

Miloslav A. Valouch

Elektrický oblouk nízkého napětí ve směsi rtuťových par a argonu

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 57 (1928), No. 1, 51--59

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122031>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1928

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>

Elektrický oblouk nízkého napětí ve směsi rtuťových par a argonu.

Napsal *Miloslav A. Valouch*.*)

Elektrickým obloukem nízkého napětí rozumíme elektrický výboj v plynech neb v kovových parách, při němž jest katoda uměle žhavena a stává se tak zdrojem elektronů. Při této formě výboje jsou pak všechny závislosti jednodušší a průzračnější, neboť zde chybějí všechny děje podmiňující uvolnění elektronů z kovu katody, na př. nárazy kladných iontů při výboji doutnavém nebo vlastní rozžhavení katody při obyčejném výboji obloukovém, a tím se tedy podstatně zjednoduší teoretická diskuse zjevů při této formě elektrického výboje.

Novější badání o oblouku nízkého napětí¹⁾ přinesla řadu zajímavých výsledků; mezi nimi ukázaly se však též některé zjevy na první pohled nesrozumitelné. Ježto, jak jsme již řekli, všechny vlastnosti oblouku nízkého napětí jsou podmíněny pouze chováním plynů a par, bude tomu tak též u charakteristických veličin oblouku nízkého napětí, totiž u nejmenšího napětí, při němž se oblouk rozžhne — u rozžhacího napětí — a u minimálního napětí, při kterém jest oblouk právě ještě schopen hořeti — u zhasinacího napětí. Hoření oblouku jest podmíněno ionisací dotýčných plynů neb par a dalo by se tedy v důsledku toho souditi, že oblouk bude hořeti a tedy tím spíše se rozžhati při napětí nejméně rovném ionisačnímu napětí plynu. Ukázalo se však, že oblouk v některých jednoatomových plynech a kovových parách se rozžhává a hoří při nižších napětích. Tento fakt je však ještě ve shodě s atomovou teorií, pokud tato napětí jsou větší než nejmenší budící napětí. Zjev tento byl totiž pozorován při větších proudových hustotách v oblouku a lze tedy za jeho příčinu pokládati kumulativní ionisaci plynu. Atomy plynu jsou při první elementární srážce s elektrony sice jen vzbuzeny do některého kvantového stavu, ale při dostatečné hustotě proudu narážejí na tyto vzbuzené atomy opět nové elektrony, které dodají při srážce energii potřebnou k odtržení elektronu od vzbuzeného atomu. Ionisace se tedy takto děje několika elementárními akty následujícími rychle za sebou, pokud se atom vyzářením nevrátí do normálního stavu. Atomová teorie dává tím dolní mez

*) Výtah z disertační práce.

¹⁾ G. Mierdel, Phys. Ztschr. 28, 344, 1927.

pro rozžhací a zhasínací napětí rovnou nejmenšímu budicímu napětí, které převádí atom při srážce z normálního stavu do prvního stavu kvantového.

Experimentální badání ukázala však, že oblouky mohou hořeti i při napětí mnohem nižším. Tento zjev byl zkoumán zvláště v heliu, neonu, argonu a ve rtuťových parách. Nedal se vyložit ani počáteční rychlostí elektronů vysílaných žhoucí katodou a zůstal delší dobu nevysvětlen, až Bär, von Laue a Meyer²⁾ a současně a na nich nezávisle Eckart a Compton³⁾ objevili, že nízký potenciál, při němž oblouk hoří, jest zdánlivý, ježto v oblouku vznikají při vysokých proudových hustotách oscilace, jichž maximální amplituda napětí jest vyšší než nejmenší budicí napětí. Byl to však opět Bär,⁴⁾ který brzy na to zjistil, že oblouk může hořeti ve rtuťových parách i bez oscilací při abnormálně nízkém napětí. Jako hlavní podmínku uvádí velkou žhavicí intensitu vlákna, tedy abnormálně vysokou emisi elektronů. Opět téměř současně dokázali Eckart a Compton⁵⁾ existenci tohoto abnormálního oblouku v heliu a argonu. Podali též ve své práci vysvětlení tohoto zjevu, opírající se o experimentální vyšetření rozdělení potenciálu mezi katodou a anodou. Zjistili totiž Langmuirovou metodou sondy, že potenciál probíhá asi způsobem naznačeným na obr. 1, takže mezi místem a a anodou A jest větší potenciální rozdíl, než mezi katodou a anodou, tedy než měřený potenciální rozdíl. Příčina toho jest v silném prostorovém náboji, který se vytvoří kolem žhoucí katody v důsledku abnormálně vysoké emise elektronů. Tím lze veškeré zjevy v oblouku nízkého napětí pokládati za vysvětleny, pokud oblouk hoří v jednoatomových plynech neb kovových parách prostých cizích přímíšenin.

