

Vilém Santholzer

Zviditelnění drah β -paprsků radia D; doběh těchto paprsků a počet iontů na 1 cm dráhy

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 56 (1927), No. 2, 90--105

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122728>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1927

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>

Zviditelnění drah β -paprsků radia D ; doběh těchto paprsků a počet iontů na 1 cm dráhy.

Vilém Santholzer.

Jest známo, že α -paprsky mají určitý doběh, závislý na jejich počáteční rychlosti a druhu hmoty, kterou procházejí. *N. Bohr*¹⁾ poukázal teoreticky co jeden z prvních na to, že také u rychle pohybujících se elektronů, tedy katodových čili β -paprsků, nutno očekávati podobné doběhy.

β -paprsky ztrácejí svoji rychlost při průchodu hmotou srážkami s atomy po př. molekulami, při čemž jejich energie ubývá znenáhla až na nulu. Musí tedy i β -paprsky tvořiti definovaný doběh.. Dráha β -paprsku není ovšem přímočarou jako dráha α -paprsku. β -paprsky mění vlivem své nepatrné hmoty stále svůj směr, čímž jich dráha nabývá tvaru křivky více méně prostorové. K určení doběhu jest nutna znalost délky této skutečné dráhy.

Wilsonova metoda poskytuje možnost zviditelnění drah β -paprsků. Vyměřením těchto zviditelněných drah možno pak stanoviti jednotlivé doběhy. C. T. R. Wilson²⁾ provedl ve svých posledních pracích taková vyměřování doběhů a sice při β -paprscích vytvořených absorpcí paprsků Röntgenových v plynech. Tak vytvořené fotoelektrony mají však jednu nevýhodu. *Jich počáteční rychlosti nejsou totiž zcela přesně známy, nutno je odhadovati, čímž se přiřazení určitého doběhu k určité definované počáteční rychlosti stává nejistým.*

Jest proto zajímavým úkolem stanoviti doběhy β -paprsků o přesně známé počáteční rychlosti, nikoliv doběhy fotoelektronů. Velmi vhodné k tomu jsou β -paprsky radia D , jichž rychlosti jsou přesně známy z magnetických spekter. Z hlavní skupiny β -paprsků radia D mají rychlosti okrouhle mezi 34—39% rychlosti světelné. První skupina o menší rychlosti je při tom intenzivnější než druhá.³⁾ Možno se pak předem domnívati, že β -paprsky takových rychlostí mají jen zcela nepatrné doběhy ve vzduchu za normálního tlaku. Bylo proto nutno prováděti Wilsonovy fotografie za podtlaku, pokusný to obrat, kterého Wilson sám použil.

Pokusné zařízení.

Princip Wilsonovy mlžné metody spočívá jak známo v tom, že paprskem v plynu vytvořené ionty slouží za konden-

sační jádra přesycené vodní páře. Přesycená vodní pára jest při tom vytvořena z páry nasycené adiabatickým roztažením vlhkého vzduchu. Vlhký vzduch jest neprodyšně uzavřen v t. zv. mlžné komoře, zvané též komorou Wilsonovou. Preparát obsahující *RaD* musel při tom býti umístěn přímo v mlžné komoře a aparatura zařízena tak, že tlak v mlžné komoře před expansí byl libovolně měnitelný. Pokusné zařízení, které v podstatě bylo vybudováno tak, jako zařízení L. Meitnerové a K. Freitaga,⁴⁾ možno spatřiti na obr. 1. Jakožto podstatné součásti dlužno rozlišovati:

1. mlžnou komoru (*N*), která vodní vývěvou jest přes bání (*P*) evakuována na žádaný tlak;

2. elektromagnetický ventil, který zapnutím elektrického proudu způsobil expansi. Ventil otevřel totiž spojení k velké, olejovou vývěvou evakuované, skleněné bání. V obr. 1. jest ventil označen písmenou *V*;

3. obloková lampa o velké světelnosti, která prudkým stranovým osvětlením učinila mlžné dráhy znatelnými;

4. fotografická stereokomora ku fotografování mlžných drah.

