostor, kterýžto šíří se potom velice rychle, stoupá-li zředění. Při zředěních pak velice nízkých (0·01 mm a nižších), která se přibližují mezi nejvyššího možného zředění, vyplní tmavý prostor celou trubicí, která začne najednou krásně intenzivně fluoreskovat tam, kde přijde ve styk s tmavým prostorem Crookesovým. Barva fluorescence skla závisí na jakosti skla, z něhož trubice zhotovena. Příčinou této fluorescence, jež bývá velice živá, jsou paprsky, které přímočaře z katody vycházejí a jež podle toho *kathodovými* se zovou. Paprsky tyto poprvé objeveny byly *J. W. Hittorfem* v Německu, který již r. 1869 jejich hlavní vlastnosti popsal v pojednání svém „Über die Elektrizitätsleitung in Gasen“. Obdobnými badáními v Anglii zanašel se *W. Crookes*, jenž je našel teprve r. 1874, nevěda nic o objevu Hittorfově.

Paprsky katodové mají řadu pozoruhodných vlastností.

1. Vlivem jejich *fluoreskuje* obyčejné sklo zeleně, uranové žlutozeleně, olovnaté, jehož Crookes výhradně k pokusům užíval, modravě, křída světležlutě, křišťál modře, rubín růžově atd. Některé hmoty, byvše vystaveny vlivu paprsků katodových, září ještě delší dobu až i 5 minut, když již paprsky přestaly na ně působiti; proto mluvíme o fosforescenci buzené paprsky katodovými. Zvláště pěkně fosforeskují po tmě preparáty sírníku vápenatého světlem intenzivně tmavomodrým.

2. Z katody vycházejí paprsky katodové *kolmo a šíří se přímočaře*. Poznatek tento učinil poprvé *Hittorf* pomocí evakuované trubice, která byla zahnutá v pravém úhlu. Není-li

vzduch v ní značně zředěn, prochází výboj mezi oběma elektrodami kol pravoúhlého rohu, jakmile však zředění jest tak značné, že vznikají paprsky katodové, přestane výboj mezi elektrodami a paprsky katodové, šířící se přímočaře jen k ohbí, způsobí na místě dopadu fluorescenci skla. Názorněji možno toto přímočaré šíření paprsků katodových ukázati trubici Crookesovou, v níž, vložen jest proti katodě aluminiový kříž, který se dá o 90° skloniti. Je-li tento aluminiový kříž v cestě paprskům katodovým, objeví se na protější stěně skleněné trubice tmavý kříž. odstraníme-li jej však z cesty paprskům tím, že jej skloníme o 90°, objeví se na zadní stěně kříž jasněji fluoreskující než ostatní část povrchu skleněného, který byl fluorescencí předešlou jakoby unaven a nefluoreskuje tak živě jako část zemdlená.

3. Vedle fluorescence mají katodové paprsky *účinky mechanické*, mohou způsobiti pohyb lehkých tělísek, které jim v cestu jsou položeny, jak poprvé ukázal *Crookes*. Sestrojil trubici, do níž vložil na tenké tyčinky skleněné lehounké kolečko s lopatičkami slídovými. Dopadají-li na ně paprsky katodové, roztočí se směrem k anodě a poskytují pohled čarokrásný zvlášť tehdy, byly-li natřeny látkou fosforeskující.

4. Energie katodových paprsků jeví se také účinky *chemickými*, kyslík se mění v ozon, fotografické desky a papíry jsou pro paprsky tak citlivy jako pro světelné, ač změny bývají jiné u světla a jiné u paprsků katodových. Na př. papír celloidinový paprsky katodovými hnědne, světlem však zžaloví. Některé pokusy ukazují, že v trubici naplněné směsí dvou plynů, v tom okamžiku, kdy se dostavilo v trubici zvrstvení, převládá u katody jeden plyn a byl-li v trubici vodík, objevuje se vždy u katody. Některé látky mění svou barvu vlivem paprsků katodových, ale na světle slunečním nabývají barvy původní, na př. kazivec.

5. I v *energii tepelnou* může se energie katodových paprsků proměnit. Dopadají-li paprsky katodové na hmoty, zahřívají je velmi silně. Stěny trubic výbojových oteplují se rychle, což pouhým dotekem možno uznamenati. Užije-li se katody sférické, možno soustředěním paprsků ve středu koule, již úsek přísluší, vzbuditi takový zář, že se jim rozžhaví plíšek platinový

neb irridiový ve středu křivosti katody umístěný. Ba lze jej i roztaviti, užije-li se velikého induktoria.

6. Různými látkami paprsky tyto jsou *absorbovány*. Již tenká stěna skleněné trubice výbojové dostačí úplně, aby je pohltila, i není možno účinek jich za obyčejných poměrů pozorovati na vzduchu, neboť stěnami trubic neprostupují. Teprve *Hertz a Wiedemann* dokázali, že tenké destičky kovové katodové paprsky propouštějí, a *Lenardovi* se poprvé podařilo dostat je tenounkým alum. okénkem z trubice evakuované ven do vzduchu atmosférického, který je ale také na trati několika málo *cm* absorboval.