Jest nyní na snadě myšlenka rozšířiti zkoumání oblouku nízkého napětí též na směsi plynů. V posledních letech takováto zkoumání provedena na některých směsích plynů, avšak za jiným účelem než sleduje tato práce. Byli to hlavně Duffendack a Compton,⁶⁾ kteří vyšetřovali disociaci vodíku přimíšeného k oblouku rtuťovému, a Kwei,⁷⁾ který mimo opakování těchto pokusů vyšetřoval tvoření se amonia při oblouku ve směsi vodíku a dusíku. Vidíme tedy, že se zde jednalo hlavně o chemické chování se molekul.

Mým cílem bylo zjistiti charakter oblouku ve směsi chemicky nereagujících plynů a vyšetřiti vliv koncentrace na jeho charakteristické veličiny a konečně srovnáním s poměry v plynech čistých získati přehled o chování se atomů a molekul plynů při srážkách a o potvrzení zkušeností získaných jinými metodami.

²⁾ R. Bär, M. v. Laue a E. Meyer, Zeitschr. f. Phys. 20, 83, 1923.

³⁾ C. Eckart a K. T. Compton, Phys. Rev. 23, 550, 1924.

⁴⁾ R. Bär, Zeitschr. f. Phys. 31, 430, 1925.

⁵⁾ C. Eckart a K. T. Compton, Phys. Rev. 24, 97, 1924.

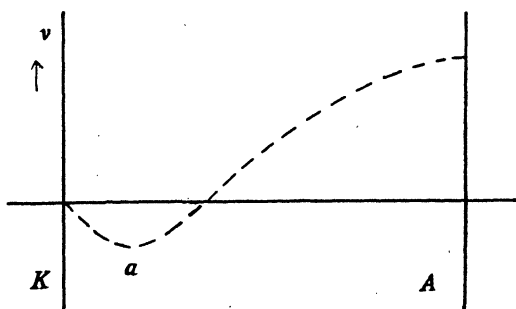
⁶⁾ D. S. Duffendack a K. T. Compton, Phys. Rev. 23, 583, 1924.

⁷⁾ C. T. Kwei, Phys. Rev. 26, 537, 1925.

Abychom mohli výsledky této práce správně interpretovati, vytkneme nejprve hlavní poznatky o oblouku v čistých plynech, pokud budou mít aspoň význam pro výsledky docílené v této práci.

Rozžihací napětí oblouku jest vždy vyšší než nejmenší budící napětí dotyčného plynu. Se stoupajícím tlakem plynu klesá k minimální hodnotě, která jest o něco málo vyšší než nejmenší budící napětí, s klesajícím tlakem neustále vzrůstá daleko přes ionizační napětí. Při téměř tlaku jest nižší při vyšší teplotě katody, avšak vliv ten jest celkem nepatrný vzhledem k vlivu tlaku.

Zhasínací napětí klesá rovněž se stoupajícím tlakem plynu jako napětí rozžihací, jest vždy o něco menší než příslušné rozžihací napětí, avšak rozdíl tento vzrůstá při vyšších tlacích se



Obr. 1.

zvyšující se emisí katody, takže, jak jsme již podotkli výše, můžeme udržeti hořící oblouk při napětí značně nižším než jest nejmenší budící napětí plynu. Avšak další důležitou podmínkou k dosažení tohoto abnormálního oblouku jest absolutní čistota použitého plynu, čímž rozumí se nepřítomnost aktivních plynů neb par.