Princip mlžné komory možno vyčísti z obr. 1. Mlžná komora byla tvořena skleněným prstenem *A*₁, který byl nahore pokryt a uzavřen zrcadlovou skleněnou deskou *S*. Prstenec *A*₁ měl průměr 12,5 *cm* a byl ke skleněné desce *S* přitmelěn vakuovým bílým pečecním voskem. Prstenec *A*₁ byl 3 *cm* vysoký, což tedy zároveň představuje výšku mlžné komory. Přečnávající okraj mosazného válce, v němž klouzal pohyblivý píst, byl snímatelný a obsahoval kruhový, 3 *mm* hluboký žlábek. Do tohoto žlábků byl zatmelěn černým vakuovým voskem (piceinem) skleněný prstenec *A*₁. Stmelení mlžné komory bylo prováděno prakticky tak, že všechny její skleněné i kovové součásti byly nejprve v asbestové plynové peci ohřáty opatrně na 80 stupňů *C* a pak teprve slepovány dohromady. Snímatelný okraj mosazného válce byl pečlivě rovinně vybroušený; byv namazán patřičně hustým mazadlem, mohl tedy neprodyšně dosednouti. Ve své poloze byl přidržován ještě čtyřmi šrouby. Mlžná komora byla tedy zcela lehko snímatelná, důležitý to konstruktivní obrat pro snadné obnovování vlhkých želatinových vrstev. Mosazný válec byl 10 *cm* vysoký a měl vnitřní průměr 11,5 *cm*. V něm klouzal neprodyšně píst (*K*). Mlžná komora musela při pokusech zůstat zcela vzduchotěsnou, byloť pracováno s podtlakem a také i jinak z netěsnosti mlžné komory vznikající vzdušné víry byly by dráhy paprsků silně zdeformovaly. Z podobných důvodů (tvoření se vzdušných vírů) bylo před ústí skleněné rourky (*E*) upevněno jakési plechové chránitko, čímž vzduch z rourky do mlžné komory při každé expansi vyletující byl sveden podle okrajů; tak bylo docíleno praktické potlačení vírů. Pohyblivý píst (*K*) tvořil současně dno mlžné komory. Při expansi pohyboval se píst z určité počáteční polohy prudce dolů, až narazil na 8 *mm* silný gumový

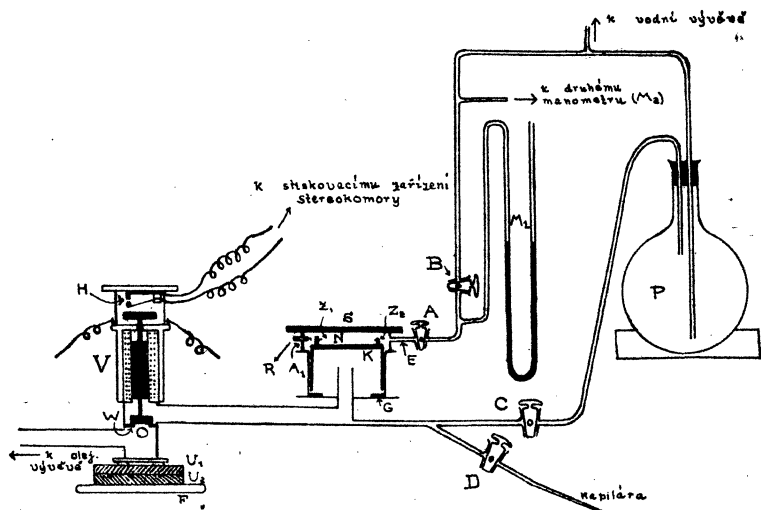
prsten (G). Rychlý pohyb pístu dolů byl dosažen stržením vakuem, t. j. elektromagnetickým otevřením ventilu. Ventil jest podobné konstrukce, jak byla popsána v práci L. Meitnerové a K. Freitagova.⁴⁾ Při mých pokusech muselo však pohyblivé magnetické jádro co nejpřesněji zapadati do ventilového otvoru (pohyblivé jádro ventilu jest na obr. 1. vyplněno černě), aby byla docílena oboustranná vzduchotěsnost ventilu, což při práci s podtlaky musí býti pochopitelně splněno. Za tím účelem bylo pohyblivé jádro pečlivě broušeno a mazáno, tvoříc se svým obalem obdobu strojového pístu. Při funkci ventilu byl otvor (O) v rozdělovací stěně (W) otevřen a tak prostor pod pístem náhle spojen s vakuem. Právě tak jako v citované práci spočíval ventil na dvou silných olověných deskách (U_1U_2) a na podložce pístové (P). Tím bylo docíleno tlumení ořesů.