7. *J. W. Hittorf* to byl, jenž dokázal *účinky magnetu* na paprsky katodové. Vložíme-li v cestu svazku paprsků katodových silný magnet, uchýlí se od svého původního směru, tak že nejdou přímo z katody na anodu, čímž fluoreskující záře skla posune se od anody v pravo nebo v levo. Zvláště pěkně dá se tato úchylka katodových paprsků ukázati trubicí Crookesovou. Vložme do výbojové trubice destičku potřenou látkou fosforeskující rovnoběžně se spojnicí katody a anody. Destička tato jest opatřena proti katodě stojícím stínítkem aluminiovým, které má v sobě úzkou šterbinu. Procházejí-li paprsky katodové, způsobí živou fosforescenci destičky na těch místech, kde se jí dotýkají. I objeví se na destičce úzký pruh fosforeskující od šterbiny k anodě směřující. Přiblížením magnetu odchýlí se proužek od svého směru, buď se přitáhne nebo odpudí dle toho, kterým pólem magnetu jsme se přiblížili. Chová se tedy tento svazek paprsků katodových tak, jako ohebný vodič, který na katodě jest upevněn.

8. I vlivem *elektrostatickým* mohou paprsky katodové býti odchýleny. Blížíme-li se tělesem pozitivně nabitým, přitahují se, záporně nabitým odpuzují se, účinkuje tedy na ně pole elektrostatické tak, jako by samy měly náboj elektrický a to *negativní*. Zjev tento poprvé pozoroval *Goldstein* a zavedl pro něj název *deflexe katodových paprsků*.

Velmi pečlivými pokusy, které r. 1895 konal *J. Perrin* byla potvrzena domněnka, že *katodové paprsky mají náboj negativní*. V evakuované trubicí umístil *Perrin* proti rovné katodě dva sousedé kovové válce od sebe pečlivě izolované. Vnější válec

tvůřil anodu, oba pak byly úplně uzavřeny až na malý otvor ve stěně proti kathodě; oba otvory ty leží se středem kathody v jedné přímce. Vnitřní menší válec chráněn jest před vlivy vnějšími a spojen jest drátem, který izolovaně prochází stěnou válce vnějšího s elektroskopem. Stěny kovové elektroskopu a anoda vodivě spojeny jsou se zemí. Jakmile trubice jest v činnosti, ihned elektroskop ukazuje náboj, který zkouškou ukáže se negativním. Tak jako vnitřní válec stávají se i vnitřní stěny trubice a vůbec každý předmět dopadajícími paprsky kathodovými záporně elektrickými. Pokusy tyto opakovali *J. J. Thomson*, *W. Wien* a j. a přišli k témuž výsledku.

Otázkou, co jest podstatou paprsků kathodových, zabývali se fysikové *Hittorf*, *Crookes*, *Schuster* a j. Vyslovili četné hypotезy, z nichž dosud žádná úplně se neosvědčila správnou, nicméně však každá z nich měla svůj význam, neboť vedla k novým pokusům, které upozornily na různé analogie, a tím přispěly všechny velice platně k ujasnění našich theoretických názorů. *Crookes* pokládal paprsky kathodové za projev hmoty a mluví ve svém spise o „zářící hmotě“. Představuje si pak paprsky kathodové za malé částice hmotné — elektrony — se záporným nábojem elektrickým. Elektrony tyto velikou rychlostí odmršťovány jsou směrem kolmým od kathody. Proti této theorii *Crookesově* vystoupila většina fysiků německých, na př. *Hertz* a *Lenard*, kteří považovali paprsky kathodové za vlnivý pohyb etheru, tedy za zvláštní druh světla. Hlavním důvodem proti hmotnosti paprsků byl úkaz, že kathodové záření proniká hmotami, jak ukázali *Hertz*, *Wiedemann* a *Lenard*. Uvážíme-li však, že hmotnost takového elektronu jest velice nepatrná — udáváť se $\frac{1}{2000}$ hmoty iontu elektrolytu kapalného — a rychlost jejich velice ohromná, dovedli bychom si úkaz pronikání jinými hmotami vysvětlit. Rychlost paprsků udává se čísly 22.000 – 50.000 *km* za *sek*, tedy tak velikou, jak u pohybu žádných jiných hmotných částic nebyla pozorována. O velikosti této rychlosti můžeme si přibližně učiniti představu, srovnáme-li ji s průměrnou rychlostí naší země, která obnáší jen 29·5 *km* za vteřinu. Jiní fysikové jako *Puluj* a *Goldstein* připouštějí hmotnou povahu kathodových paprsků, ale tvrdí, že hmota elektronu ničím neliší se od hmoty částice molekuly. Přes různá tato mínění přece v dobách po-

sledních vracejí se fyzikové k hypotéze Crookesově a pokládají **paprsky katodové** za velmi malé částice hmotné — elektrony s nábojem záporným. Důvody pro tento názor jsou velice závažné.

