

## Werk

**Label:** Article

**Jahr:** 1934

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?31311028X\\_0063|log27](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?31311028X_0063|log27)

## Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

## Kinematografické studium výboje v iontové trubici konstrukce Dolejšek-Kunzl.

Karel Dráb.

(Došlo 9. května 1933.)

Jak je známo z literatury, nedalo se napětí v iontových trubicích dosud známých snižovati pod určitou nepřekročitelnou mez, neboť trubice pak přestala jako zdroj  $X$ -paprsků prostě pracovat. Tato spodní mez, známá z literatury, je ca 20.000 V. Naproti tomu výbojové trubice normální, používané jako zdroj pro optická spektra, pracují obyčejně s napětím 500—1000 V. Je tu tedy v oboru používaných napětí trubic výbojových a  $X$ -trubic značná mezera. Na jedné straně 20.000 až 2.000.000 V, na druhé jen 500 až 1000 V.

Použitím iontové trubice typu Dolejšek-Kunzl<sup>1)</sup> bylo umožněno vniknouti do této mezery, neboť se osvědčuje, jak bude ještě v dalším ukázáno, jako vydatný zdroj  $X$ -paprsků, a to na základě výsledků této práce i při napětí 1000 V (dá se použití případně i jako výbojová trubice k získání spekter optických).

Z řady používaných trubic výbojových je zvláště důležité si uvědomiti podmínky vznikající při výboji v t. zv. Paschenově trubici s dutou katodou, která však nemusí býti ani zcela dutá, jak ukázal Schüller, ani ležeti uvnitř katody, a tím se tudíž nejvíce blíží iontové trubici typu Dolejšek-Kunzl. Je tudíž zajímavou srovnáním výboje v iontové trubici dané konstrukce s výbojem v normální trubici výbojové zjistiti, do jaké míry můžeme aplikovati vztahy zjištěné u trubice normální na trubici iontovou, čili: 1. může-li iontová trubice pracovat při vyšších tlacích jako trubice pro  $X$ -paprsky, pakliže ano, 2. kdy pracuje jako Roentgenova trubice, a 3. kdy jako trubice optická.<sup>2)</sup>

Povšimněme si, jaký je výboj v iontové trubici, které jeho části jsou stejné jako u obyčejné trubice výbojové a které se liší. Pro iontovou trubici důležitý je zejména katodový spád, t. j. spád potenciálu od katody ke konci Crooksova temného prostoru. Pokud není povrch katody při výboji zcela pokryt, je normální spád katodový nezávislý na síle proudu a na tlaku, závisí na povaze plynu a na materiálu katody. Rovněž se nemění hustota proudu, která je však závislá na tlaku plynu a tedy i na teplotě. Za stejných podmínek závisí hustota proudu i na tvaru katody. Na dutých

<sup>1)</sup> Dolejšek-Kunzl, Čas. pro pěst. mat. a fys. 6, 242, 1932. Zts. f. Phys. 565, 74, 1932.

<sup>2)</sup> Dolejšek-Dráb, Comptes Rendus de l'Acad. des Sciences, Paris, 334, 196, 1933.

plochách je větší než na rovných. Jakmile následkem zvyšování síly proudu pokryje výboj celou plochu katody, přestává být hustota proudu konstantní a stoupá úměrně se silou proudu. Rovněž katodový spád stoupá, stává se „anomálním“, závislým na tlaku.

Při výboji nastává přeměnou energie elektrické v termickou zahřátí katody. Jak se vzniklé teplo rozděluje mezi katodu a plyn, není dosud přesně zjištěno. Podle Güntherschulzeho teplota katody nepřesahuje za normálního spádu nikdy teplotu  $100^{\circ}$ — $200^{\circ}$  C. Pouze při anomálním spádu může dostoupiti výše až  $1000^{\circ}$  C i více. S bombardováním povrchu katody pozitivními ionty je spojeno nejen sekundární uvolňování elektronů a oteplování katody, ale i odtrhávání a odmetávání nejmenších částic katodového materiálu, t. zv. rozprašování katody. Tyto částičky usazují se na okolních místech katody a působí rušivě, hlavně při velkých anomálních spádech. Část rozprašených částic kovových dospěje zpět na katodu a tvoří na ní nálet.