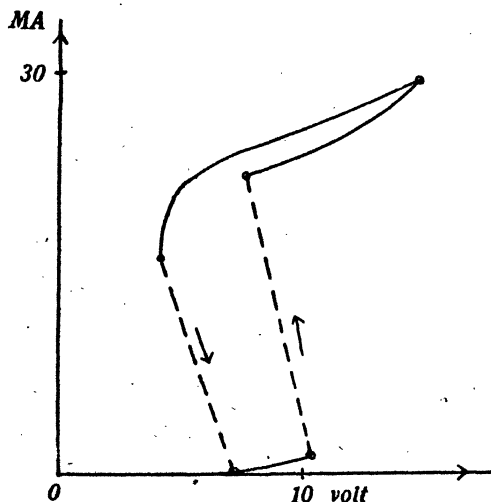
Charakteristiky oblouku nízkého napětí mají pak tvar znázorněný na obr. 2.

Charakteristika tato jest typická pro oblouk nízkého napětí a vidíme na ní, že rozžnutí oblouku projevuje se velmi nápadně prudkým skokem intensity, který má současně za následek klesnutí napětí na oblouku. Toto klesnutí napětí jest způsobeno změnou spádu napětí v měrném kruhu, jak bude v popisu měření blíže vysvětleno. Při dalším zvyšování napětí intenzita stále stoupá a zmenšujeme-li nyní opět napětí na oblouku, klesá intenzita pomaleji a až při napětí nižším napětí rozžihacího oblouk opět zhasne. Charakteristický jest rovněž zjev hysterese, který na charakteristice pozorujeme.

Aparatura použitá k experimentální práci jest u všech autorů v podstatě stejná, liší se hlavně jen uspořádáním výbojové trubice. Trubice v této práci byla sestavena po několika pokusech ve tvaru znázorněném na obr. 3.

Jako žhoucí katody používáno bylo wolframového drátku 0·1 mm v průměru a asi 10 mm dlouhého, jenž byl upevněn na platinových

drátčích 0,6 mm silných, zatavených přímo do stěn trubice. Anodu tvořil rovněž platinový drát ve vzdálenosti 5—10 mm od žhacího vlákna a s ním rovnoběžný. Na dně trubice nalézala se rtuť dvakrát ve vakuu destilovaná po předchozím chemickém vyčištění. Aby bylo zabráněno všem případným rušivým vlivům, které by mohly mít původ v tom, že by se tato rtuť nalézala na jiném potenciálu vůči katodě než anoda, byla zataveným platinovým drátkem udržována na téměř stejném potenciálu jako anoda. Pro dokonalý dotek a dobrou tepelnou vodivost bylo jako připojení elektrod k měřicím aparátům použito rtuťových kontaktů v připravených trubičkách, jak je též na



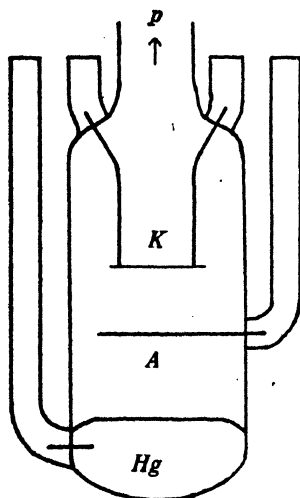
Obr. 2.

obrázku naznačeno. Těsně nad výbojovou trubicí byl na rouře vedoucí k čerpacímu zařízení umístěn vodní chladič, aby bylo zabráněno předestilování rtuti do ostatní části aparatury při zahřívání na 300—350° C, jehož bylo zapotřebí, aby z výbojové trubice byly vypuzeny adsorbované plyny a páry.