V skleněném prstenu mlžné komory byly vyvrtány dva otvory o průměru 8 mm. V jednom byl upevněn kohout (A), který byl spojen se dvěma rtuťovými sloupcovými manometry a s vodní vývěvou; do druhého otvoru byla zatmelena 3 cm dlouhá mosazná rourka, kterou byl do mlžné komory pomocí zvláštních klíčků zasunut radioaktivní preparát. Na pohyblivém pístu byl připojen ještě aluminiový úzký hranol (na obr. 1. jest vidět v průřezu co výstupek na pístu K před preparátem R), jakési to stínítko 46 cm široké, 18 cm vysoké a 0.1 cm silné. Toto kolmo postavené stínítko pohybovalo se s pístem před preparátem nahoru a dolů, při čemž jeho výška byla tak zvolena, aby byl preparát odkryt teprve na konci expanse; t. j. v okamžiku, kdy byl píst v poloze nejnižší. Výška stínítka byla volena tak, že na konci expanse stál preparát 2 mm vysoko nad horní stranou stínítka. Tímto důležitým zařízením byl zjednan vstup paprsků do mlžné komory při určité definovaném konečném tlaku, jehož znalost byla pro určení dobýchů nezbytně nutná.

Dvě želatinové vrstvy udržovaly obvyklým způsobem vlhkost vzduchu v mlžné komoře. Vrstva průsvitná byla rozložena na horní skleněné desce (S), již bylo fotografováno; druhá vrstva byla začerněna černým barvivem »nigrosinem« a nalita na horní plochu pohyblivého pístu K. Ta tvořila černé pozadí pro bělavé mlžné dráhy paprsků. Horní vrstva želatinová dotýkala se svým okrajem poniklovaného měděného prstence spojeného se záporným pólem akumulátorové baterie. Dolní vrstva byla spojena s pólem kladným, obě vrstvy byly obvyklým způsobem učiněny vodivými a sterilními. Používané napětí kolísalo mezi 20—3 volty pro cm.

Pro osvětlení mlžné komory byla použita tatáž Goerzova zrcadlová reflektorová obloukovka, kteráž byla popsána v práci L. Meitnerové a K. Freitagova.⁴⁾ Totéž platí o stereokomoře, která byla skladována malým elektromagnetem. Když byl ventil úplně otevřen, expanse tedy dokončena, pak uzavřely kontakty (H) proudokruh obsahující elektromagnet u stereokomory. Stereokomora byla upevněna na trámci zapuštěném do stěn laboratoře a tak zba-

vena vlivu ořesů. Obloukovka byla postavena v plechové skříni. Mlýnská komora byla jen po zcela krátkou dobu úzkou štěrbinou ve stěně této skříni osvětlována. Štěrba byla totiž pokryta kusem lepenky, který byl při expansi prostě rukou sejmuto. Při delším osvětlení tvořila by se »obecná mlha« účinkem oteplení. Při nalévání želatiny bylo nutno co nejpečlivěji chrániti želatinu před zaprášením; každý, byť sebe menší prášek, jevil se při prudkém postranním osvětlení (50.000 svíček) co ztelná bílá skvrna na získaném snímku. Otvory clonek byly 1:4,5 ($f = 12,5$ cm), t. j. největší možné otvory při použitých »Dogmar« objektivích.



Obr. 1.

Doba expozice byla $\frac{1}{10}$ vteř. Jakožto druh desky byly použity Agfa Röntgen Platten, které byly vyvolávány vývojkou glycinovou. Úhrnný počet při této práci provedených snímků jest 600. Z toho bylo provedeno 200 snímků ještě při tlaku normálním s preparátem obsahujícím thorium B+C. Tyto počáteční snímky budou zmíněny dodatečně v poslední kapitole této práce. — Pokusná práce s β -paprsky vyžaduje vzhledem k subtilnosti drah β -paprsků co nepřesnější funkci aparatury.

Stanovení konečného a začátečního tlaku v mlýnské komoře.