V iontové trubici můžeme při daném napětí regulovati intensitu pouze změnou tlaku. Jestliže tedy chceme při nízkém napětí dosáhnouti ještě velkou intensitu, musíme zvýšiti tlak. Tím vzroste počet molekul, zvýší se počet srážek mezi ionty, elektrony a molekulami, takže při větších tlacích pouze nepatrná část elektronů odevzdá svou energii na anodě. Již z. toho je zřejmo, že při takových tlacích nemohly být iontové trubice účinné jako zdroj X-paprsků. Při měnícím se tlaku mění se i druh výboje, jak bylo již dříve, zvláště u trubice Paschenovy s dutou katodou zjištěno. Podobně může tedy i u iontové trubice nastati případ, že se nám změni tvar výboje normálního, ve kterém většina elektronů předává svou energii přímo katodě, na výboj anomální, při kterém elektrony spotřebují veškerou svou energii již během své cesty ke katodě na ionisaci molekul plynu.

Z analogie s normální trubici výbojovou vyplývá tudíž pro konstrukci iontové trubice pro nízká napětí poznatek, že i v iontové trubici bude výboj závislý na napětí, tlaku plynu, druhu plynu, vzdálenosti elektrod, povaze materiálu katody, velikosti katody, způsobu chlazení jakož i velikosti iontové trubice samé a vzájemné poloze elektrod v trubici.

Jak iontová trubice konstruovaná podle těchto zásad vyhlídí, bylo již popsáno dříve.<sup>3)</sup> Jako zdroje proudu použito bylo v této práci speciální aparatury zhotovené podle dodaných návrhů domácí firmou Meta (Ing. Vinopal), za podpory Rockefellerovy nadace, (jejíž správě vzdáváme na tomto místě uctivý dík). Aparatura je opatřena 4 usměrňovacími ventily a může dodávati proud  $\phi$  na-

<sup>3)</sup> Čas. pro pěst. mat. a fys. 6, 242, 1932.

pětí až 7000 V a intenzity až 500 mA. Při všech pracích se aparatura velmi dobře osvědčila.

K udržení stability výboje byl vložen do serie s trubici vysokohomový, regulovatelný vodní odpor s tekoucí vodou.

Iontová trubice konstrukce Dolejšek-Kunzl má tvar podélný, který se již při dřívějších pracích plně osvědčil. Její válcovitý tvar byl ku provádění experimentálních prací velmi výhodný nejen k vůli možnosti přiblížení anody ke katodě, čímž se značně zvýší výkonnost trubice, ale v daném případě i proto, že při tomto tvaru trubice je velmi dobře možno se přiblížiti s filmovým přístrojem, jehož bylo při práci použito, co nejlíže ke světelnému zdroji a využití tak plně jeho světelnou intenzitu.

K filmování bylo použito kinematografického přístroje t. zv. vysokofrekventního (à grande vitesse) fy Débrie, umožňujícího brání snímků rychlostí až 240/vteř. Přístroj tohoto typu byl volen z toho důvodu, aby byly zachyceny velmi rychlé změny ve výboji, okem sotva postřehnutelné. Filmováno bylo objektivem Zeiss-Tessar  $F : 4,5$ , ohn. vzdál. 5,5 cm, při zaclonění na  $F : 9$ . Jako neg. materiál bylo použito filmu Gevaert Special, orthochromatického, který je na výbojové světlo zvláště citlivý.

(Při této příležitosti děkuji p. Dr. L. Hontymu za laskavou pomoc při filmování).

Úprava iontové trubice k filmování byla velmi jednoduchá.

Trubice byla prostě uložena pomocí dvou stojánek a zvýšené podložky na okraj stolku, a filmovací přístroj byl přistaven (na normálním stativu) ke stolu tak blízko, aby vysunutý objektiv přístroje se téměř dotýkal skleněné deštičky přitmelené na vložku (konus) vloženou do otvoru, kterým jinak se vede záření do spektrografu. Jiné úpravy trubice nevyžadovala. Postup filmování bude podrobně uveden později.

Práce s iontovou trubicí — chceme-li ovládnout charakter výboje, není zcela jednoduchá. Při provozu je třeba zachovávat určitý postup; intenzitu můžeme regulovat pouze pomocí regulace napětí nebo vacua, což obojí je dosti obtížné. Může se nám totiž stát, že během této regulace změnou jednoho faktoru změni se ihned vzájemné vztahy všech ostatních činitelů a výboj normální, jaký potřebujeme k buzení X-paprsků, se nám změni na výboj anomální.