Čerpací zařízení se skládalo z Volmerova agregátu skleněných difusních pump rtuťových a z Pfeiferovy rotační olejové pumpy používané jako předčerpací pumpy. Tlak plynů měřen byl zkráceným vakuometrem podle Mac Leoda, který dovoľoval přesné měření tlaku až do $1 \cdot 10^{-6}$ mm Hg. Tam, kde bylo v aparatuře oddělení od sebe prostory o malém rozdílu tlakovém, použito bylo rtuťových uzávěrek ve tvaru U-trubice, aby byl co možná snížen počet skleněných kóhoutů, které ješť nutno mazati. Pouze připojení výbojové trubice k ostatní aparatuře bylo provedeno skleněným zábrusem, poněvadž trubice byla zhotovena z jenského skla, které nelze přímo přitaviti na obyčejné sklo ostatní aparatury. Dalším důvodem k to-

muto způsobu připojení byla ta okolnost, že po každém přepálení žhoubního vlákna bylo nutno celou výbojovou trubici předělati, ježto elektrody byly do ní pevně zataveny. Původní pokusy s vyměňovatelnou katodou na zábrus totiž ukázaly, že při vyšších teplotách jednak zábrus již dokonale netěsní a páry použitého mazu znečišťují trubici. Kromě toho bylo použito dvou skleněných kohoutů k vpouštění argonu. Všechny tyto části mazány byly vakuovým mazem podle Ramsaye o velmi nepatrném napětí par.

K zahřívání trubice výbojové používáno bylo elektrických kamínek a teplota určována rtuťovým teploměrem. Použitý argon byl



Obr. 3.

dodán firmou Lindes Eismaschinen Gesellschaft a obsahoval podle udání továrny 99·5% argonu a 0·5% dusíku. Dodán byl ve skleněné nádobě, uzavřené skleněným hrotem.

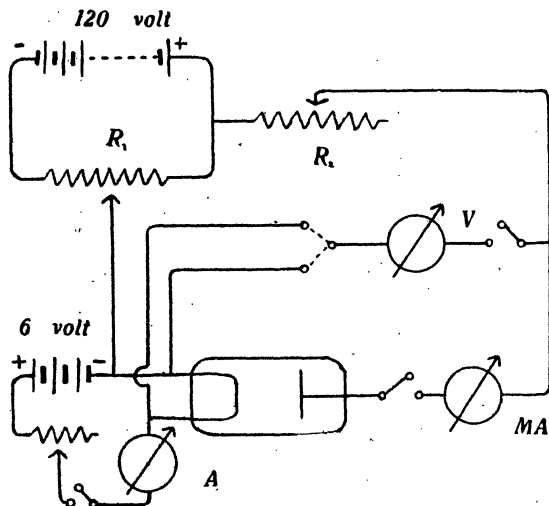
Elektrický měrný kruh byl v podstatě sestaven stejným způsobem, jak jej používal při své práci Bär, v. Laue a Meyer.⁸⁾

Obr. 4 podává jeho schema. Odpor W_1 použitý jako potenciometr měl 125 Ω a předražený odpor W_2 byl proměnný s maximální hodnotou 2000 Ω . Napětí na koncích výbojové trubice měřeno bylo voltmetrem připojeným buďto k negativnímu konci nebo pozitivnímu konci žhoubní katody. Intenzita proudu v oblouku měřena byla miliampermetrem MA . Intenzita topného proudu měřena byla ampermetrem A a kromě toho měřen byl též potenciální spád na žhoubním vlákně voltmetrem, jenž není v schematu k vůli zjednodušení zakreslen.

⁸⁾ loco cit.

Postup prací byl následující:

Nejprve byla opakována publikovaná měření ve rtuťových parách za účelem vyzkoušení aparatury. Podle získaných tím zkušeností byla aparatura několikrát změněna a hlavně vyzkoušeno několik typů výbojových trubic, až posléze bylo použito k vlastnímu měření popsané již aparatury, která se ukázala k účelu práce nejvhodnější ze všech vyzkoušených a na níž byla opakována měření ve rtuťových parách nalezena v principiálním souhlase s výsledky publikovanými dříve jmenovanými autory. Tyto přípravné práce zabraly největší část času. Posléze když aparaturu byla dokonale vy-