Při jednotlivých expansích byl pohyblivý píst (K) vytlačěn vzdušným přetlakem do správné výšky. Když totiž kohouty A, B, C byly otevřeny (viz obr. 1), avšak kohout D uzavřen, byla vodní vý-

věvou evakuována nejen mlžná komora, avšak i prostor pod pístem. Ventil byl při tom vnějším vzdušným přetlakem udržován uzavřený. Když byla mlžná komora evakuována na žádaný podtlak, byl kohout *A* uzavřen, takže jediné prostor pod pístem byl dále od stále při pokusech běžící vodní vývěvy vypumpován. Když byl nyní kohout *D* otevřen, proudil pod píst vnější vzduch kapilárou, čímž byl píst pomalu vytlačován nahoru. (Nárazníková baň *P* sloužila při tom k velmi pomalému vyrovnávání.) Postavení pístu bylo určováno a kontrolováno dvěma ukazateli (Z_1, Z_2 na obr. 1). Tyto ukazatele byly upevněny na povrchu pohyblivého pístu a bylo přes ně visírováno proti milimetrové stupnici, upevněné na skleněném prstenu. Když bylo přesně postavení pístu dosaženo, byly kohouty *D* a *C* uzavřeny — nejprve *D* a pak *C*. Nyní byl otevřen ventil zapnutím proudu a tak způsobena expanse. Abychom obdrželi správný »poměr expanse«, musíme si počínati takto: nejprve se píst vzdvihne o malou výšku z nejnižší polohy (3—4 mm) a expanduje se ustavičně při této výšce pístu, která zůstává tedy nezměněna, až jest mlžná komora úplně zbavena »obecné mlhy«. Teprve potom posunuje se píst po malých částech nahoru (nejprve po milimetrech a když se ukáží první stopy mlžných drah, pak již jen po částech milimetru) až dosáhneme patřičné výšky pístu. Pak se expanduje stále při této výšce pístu čili při stálém poměru expansivním. Doporučuje se čekati 1—2 min. mezi po sobě následujícími expansemi.

Jest důležité tuto patřičnou výšku co nejpřesněji dodržovati, protože při velmi nepatrné její změně (jejím zvětšení) naplní se celá mlžná komora obecnou mlhou.

Při stanovení počátečního a konečného tlaku nutno si počínati takto. (Obr. 1.) Byla-li mlžná komora evakuována při nejnižší poloze pístu, pak ukazoval manometr M_1 konečný tlak za předpokladu, že kohout *B* a kohout *A* byly otevřeny. Kohouty *C* a *D* musejí při tom zůstati uzavřeny, ventil však otevřen, aby píst byl udržován v nejnižší a konci expanse odpovídající poloze pístu. Když potom byl píst při otevřeném kohoutu *A* vysunut do napřed známé a nejjasnějšímu zviditelnění drah záření odpovídající výšky, pak ukazoval manometr M_1 tlak počáteční. Při tom musely nejen kohouty *B, C, D*, avšak i ventil zůstati otevřeny.

Konečný a počáteční tlak byl před každým snímkem i po každém snímku kontrolován a současným odečtením dotyčného stavu barometru doplněn. S popsanou aparaturou bylo možno prováděti snímky β -paprsků až do tlaku 10 cm Hg a snímky α -paprsků až do tlaku 8 cm Hg.

Zdroj záření.

Jakožto definitivní zdroj záření byl použit — jak již bylo zmíněno — *Rad* preparát. Protože β -paprsky při svém průchodu vzduchem se velmi silně a nepravidelně od původního směru odchyľují, musely jednotlivé snímky obsahovati jenom několik málo drah β -pa-

prsků. Jenom tak bylo možno s jistotou jednotlivé dráhy na snímcích sledovati. Bylo nutno voliti tedy preparáty slabé a pokud možná polonia prosté, aby α -paprsky poloniem vysílané nerušily. Takový vhodný preparát byl získán expozicí krátkého platinového drátku v radiové emanaci. Platinový drátek měl ve předu rozšíření podobné hlavici hřebíčku a byl při negativním náboji ponechán v emanaci po několik dní. Z nashromážděných množství $RaB + C$, z délky doby expozice a z poločasu RaD (25 let) možno vytvořené množství RaD vypočísti. Tak na př. pro snímky při nejnižších tlacích (10·8 cm Hg) byl použit RaD preparát, který byl získán expozicí 42 hodin dlouhou a který svojí aktivitou odpovídal množství RaD , kteréž jest se $4\cdot7 \cdot 10^{-5}$ mg Ra v rovnováze. Při tom bylo množství polonia prakticky rovno nule; množství RaE obnášelo při fotografování průměrně 22%.