Ježto poměry a závislosti jednotlivých faktorů, zjištěné a platné pro výbojové trubice, se dají v našem případě jen z části aplikovat na iontovou trubicí, následkem jiných poměrů (rozmezí tlakové, vzdálenost a tvar elektrod a pod.) a z literatury není nic známo o iontových trubicích pro tak nízká napětí, jaké jsme používali my, bylo postupováno cestou čistě experimentální.

Docílení reprodukovatelných podmínek pro provoz iontové trubice v tomto oboru bylo značně obtížné, a zdůrazňuji, že největší potíží byla při pokusech o zvyšování intenzity. Horní mez, po kterou až můžeme intenzitu zvyšovati, je dána velikostí (průměrem) kátody, jak jsme zjistili během pokusů. Zjistili jsme totiž, že při malých katodách — o malém průměru — nebylo nikdy možno dosáhnouti větších intenzit než ca 20 mA, neboť při pokusech zvýšiti intenzitu nad tuto mez změnil se nám výboj normální v anomální, nastal přeskok. Se zvětšováním katody rostla však možnost zvyšování intenzity, takže dnes můžeme při dbaní ostatních kritérií pracovat s intenzitou i 500 mA, aniž by se nám výboj měnil.

Ale se zvětšováním povrchu katody roste ovšem při stejné hustotě proudu i její celkové zatížení; aby se během provozu neměnily podmínky výboje následkem stoupání teploty katody, musilo být postaráno o chlazení katody co nejvydatnější. To bylo docíleno spojováním katody vlastní s nosičem pomocí stahovací matky a vhodnou tloušťkou katody na místě nejvíce namáhaném, jakož i dostatečným dimensováním přívodní a odvodní trubice vodního chlazení.

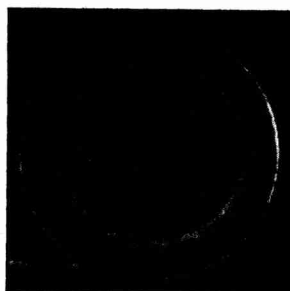
Jak správně Güntherschulze<sup>4)</sup> ukázal, je nutno již za účelem docílení reprodukovatelných výsledků elektrody dokonale chladiti a vyčkati rovnovážného stavu, který časem nastane. Tím vysvětlil současně i rozpory v měření různých autorů, kteří této zásadní podmínky dříve si nebyli vědomi. Týká se to ovšem v prvé řadě katod nechlazených.

Proto bylo velmi důležité i v našem případě věnovati co největší péči této okolnosti při konstrukci trubice, při níž se jednalo o udržení normálního spádu katodového. Podmínky, kterých bylo nutno při konstrukci iontové trubice pro nízká napětí dbáti, byly již z části v této práci uvedeny.

Důležité je uvědomiti si, že poměry na katodě při nízkých tlacích a velkých intenzitách jsou zcela odlišné od toho, co se obyčejně v literatuře uvádí. Při normálním výboji, t. j. při výboji o normálním katodovém spádu, je katoda v iontové trubici dané konstrukce nesmírně namáhaná, což je následek velkých intenzit při pracích používaných. Namáhání povrchu katody — značně větší než u antikatomy — není všude stejné, jak je patrné z následujících snímků. Na obr. 1., znázorňujícím jednu z použitých katod, je patrna vnitřní oblast, nejvíce namáhaná. Kolem vnitřní oblasti, ostře ohraničené, je vnější oblast katody, která je oproti vnitřní oblasti méně namáhaná. Je překvapující, že jednotlivé oblasti katody, vykazující různou námahu, jsou přesně ohraničeny.

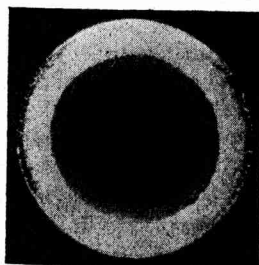
<sup>4)</sup> Zts. f. Phys. 19, 313, 1923.

Namáhaná část katody má při silném zvětšení vzhled takový, že podporuje názor Von Hippela,<sup>5)</sup> že intenzivní lokální zahřátí katody následkem bombardování ionty způsobuje droboučká horká místa, z nichž se materiál katody vypařuje.

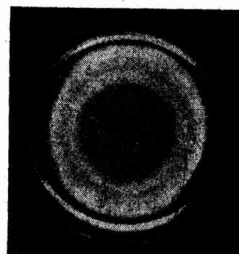


Obr. 1.

Tato vnitřní oblast katody je, jak se během prací ukázalo, pro pohon iontové trubice při normálním spádu katodovém nejdůležitější. Někdy vzniká právě na této oblasti nálet.