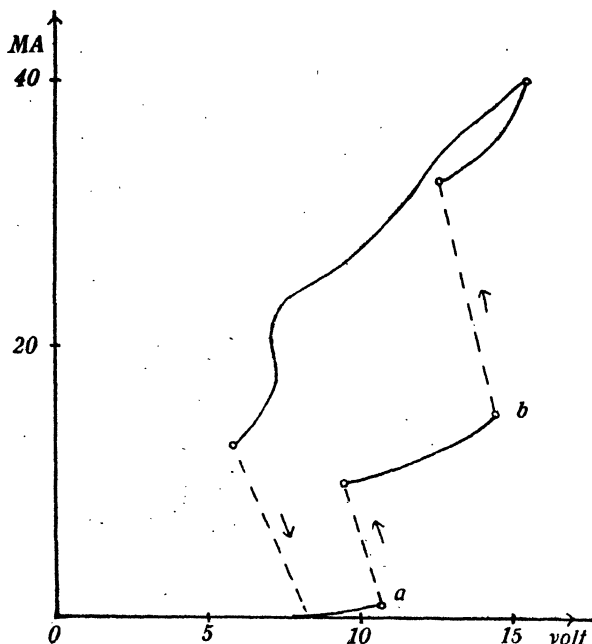


Obr. 4.

čerpána a zjištěna byla dokonalost všech těsnění, přikročeno bylo k vlastnímu měření ve směsi argonu se rtuťovými parami, kteréžto měření bylo pak díky dokonalému stavu aparatury provedeno v několika dnech z toho důvodu, aby použitý argon nebyl snad během delší doby znečištěn, ježto bylo k jeho vpouštění nutno použití skleněných kohoutů, které skýtají nebezpečí, že po delší době již bezvadně netěsní.

Před každou řadou měření byla aparatura po několik hodin vyčerpávána tak, že vakuometr neukazoval již žádného tlaku. Tlak tedy byl zaručeně menší než $1 \cdot 10^{-6}$ mm Hg. Při tom byla výbojová trubice udržována po dobu dvou až tří hodin na teplotě 300° až 350° C, aby byla zbavena všech absorbovaných plynů a par. Při tom byla též žhavana po nenáhlu katoda za účelem vypuzení plynů v ní absorbovaných. K měření a vpuštění argonu přikročeno bylo teprve tehdy, když se teplota výbojové trubice ustálila na žádané hodnotě a konstatována byla neproměnnost rozžhacího a zhasínacího napětí

v čisté rtuti, ovšem již po odpojení čerpacího zařízení. Pak byla vpuštěna malá část argonu nalézající se mezi dvěma blízko u sebe přitavenými kohouty. Tlak argonu byl měněn buď tím, že bylo připouštěno stále více ze zásobní nádoby, nebo opačně částečným odčerpáváním. Tlak měřen byl vakuometrem. Měření byla prováděna tak, že jednak byly určovány jen hodnoty rozžhacího a zhasínacího



Obr. 5.

napětí při různých poměrech tlakových a jednak měřeny byly celé charakteristiky. Typický tvar charakteristiky ve směsi přináší obr. 5.

Z charakteristiky je zřejmo, že charakter oblouku se mění tak, že nyní existují dvě nespojitosti ve stoupání intenzity spojené se současným poklesem napětí. Analogicky podle charakteristik v plynech čistých je nutno pokládati je obě za rozžhnutí se oblouku. A sice lze připsati první skok označený písmenem *a* ionisaci rtuti a skok druhý, označený *b*, argonu. Vyplývá to též z toho, že ionizační napětí argonu je značně vyšší než rtuti, obnáší totiž 15·5 volt naproti 10·4 volt u rtuti. Vidíme tedy, že každý z plynů směsi se projevuje svým samostatným rozžhacím napětím, což je u těchto plynů bez elektronové afinity přirozeno. Naproti tomu nepodařilo se v charakteristikách nikde stanovit s určitostí též dvojí zhasínací napětí, třebaže tvar charakteristiky se poněkud ve zpětné části liší od

charakteristiky v čisté rtuti. Snad by se dalo nalézt za určité volených podmínek při podrobnějším studiu tohoto zjevu.