Protože však β -paprsky RaE mají mnohem větší rychlosti než β -paprsky RaD , byly jich doběhy při upotřebení tlacích větší než průměr mlžné komory a tak jejich dráhy ihned od drah β -paprsků RaD rozlišitelné. Pro kontrolu získaného výsledku byly provedeny snímky také s jiným ještě RaD preparátem, v němž RaE bylo v rovnováze. Výsledky byly tytéž.

Pokusy byly prováděny tak, že aktivní usazenina na platinovém drátku nahromaděná po odstranění z emanace byla plamenem vyžihána a po devět hodin ponechána bez upotřebení. Za devět hodin rozpadlo se totiž $RaB + C$ na méně než jednu miliontinu původní své aktivity. UVážíme-li, že snímky jedné serie vyžadovaly 4 hodiny času, bylo tedy průměrně během této doby fotografování ono množství $RaB + C$ přítomno, kteréž odpovídá jedné miliardě ($1 : 10^9$) původního množství $RaB + C$. Množství RaD za 42 hodin expozice nashromážděné bylo však na počátku fotografování okrouhle stokrát větší a po polovině času k fotografování potřebného již tisíckrát větší než přítomné množství $RaB + C$.

Praktická nepřítomnost polonia byla dokázána nepřítomností α -paprsků. Na jednom snímku obnášel počet β -paprsků nanejvýše 8, naproti tomu vyskytovaly se však také snímky, na kterých vlivem přirozeného kolísání se vůbec žádné paprsky neukázaly. První serie (I—VI) byly provedeny s preparátem, v němž RaD a RaE bylo v rovnováze. Při těchto seriích jsou na každém snímku přítomny 1—2 dráhy α -paprsků polonia, takže také zde jenom velmi zřídka byly dráhy β -paprsků drahami α -paprsků překrývány. Z jednotlivých serií získané měřicí výsledky ukazují dobrou shodu. Po každých pěti snímcích byl zdroj záření s vnější strany ohříván, čímž byla zabráněna kondensace vodní páry na drátku samotném.

První zdařilá serie 10 snímků β -paprsků RaD byla provedena při konečném tlaku 21 cm Hg. Počáteční tlak byl při tom 27·5 cm Hg. Při této serii bylo použito napětí 20 volt pro cm, avšak při dalších

seriích bylo toto napětí sníženo až na 3 volty procentimetr. (Při každé serii budou všechny potřebné údaje ještě zvláště zmíněny.)

Výška preparátu nad aluminiovým stínítkem obnášela nanejvýše 2 mm při nejnižší poloze pístu. (Přesněji byla tato výška mezi 1—2 mm.) Při každé expansi snížil se píst o 10 mm, mohly tedy β -paprsky vletnouti do mlžné komory ještě tehdy, když píst byl 1—2 mm vzdálen od polohy nejnižší. Byl tedy tlak pro tyto paprsky vyšší, než konečný tlak v mlžné komoře. Z udaných čísel možno vypočísti, že při konečném tlaku 21 cm Hg činila maximální chyba v údajích tlaku 6%. Doběh jest nepřímou měrným tlaku; byl proto také doběh uvedeným zvýšením tlaku o 6% zkrácen. Nemá vůbec smyslu tuto poměrně malou chybu zde korigovati. Jiné chyby, zvláště chyby vznikající projekcí prostorově zakřivených drah β -paprsků do roviny horizontální mohou, jak uvidíme, mnohem více intervenovati.