Obr. 2.



Obr. 3.

Zajímavou je též okolnost, že někdy místo dvou přesně ohraničených kruhových oblastí na katodě jsou patrné stopy více oblastí, přesně ohraničených. Tak obr. 2. ukazuje 3 oblasti, obr. 3. jich má dokonce 7. Jak důležitou roli mají tyto oblasti a jejich počet při provozu, jsme dosud experimentálně nestanovili. Vznik těchto oblastí lze si však jednoduše vysvětliti. Neboť, jak známo, je výbojem při normálním spádu katodovém pokryta jen část katody. Do této části povrchu katody nemohou se tudíž dostat

<sup>5)</sup> Ann. d. Phys. 80, 672, 1926, totéž 81, 1043, 1926.

zpětnou difusí částice kovu katody, vzniklé t. zv. rozprašováním katody. Zůstanou tudíž jen na okraji plochy výbojem pokryté. Jak daleko se tyto částice dostanou, závisí na normální hustotě proudu, která je při normálním spádu katodovém závislá podobně jako tento na druhu plynu a materiálu katody, současně ale též i na tlaku v trubici. Změní-li se tedy během provozu v iontové trubici tlak, změní se i normální hustota proudu a rozprášené částice kovu katody mohou nadifundovati podle právě panující hustoty proudové různě daleko ke středu katody. V tom ovšem střední oblast, která vždy je pokryta výbojem je nejvíce atakována.

Tímto způsobem bychom si mohli představití vznikání více oblastí na katodě. K bližšímu vysvětlení vzniku těchto oblastí bylo by třeba vyšetřiti námahu jednotlivých oblastí, jakož i podmínky, za nichž tyto oblasti vznikají.

Výklad vzniku většího počtu těchto oblastí různě namáhaných dá se však odvoditi i z fakta, že normální katodový spád právě tak jako normální hustota proudu při směsi plynů závisí na povaze jednotlivých plynů a na materiálu katody.

Různost působení na katodu při různé směsi plynů byla pozorována během prací s iontovou trubicí při plnění (regulaci) kyslíčnickem uhlíčitým. Pak nálet byl mnohem širší, a někdy pokrýval katodu až do samého středu. Nálet se musil, jak bylo již uvedeno, odstraňovati, neboť trubice značně tvrdla. Je to pochopitelné, neboť účinná plocha katody byla menší následkem tvořivších se karbidů, působících pak jako izolující vrstva. Že to byly skutečně karbidy, se dalo snadno zjistiti — již při pouhém dýchnutí na katodu bylo cítiti zápach po tvořivším se acetylenu. Za účelem zjištění přesných fakt bylo by třeba provésti řadu pokusů s různými plyny.

Ježto však zjištění vzniku těchto oblastí na katodě nesouvisí přímo s účelem dané práce, nebyly příslušné pokusy dále sledovány. Při této příležitosti dlužno se zmíniti též o nové metodě zkoumání dějů na katodě během výboje, a to pomocí t. zv. elektronového mikroskopu, konstruovaného M. Knollem a E. Ruskou.<sup>6)</sup> Pro studium dějů popsaných by byla tato metoda velmi důležitá. Experimentální podmínky v iontové trubici však nedovolují žádnou změnu konstrukční, která by dovolovala přímé užití této metody, neboť podmínky v iontové trubici by se při tom značně změnily a neodpovídaly by skutečnosti. Proto nelze dnes posouditi, zda lze pomocí elektronového mikroskopu očekávati objasnění uvedených dějů na katodě během výboje, což by bylo ovšem nesmírně důležité.

<sup>6)</sup> Zts. f. techn. Phys. 12, 389, 448, 1931, Ann. d. Phys. 12, 607, 1932, Zts. f. Phys. 78, 318, 1932, Naturwissenschaften 20, 49, 353, 1932.

Existence výboje, kdy vznikají v trubici X-paprsky, je patrna na antikatodě ze stop sfokusovaných elektronů, čili z ohniska. (Chybí-li stopy ohniska, čili nebyly-li elektrony sfokusovány, výboj nebyl vhodný pro vznik X-paprsků. Na rozdíl od působení na katodě stopy zanechané na antikatodě se neliší nijak od stop na antikatodách trubic pracujících při vyšších napětích nebo při trubicích elektronových.