Pokud se týče závislosti obou charakteristických napětí na tlaku přimíšeného argonu, jest možno říci na základě získaného materiálu, že první rozžhací napětí s tlakem s počátku klesá, aby později při větších tlacích přimíšeného argonu opět stouvalo. Druhé rozžhací napětí zůstává téměř konstantní v mezích pozorovacích chyb, jeví však též tendenci ke klesání s rostoucím tlakem. Naproti tomu zhasínací napětí s rostoucím tlakem argonu stále klesá, později sice jen velmi zvolna, avšak nápadný je rozdíl proti prvnímu rozžhacímu napětí, které brzy začíná stoupati, zatím co zhasínací napětí ještě dosti značně klesá. Toto zajímavé chování se zhasínacího napětí rtuti za přítomnosti argonu mohlo by nasvědčovati tomu, že působí zde argon srážkami druhého druhu. Donat⁹⁾ dokázal totiž ve své práci o sensibilisované fluorescenci, že srazí-li se rtuť vzbuzená do prvního kvantového stavu optického, totiž stavu v spektroskopii označeného $2p_2$, s argonem v neutrálním stavu, odejme jí tento rozdíl kvantových energií mezi stavy $2p_2$ a $2p_3$ a rtuť nalézá se po srážce ve stavu $2p_3$, který jest metastabilní, t. j. z něho nemůže přejíti rtuť do stavu normálního vyzáření, nýbrž pouze opět srážkou druhého druhu. Donat však rovněž dokázal, že rtuť v tomto stavu je nečitlivá vůči srážkám s argonem. Mohli bychom tedy na základě Donatovy práce vysloviti domněnku, že toto abnormální snižování zhasínacího napětí je způsobeno zvýšením kumulativní ionisace. Kumulativní ionisace, jak jsme ji v úvodě vylíčili, jest zřejmě tím větší, čím delší dobu se rtuť nalézá ve vzbuzeném stavu. Převedením do stavu metastabilního se tato doba velmi značně prodlouží a ježto ostatní okolnosti zůstávají nezměněny, stoupne tím patrně kumulativní ionisace a tím sníží se napětí zhasínací stejně jako bylo uvedeno v úvodě. Kromě tohoto zjevu působí zde jistě též již samo zvýšení tlaku přidáním argonu, ježto se tím též zvyšuje počet srážek elektronů se rtuť. Tento vliv bude též hlavně způsobovati počáteční klesání rozžhacího napětí rtuti. Co se týče druhého rozžhacího napětí, příslušného argonu, nelze o něm nic určitého tvrditi, ježto žádná práce, zabývající se měřením oblouku v čistém argonu, neobsahuje numerických dat, nýbrž jen charakter povšechného chování, takže nelze posouditi, zda se argon chová poněkud jinak za přítomnosti rtuti, či nikoliv.

Můžeme tedy shrnouti výsledky této práce asi následujícím způsobem:

1. Ve směsi rtuťových par a argonu má oblouk nízkého napětí v normálním oboru dvě rozžhací napětí, z nichž jedno lze připsati rtuti a druhé argonu.
2. Jediné konstatovatelné zhasínací napětí lze přisouditi rtuti.

⁹⁾ K. Donat, Zeitschr. f. Phys. 29, 345, 1924.

3. Rozžihací napětí rtuti s rostoucím tlakem argonu s počátku klesá a později stoupá.

4. Zhasínací napětí rtuti s vzrůstajícím tlakem argonu abnormálně klesá, což poukazuje na působení srážek druhého druhu.

Na konec jest mi milou povinností poděkovati všem, kdož mi usnadnili práci, ať četnými radami nebo poskytnutím prostředků, zvláště pp. prof. Dru A. Žáčkovi, Dru V. Posejpalovi, Dru F. Záviškoví a Dru V. Trkalovi a p. doc. Dru V. Dolejškoví.

II. oddělení fyzikálního ústavu university Karlovy v Praze.

*

Arc électrique de faible voltage dans un mélange de vapeur mercurielle et d'argon.

(Extrait de l'article précédent.)

On a étudié l'arc électrique en question et on a obtenu, en utilisant un tube spécial (fig. 3), des caractéristiques dont le type général est donné par la figure 5. On voit deux tensions d'allumage, l'une pour le mercure, l'autre pour l'argon, mais seulement une tension d'extinction, qui correspond à celle du mercure. La tension d'allumage s'abaisse d'abord avec la pression croissante de l'argon et puis elle reprend une marche ascendante. La tension d'extinction du mercure diminue anormalement avec la croissance de la pression de l'argon, ce qu'on peut attribuer à l'action des collisions de second ordre.