Abychom se vyvarovali těchto chyb projekcí vzniklých, byly β -paprsky fotografovány pouze stereoskopicky. Získané desky byly v polovici rozříznuty a zaměněné poloviny desek zkoumány ve stereoskopu. Pouze ty paprsky, které probíhaly přibližně rovinně, byly použity k vyměřování. Ostatní příliš prostorové paprsky byly vyřaděny a pro vyměřování neupotřebeny. Tato kontrola desek byla ještě jednou přezkoušena (nezávisle) od slečny profesorky Meitnerové a doktora Philippa. O všech deskách byl tedy veden trojitý a navzájem nezávislý protokol. Jen ty desky, které ve všech třech protokolech byly uznány za bezvadné, byly pro výsledky této práce použity. Právě tak obšírně byla zkoumána otázka po skutečném původu drah β -paprsků na deskách přicházejících. Bylo by totiž možné, že měkkými γ -paprsky *rad* ve vzdůchu neb ve stěně mlžné komory vyražené fotoelektrony by byly pokládány za β -paprsky z radia *D*. Stereoskopickou prohlídkou materiálů bylo možno lehko rozhodnouti otázku po skutečném původu β -paprsků. Ku vyměřování byly použity jen ty paprsky, které zcela jistě vycházely z drátku preparát obsahujícího.

Řádovou velikost zkrácení, které se vyskytuje při poměrně rovinně probíhající β -paprsku lze oceniti z faktu, že pod úhlem 30 stupňů šikmo probíhající β -paprsek podržuje v projekci ještě 90% své skutečné délky. K ocenění chyby projekcí vzniklé můžeme mimo to použiti hloubkové zobrazovací schopnosti objektivů stereoskopu. Vzdálenost objektivů od mlžné komory byla 38 cm; při tom byla hloubková zobrazovací schopnost sice malá (byla použita největší clonka), avšak přece ještě dostačující. Fotografováním skloněného a do výšky preparátu položeného měřítka bylo fotograficky zjištěno, že hloubková zobrazovací schopnost jest 1 cm. To znamená: vyběhá-li β -paprsek více než 1 cm ze střední roviny, na níž byly objektivy zaostřeny a která jest rovnoběžná s deskou fotografickou, musí

se na dráze-paprsků objevovati místa neostrá. Taková neostrá, avšak přece ještě rozeznatelná místa na dráhách paprsků byla na mnohých snímcích vskutku zjištěna. K vyměřování byly však použity ty dráhy, které byly ostré po celé své délce. Nakreslíme-li si tedy zidealisované dráhy β -paprsků, odpovídající svým průmětem do horizontální roviny nejčastějšímu doběhu (4 cm při tlaku 20 cm Hg) můžeme chybu projekcí drah do roviny horizontální vzniklou poněkud oceniti. Jako takovou zidealisovanou dráhu můžeme si na př. mysliti dráhu jednou neb dvakrát zlomenou a probíhající pouze v rovině vertikální. Rozdíl nejnižšího a nejvyššího místa dráhy musí býti podle toho, co bylo o hloubkové zobrazovací



Obr. 2.

schopnosti objektivů řečeno, 1 cm. Tak na př. při dráze dvakrát zlomené činí rozdíl doběhu změřeného a doběhu skutečného 40%. Přidáme-li tedy k hodnotám vskutku naměřeným 40%, dostaneme hodnoty, které již nemohou býti žádným způsobem menší než skutečné střední doběhy. Musíme totiž uvážit, že dvojitý zlom u dráhy krátkých β -paprsků se prakticky nikdy na provedených snímcích nevyskytnul; mimo to byly, jak již řečeno, jen ty dráhy k vyměřování použity, které probíhaly takřka rovinně.

Vyměřování drah označených co »upotřebitelné« bylo prováděno v projekci skioptikonem při čtyřnásobném zvětšení. Tak byla docílena přesnost vyměřování i malá relativní chyba. Bylo ovšem nutno proměřiti dráhu podél všech zakřivenin a oblouků, včetně eventuelní odvětvení. Prakticky to bylo prováděno tak, že kružidlem a pravítkem byla na projekčním stínítku rozdělena každá dráha na malé dílce a tyto přesně proměřeny.

Výsledky pokusů.

1. Pokusy orientační s poloniem (radiem F).

Aby byly co nejpřesněji stanoveny pokusné podmínky pro práci s podtlaky, byly před snímky s RaD preparátem prováděny snímky s poloniem.

Tak na obr. 2. jsou dráhy α -paprsků polonía při 12 cm rtuti. Šipkou jest označen náhlý zlom («Knick») dráhy. Tyto zlomy povstávají u α - i β -paprsků podle Rutherfordovy teorie tím, že se α - nebo β -částice ocitla v těsné blízkosti atomového jádra. Povlovné, jakoby spojité zakřivování drah β -paprsků jest účinek »srážek« s elektrony. Na obr. 3. jest silně zvětšená dráha α -paprsků RaC. Snímek ten byl zhotoven tak, že dvě hodiny před započítím fotografování vlastní serie byly zhotoveny snímky zkušební. V této době obsahoval totiž preparát ještě hojně radia C, které se musilo projevit α -paprsky,



Obr. 3.