Katoda je daleko více tepelně namáhána než antikatoda, čili na rozdíl od antikatody je při stejném výkonu působení iontů na katodě při nízkém napětí a velké intenzitě daleko větší než při napětích vyšších a menší intenzitě.

Ze zřejmého namáhání katody plyne, že o tepelném rovnovážném stavu povrchu katody se dá těžko říci, že není větší než  $100^{\circ}\text{C}$ . Že je skutečně větší, bylo patrné při pokusech při použití Mg-katody. Jestliže se pracovalo asi při 1000 voltech a intenzitě ca 250 mA, tu po určité době okolí plochy katody dávalo intenzivní zelené Mg-spektrum, převládal zelený triplet Mg.

Při tom bylo pozorováno, že trubice není již pro X-spektra dosti ekonomická (X-zářením ale dávala). Poněvadž je zde celá řada závislostí, nelze říci, zda tento zvýšený stav je sám toho příčinou. Bylo pracováno proto vždy s takovým zatížením, aby katoda byla méně namáhána než je v okamžiku, kdy vznikne optické spektrum materiálu katody.

Další důležitou otázkou je, jak je možno docílit, aby při větším tlaku trubice působila ještě jako Roentgenova trubice. V zájmu co nejvydatnějšího buzení X-čar je, jak jsem již uvedl, aby elektrony na své dráze od katody k anodě prodělaly co možná nejméně srážek s molekulami plynu, a to již z toho důvodu, aby dorazily na anodu s energií co možná největší.

Toho je možno docílit zmenšením vzdálenosti mezi elektrodami, neboť při menší vzdálenosti narážejí elektrony na své dráze k anodě méněkrát na molekuly plynu, čili méně elektronů se ztratí na cestě a více jich dorazí na anodu. Avšak ukázalo se, že pro zachování charakteru výboje v iontové trubici nutno dodržeti určitou maximální vzdálenost elektrod při daném tlaku. S rostoucím tlakem tato maximální vzdálenost klesá. Překročí-li vzdálenost elektrod tuto maximální hodnotu, mění se při daném tlaku charakter výboje.

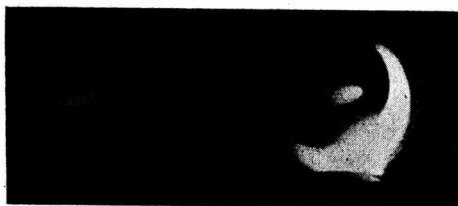
Na základě analogie ke změně výboje v Paschenově trubici je tato závislost pochopitelná. Neboť počet srážek mezi elektrodami je větší při daném tlaku při větší vzdálenosti elektrod. Tím se odevzdává při větší vzdálenosti mezi elektrodami větší část energie molekulám mezi elektrodami se nacházejícím, až při určité hodnotě změní rozdělení spádu, — nastane změna výboje. To je fakt, který je zjištěn v Paschenově trubici, a který nastává, jak ukáží,



i v iontové trubici. Existence této změny výboje v iontové trubici je dosti překvapující. Neboť, jak uvedeno, stačilo by k vysvětlení toho, že trubice přestává pracovat jako *X*-trubice, již to, že elektrony a ionty ztratí svou energii dříve, než se dostanou na elektrody. Ale ukázalo se, že přechod ten je náhlý, a právě v tom okamžiku že nastává změna charakteru výboje (mění se rozdělení spádu).

Vidíme tudíž, že při daném větším tlaku můžeme změnou vzdáleností elektrod docílit toho, že výboj v iontové trubici můžeme udržeti jako takový, aby dal vznik *X*-paprskům, nebo naopak jej změnit na výboj, jaký nastává v normální výbojové trubici.

Že skutečně existují oba druhy výboje při nepatrně změněných podmínkách, ukazuje obr. 4, na němž jsou zachyceny oba druhy



Obr. 4.