Jsou-li paprsky katodové elektrony s negativním nábojem, musíme si položit otázku, kde zůstává náboj kladný? Neboť jest známo, že při žádném elektrickém jevu nepovstane elektrina jen druhu jednoho. Musí tedy i ve vakuové trubici vedle elektronů kladně nabitých býti částičky pozitivní. Dá se také předem předpokládati, že směr jejich jest protivný paprskům katodovým, že tedy pozitivní „ionty“ směřují od anody ke katodě. Zásahu o objevení těchto kladných iontů má *E. Goldstein*. Zpozoroval totiž, že světlo vycházející z anody šíří se do prostoru za katodou, je-li tato opatřena otvorem, a způsobuje na skle za katodou skvrnu barvy žluté. I vložil *Goldstein* do evakuované trubice pohyblivou katodu kovovou dírkovanou a zředil vzduch tak, že katodové světlo zmizelo, i zpozoroval na skle za katodou tolik intenzivních svazků paprskových jdoucích z katody, kolik bylo otvorů v katodě. Prostupuje tedy záření od anody dírkovanou katodou na stěnu trubice. Paprsky tyto zovou se *kanalovými* nebo dle objevitele také *Goldsteinovými*. Vznikají tedy kanalové paprsky současně s paprsky katodovými a lze je sledovati v prostoru za katodou. Kanalové paprsky vystupují vždy z otvorů katody divergentně, byť otvory byly přesně rovnoběžny a jsou barvy modravé jako by mlhou obklopené. Kanalové paprsky šíří se přímočaře a kde dopadnou na stěnu trubice skleněné, způsobí *fluorescenci* barvy žluté nebo žlutozelené. Hmoty, které silně fluoreskují vlivem katodových paprsků, fluoreskují i vlivem paprsků kanalových; v prvním případě převládá ve spektru jedna barva, v případě druhém jen s počátku, později stává se světlo bělavým. Paprsky kanalové rozkládají hmoty, je-li v trubici vodík a kyslík, rozpadají se vlivem kanalových paprsků na atomy i může vzniknouti, ježto páry vodní v trubici vždy se nacházejí, i oxydace i redukce.

Vlivem jich pozbývají vodiči svého náboje, plyny stávají se účinkem jich jakož i paprsků katodových dobrými vodiči, či, jak krátce díme, plyny jsou jimi ionisovány. Způsobují značné oteplení míst, kam dopadnou. Na desku fotografickou neúčinkují. *Wien* ustanovil později rychlost těchto paprsků a shledal, že jest

několik druhů paprsků kanálových, největší rychlost pak jich byla 1000krát menší než nejrychlejších paprsků katodových. Hmota částic oněch byla téhož řádu jako hmota iontu elektrolytického. Paprsky kanálové pokládáme za hmotné částice, které od anody ke katodě proudí, jak ukázal *Willard* a *Wehnelt*. *Positivní* pak náboj na nich dokázal řadou pokusů *W. Wien*; ukázal totiž, že v elektrostatickém poli jsou zápornou elektrodou přitahovány. Chovají se tedy paprsky kanálové opačně než katodové. *Silné* pole magnetické — slabé nestačí — uchyluje kanálové paprsky od původního směru a to směrem protivným, než se odchyľují paprsky katodové.

Paprsky kanálové bez katodových nelze si mysliti, vznikají tedy současně. Považujeme-li paprsky katodové za elektrony s negativním nábojem velkým spádem katodovým od atomů odtržené, pak zbývající hmota jest kladně elektrická. Odloučením elektronů tedy vznikají kladné ionty, které jsouce katodou velikou silou přitahovány, velikou rychlostí k ní se blíží a za katodou paprsky kanálové způsobují.

Ještě jiným úkazem liší se paprsky katodové od kanálových. Dopadem paprsků katodových na hmotu může totiž vzniknouti nové záření sekundární, kdežto, dopadnou-li paprsky kanálové na hmotu, nevzbuzují v ní záření žádné, dosud aspoň dokázáno nebylo. Sekundárním zářením paprsků katodových jsou známé paprsky *Röntgenovy* — také X-paprsky zvané. O tomto velice zajímavém druhu záření snad budeme míti jindy příležitost zmíniti se obšírněji

Mosaika.

Slíbil jsem, že Vám, mladí přátelé, podám zprávu o výsledcích internacionálního kongressu Berlínského, jenž byl uzavřen dne 2. listopadu 1906. Především usjednotili se zástupcové různých států a národů na jednotném všeobecném pojmenování; přijat název „radiotelegrafie“. Není pochybnosti, že označení „telegrafie bezdrátová“ jest nevkusné. Proto se v Německu zavádělo pojmenování „telegrafie jiskrové“, u nás „telegrafie prostorové“. Název radiotelegrafie jest volen šťastně, vystihuje dobře jádro věci, že se jedná o vlny etherové podobně jako při zá-