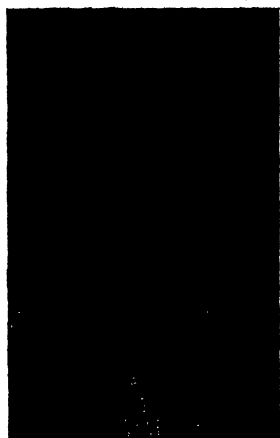
Protože tlak v mlžné komoře byl nepatrný (8 cm) mohly se dobře vytvořiti tak zv. δ -paprsky. Jeden takový, zvláště dlouhý δ -paprsek, jest na obr. 3. označen šipkou. Na obrázku jsou mimo to dobře viděti i kratší dráhy δ -paprsků, tvořící větvičky stranou vystupující z dráhy mateřského α -paprsku. Počáteční směr rychlosti těchto drah δ -paprsků jest ve shodě s pozorováními C. T. R. Wilsona kolmý na směr pohybu mateřského α -paprsku. Vznik δ -paprsků jest vysvětlován tím, že v mnohých případech z atomů při ionisaci vymrštěvané elektrony dostávají tolik energie, že mohou sami ionisovati a vytvořiti tak značnou mlžnou dráhu. Jinak řečeno: atom byl ionisován s energií, která mnohonásobně převyšovala ionizační potenciál. Přebytek energie vytvořil tak z dotčeného elektronu β -částici o malé rychlosti. Na koncích těchto krátkých drah δ -paprsků na obr. 3. možno pozorovati silná zhuštění mlhových kapiček, projevující se většími bílými skvrnami. To pochází z toho, že korpuskulární paprsek vytvoří pro cm tím více iontů, čím menší jest jeho rychlost. Nejvíce tedy na konci dráhy.

2. Pokusy s radiem D.

a) Popis jednotlivých snímků.

Na obr. 4. a 6. možno viděti charakteristické dráhy β -částic o malé rychlosti. Na konci β -paprsku na obr. 4. a 6. jest viděti charakteristické nakupení mlhových kapiček.

Avšak i na jiných místech než na konci dráhy možno pozorovati více méně velké kapičky, které se liší svojí extrémní velikostí od kapiček malých. Tyto velké mlhové kapičky pocházejí od sekun-



Obr. 4.



Obr. 5.

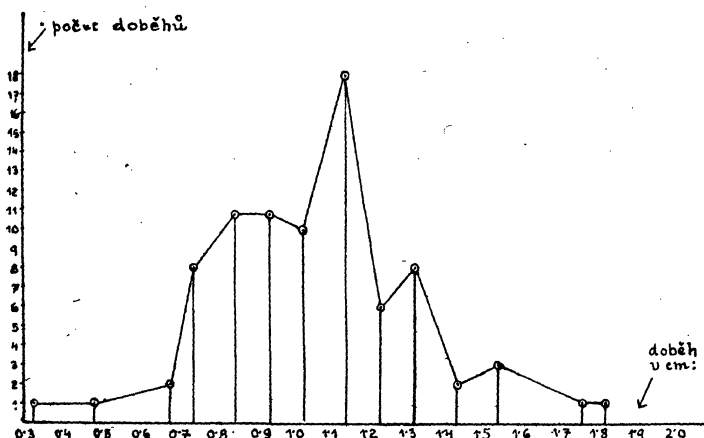
dárních elektronů, jimž byla při ionisaci mateřskou β -částicí udělena tak velká energie, že sami mohly dále ionisovati. Na obr. 6. možno spatřiti dokonce sekundární β -paprsek, který vytvořil zcela



Obr. 6.

zřetelné odvětvení. Počátek větvičky jest označen šipkou. Velké mlhové kapky a odvětvení odpovídají podle Thomson-Bohrovy představy tak zv. sekundární ionisaci. Názvem »primární

ionisace« označuje se úhrnný počet iontů původním β -paprskem vytvořených. Doběhy β -paprsků na obr. 4. a 6. odpovídají ve skutečnosti ca. 1 cm, přepočteno na normální tlak a teplotu laboratoře. Jest totiž doběh β - i α -paprsků nepřímo úměrný tlaku; protože pak byly v mízné komoře používány tlaky nižší než normální, byly tak doběhy paprsků uměle prodlouženy. Na obr. 5. jest část dráhy β -paprsku RaE . Snímek tento jest fotograficky stejně zvětšen jako obr. 4. a 6. Všechny tyto tři snímky byly provedeny za stejného tlaku. Z obr. 5. vyplývá poučně, jak bylo možno lehkó rozeznati



Obr. 7.