výboje. K získání této změny — přeskoku — nebyla ovšem měněna vzdálenost elektrod, ale tlak v trubici. Při normálním výboji (na obr. 4 nahoře) je zřejmý proud elektronů směřujících od katody k anodě, k ohnisku. Okolí anody je poměrně temné. Při anomálním výboji naopak mizí proud elektronů k ohnisku na anodě, zato však září celá trubice, takže anoda sama je temnější, čili výboj nám „vlezl“ do katody. Jakým způsobem se přeměna jednoho tvaru výboje ve druhý děje, nebylo dosud známo. Původně se myslelo, že přeskok nastává okamžitě, ale podrobnějším studiem jsme zjistili, že tento přeskok není tak náhlý, že spíše nastává jakýsi labilní stav, v němž jsou možny oba druhy výboje, a že nastávají jakési oscilace, trvající tak dlouho, než se výboj na tom kterém druhu ustálí, a teprve po ustálení nastávají podmínky, které uvedl H. Schüller ve své práci z r. 1921.<sup>7)</sup> Podle něho mohou totiž existovati při určitém tlaku oba druhy výboje. Nastane-li při zvyšování tlaku přeskok dovnitř katody, tu naopak při snižování tlaku nenastane přeskok zpět při témže tlaku, při jakém nastal přeskok prvý, ale při tlaku nižším, nastane jakési „zpoždění“. Dá se to vyložití tím, že přeskok výboje dovnitř katody má snahu se v této formě udržeti.

<sup>7)</sup> H. Schüller, Phys. Zts. 22, 264, 1921.

Z dosavadních pokusů můžeme usouditi na hodnotu maximální možné vzdálenosti elektrod při daném tlaku, při níž ještě prvý (normální) druh výboje nastane. Pro vzduch je tato vzdálenost právě rovna střední volné dráze elektronů ve vzduchu při daném tlaku. Je-li vzdálenost elektrod větší než střední volná dráha elektronů, zvětší se při změně tlaku nejen počet srážek mezi elektrodami, ale změní se i spád a výboj se přemění na anomální.

Kvantitativně stanoviti tuto závislost nebylo dosud možno, neboť nelze měřiti tlak v iontové trubici právě v okamžiku změny výboje — přeskočím — z toho důvodu, že metodami a pomůckami dosud známými nedají se měřiti okamžité hodnoty tlaku, který mění svou velikost. Měření tlaku pomocí poměrně nejrychleji ukazujícího odporového manometru podle Piraniho (vyrábí fa Leybold) není také okamžité, nehledě k tomu, že tento manometr nebyl k dispozici. Jestliže však trvá pouze poloviční dobu jako měření pomocí manometru Mac-Leodova, — tedy asi 30 sec. — jest i v tom okamžiku tlak v trubici již naprosto jiný.

Jaká je kritická výše tlaku v trubici, můžeme však posuzovati podle následující úvahy:

Z kinetické teorie plynů je známo, že platí pro součin z tlaku  $p$  a střední volné dráhy molekul  $\lambda_0$  vztah daný rovnicí:

$$p \cdot \lambda_0 = \frac{R \cdot T}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot N \cdot s^2}, \quad (1)$$

kde  $R$  je plynová konstanta  $= 6,24 \cdot 10^4 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm Hg} \cdot \text{grad}^{-1}$ ,  $T$  je absolutní teplota (v našem případě uvažujeme teplotu pokoje  $20^\circ \text{C}$ , tedy  $T = 293^\circ$ ),  $N$  je Avogadrovo číslo  $6,06 \cdot 10^{23}$ , a  $s$  značí průměr molekul, v daném případě pro vzduch  $s = 3,1 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$ . Dále je známo, že střední volná dráha elektronů  $\lambda$ , přicházející zde v úvahu, je  $4 \cdot \sqrt{2} \times = 5,65 \times$  větší než střední volná dráha molekul  $\lambda_0$ . Dosazením příslušných hodnot do rovnice (1) dostaneme, že

$$p \cdot \lambda_0 = 7,5 \cdot 10^{-3}, \text{ čili } p \cdot \lambda = 4,2 \cdot 10^{-2}. \quad (2)$$

Uvažujeme-li nyní jako krajní případ ten, při němž střední volná dráha elektronů je právě rovná vzdálenosti elektrod, tu dostaneme z rovnice (2) pro  $\lambda = 2 \text{ cm}$ , že tlak  $p$  má hodnotu  $2,1 \cdot 10^{-2} \text{ mm Hg}$ .

V literatuře bývá udáván tlak v iontových trubicích, používaných jako zdroj  $X$ -spekter, v rozmezí pro vzduch  $0,01 \text{ mm Hg}$  až  $0,001 \text{ mm Hg}$ . V iontové trubici konstrukce Dolejšek-Kunzl je však toto rozmezí posunuto směrem k větším tlakům — v některých případech až k  $0,05 \text{ mm Hg}$  — a to následkem používaných velkých intenzit. Vidíme tudíž, že tlak počítaný na základě předpokladu, že střední volná dráha elektronů se rovná vzdálenosti elektrod,

nám i teoreticky potvrzuje správnost našich úvah a správnost volby vzdálenosti elektrod.

Podobně můžeme usuzovati na výši tlaku v iontové trubici dané konstrukce i na základě známých vztahů mezi tlakem a tloušťkou temného katodového prostoru  $d$ . R. Seeliger<sup>8)</sup> uvádí vzorec pro  $d_n$ , t. j. pro tloušťku temného prostoru kat. při normálním katodovém spádu

$$d_n = \frac{a}{p}, \quad (3)$$

při čemž  $d_n$  je měřeno v cm, tlak  $p$  je měřen v mm Hg, a  $a$  je konstanta, závislá na druhu plynu a materiálu katody. Pro vzduch a Al je tato konstanta podle Seeligera  $a = 0,25$ . Pro anomální spád tento vzorec platí v upravené formě, udané Astonem<sup>9)</sup>

$$d_a = \frac{a}{p} + \frac{b}{\sqrt{j}}, \quad (4)$$

kde  $d_a$  je tloušťka temného prostoru při anomálním spádu v cm,  $p$  je tlak v mm Hg,  $j$  je hustota proudová v mA/cm<sup>2</sup>,  $a$  a  $b$  jsou opět konstanty, mající podle Seeligera hodnotu pro Al a N<sub>2</sub> (pro vzduch není udáno)  $a = 0,065$  a  $b = 0,126$ . Ke zjištění proudové hustoty v našem případě můžeme uvažovat průměrně z praktických výsledků celkovou intenzitu 200 mA, plochu katody 5 cm<sup>2</sup>, čili  $j = 40$  mA/cm<sup>2</sup>.

Uvažujeme-li náš případ opět jako extrémní případ, ve kterém jsou možny oba druhy výboje, a předpokládáme-li opět jako krajní případ, že tloušťka temného prostoru je právě rovna vzdálenosti elektrod (což odpovídá též předpokladu prací Schülerových, l. c. podle něhož tloušťka temného prostoru je rovna střední volné dráze elektronů), dostaneme po dosazení příslušných hodnot do rovnic (3) a (4) hodnoty pro příslušný tlak:

1. Pro případ normálního spádu:

$$p = \frac{a}{d_n} = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ mm Hg.}$$

2. Pro případ anomálního spádu:

$$p = \frac{a}{d_a - \frac{b}{\sqrt{j}}}, \quad p = \frac{0,065}{2 - \frac{0,126}{\sqrt{40}}} = 0,032 \text{ mm Hg.}$$

Srovnáním výsledků obou rovnic vidíme, že hodnota tlaku, počítaného na základě tloušťky temného prostoru při anomálním

<sup>8)</sup> R. Seeliger, Einführung in die Physik der Gasentladungen, 1927, str. 184, 185.

<sup>9)</sup> F. W. Aston, Proc. Roy. Soc. London, 79, 81, 1907, 87, 437, 1912.

spádu se více blíží hodnotě, kterou jsme dostali dříve (str. 30) při počítání tlaku ze vztahu ke střední volné dráze elektronů.

Odlišný — byť i ne mnoho — výsledek vzorce platného pro normální spád si můžeme vysvětliti tím, že hodnota konstanty byla počítána pro ploché elektrody, větší tlaky a menší intensity.

Ježto v našem případě máme však elektrody silně zakřivené, malý tlak a velké intensity, je pochopitelné, že daný jednoduchý vzorec nevyhovuje zcela, ačkoliv i pak možno výsledky řádově uvažovati za uspokojující. Vyplývá z toho, že v takovém případě by udaný vzorec vyžadoval dalších korekčních členů, podobně jako byly stanoveny Astonem pro případ anomálního spádu.

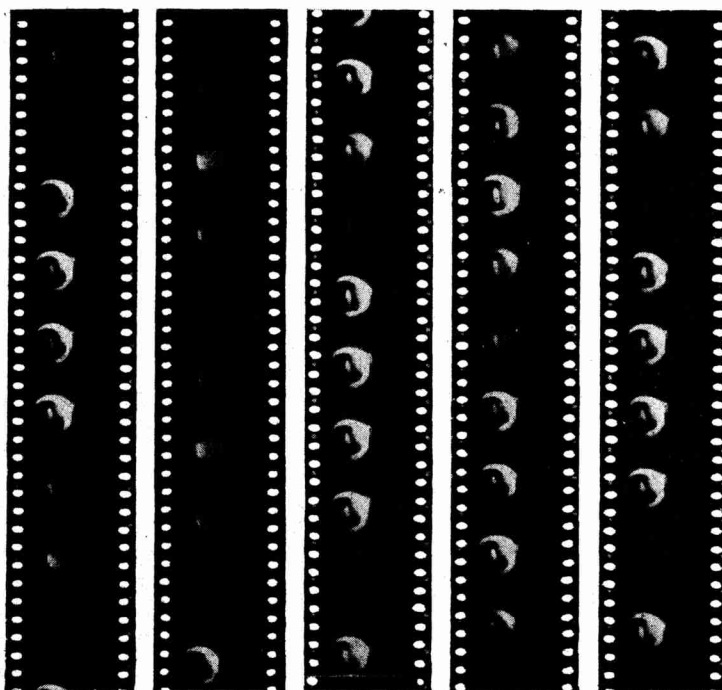
Dlužno se zmíniti též o různostech názorů o tom, je-li tloušťka temného prostoru katodového rovna několikanásobné či jen jediné střední volné dráze elektronů.

Ke zkoumání změn výboje jsme zamýšleli původně použití jako oscilátoru Braunovy trubice. Jednalo se však nejen o stanovení, že ve výboji nastávají změny, které by se projevovaly při použití Braunovy trubice změnou oscilací, ale i o změnu charakteru výboje, či lépe řečeno o charakter změny výboje, což by nám Braunova trubice ovšem neudávala. Sáhli jsme tudíž po kinematografickém přístroji. Jak bylo již uvedeno v kap. III., použili jsme vysokofrekvenčního přístroje fy Débrie, s rychlostí braní snímků až 240/vteř. Ve skutečnosti byly brány snímky jen rychlostí asi 190—200/vteř.

Při filmování byly voleny úmyslně podmínky takové, aby změna výboje normálního na anomální — přeskok — nastala pokud možno brzy. Mohli jsme regulovati buď napětí, nebo vzdálenost elektrod, nebo konečně stupeň vakua. Nejlépe bylo regulovati vakuum, neboť se dalo technicky nejlépe a nejsnadněji provést, a to pomocí již dříve popsaného rozpraskového ventilu, kterým se dalo vakuum velmi jemně regulovati. Regulace pomocí změny napětí dávala tytéž výsledky, dala se ale prakticky provésti mnohem obtížněji. Proto ve většině pokusů jsme užívali regulace změnou vakua, která se experimentálně ukázala býti nejvýhodnější. Po zjištění těchto fakt bylo teprve přikročeno k vlastním zkouškám, provedeným již uvedeným způsobem.

Výsledky ukázaly, že změna výboje, když nastane, nenastává najednou, nýbrž výboj s normálním katodovým spádem se několikrát vrací. Je to patrně zachycení některých z oscilací, vznikajících při přeskoku. Toto vracení se, tento labilní stav, ve kterém jsou možny oba druhy výboje, je zachycen na obr. 5. Je tu zachycena ona fáze výboje, ve které normální výboj, s počátku o malé intensitě, se zesiluje, hustota proudová roste, až následkem změny tlaku v iontové trubici se výboj normální změnil na anomální. Přeskoky, několikrát se opakující, jsou tak rychlé, že nejsou

prostým okem ani pozorovatelný. Podle odhadu rychlosti brání snímků (ca 200 snímků/vteř.) a podle počtu snímků, na nichž je vždy přeskok zaznamenán, — ca 3 — možno odhadnouti rychlost přeskoků na ca 1/60 až 1/70 vteřiny. Opakuje-li se přeskok několikrát, jeví se prostému oku někdy jen jako neklidný výboj. Tento



Obr. 5.

neklid trvá však jen zcela krátce, neboť anomální výboj se konečně ve své formě ustálí.

Experimentální důkaz, kinematograficky takto provedený, o přeskokování výboje nebyl dosud znám ani pro trubici Paschenovu. Původ tohoto přeskokování — tohoto labilního stavu — si můžeme podle Schülera<sup>10)</sup> vysvětliti tím, že doutnavé výboje v plynech pokud možno čistých mají snahu ustáliti se na zcela určitých hodnotách potenciálových, a že mezihodnoty jsou labilní.

Vzhledem k veliké rychlosti přijímací a s tím spojené velké spotřebě filmu jsme zachytili přeskoky pouze několikrát. Z toho

<sup>10)</sup> Phys. Zts. 22, 264, 1921, Phys. Zts. 24, 259, 1923.