β -paprsky RaE od β -paprsků RaD . Paprsky RaE vytvořují pro svoji velikou rychlost pro cm mnohem méně iontů než β -paprsky RaD . To je viděti též ze snímku, kdež se iony jeví co zřetelně od sebe oddělené bílé tečky.

Celkem bylo zhotoveno 8 serií snímků β -paprsků RaD . Serie 1—6 byly zhotoveny za tlaku 20 cm Hg, serie 7—8 za tlaku 10 cm Hg. Tyto poslední dvě serie obsahují 120 snímků a měřicí výsledky z nich získané shodují se úplně s výsledky serií prvních. S RaD pro parátém bylo v celku zhotoveno 350 snímků.

b) Rozdělovací křivka doběhů.

Na obr. 7. jest znázorněna graficky křivka doběhů. Jest to tak zv. rozdělovací křivka doběhů (Verteilungskurve der Reichweiten). Jako úsečka byly nanášeny změřené délky drah, jako pořadnice počet dotyčných délek (výskyt toho kterého doběhu). Při tom byly délky drah seskupovány. Ty dráhy, které se od sebe lišily nanejvýše o 1 mm, byly pojaty do jedné skupiny, ke kteréž skupině co úsečka byla nanášena střední délka doběhů ze všech doběhů do jedné skupiny pojatých. To možno pozorovati také na číselné tabulce.

Přes to však, že bylo zhotoveno tolik snímků, bylo možno jen 83 drah paprsků použítí pro narýsování rozdělovací křivky doběhů. Jen těchto 83 drah bylo pro úplnou bezvadnost a přibližnou rovinnost použito k vyměřování. Také ty dráhy, které z preparátu probíhaly dozadu do prostoru za stínítko, tedy postranním směrem z preparátu, nebyly do křivky pojaty.

Preparát byl totiž na stranách volný, stínítko bylo před preparátem; mohly tedy tyto stranou probíhající paprsky vylétnouti při tlaku, jehož velikost byla mezi tlakem počátečním a konečným. Nebylo možno přesně rozhodnouti, při kterém tlaku se tyto paprsky vytvořily. Doběhy na 76 cm přepočtené jsou seskupeny v této tabulce:

Délky drah v cm	střední hodnota	počet
0·33	0·33	1
0·49	0·49	1
0·69, 0·69,	0·69	2
0·72, 0·72, 0·73, 0·74, 0·76, 0·76, 0·77, 0·78	0·75	8
0·80, 0·80, 0·83, 0·86, 0·87, 0·87, 0·87, 0·88, 0·88, 0·88, 0·89	0·86	11
0·90, 0·90, 0·91, 0·93, 0·94, 0·95, 0·96, 0·97, 0·97 0·97, 0·99	0·95	11
1·00, 1·00, 1·00, 1·02, 1·03, 1·05, 1·06, 1·06, 1·07, 1·07	1·04	10
1·10, 1·10, 1·11, 1·11, 1·11, 1·14, 1·15, 1·15, 1·15	1·15	18
1·16, 1·16, 1·17, 1·18, 1·18, 1·18, 1·19, 1·19, 1·19 1·20, 1·23, 1·24, 1·25, 1·25, 1·27	1·24	6
1·31, 1·32, 1·32, 1·32, 1·33, 1·35, 1·35, 1·35	1·33	8
1·44, 1·44,	1·44	2
1·52, 1·55, 1·58	1·55	3
1·77	1·77	1
1·83	1·83	1

Nejdelší doběhy jsou 1·77 a 1·83, přicházejí však jen jednou. Jako úsečka byla tedy nanášena střední hodnota z tabulky a jako pořadnice příslušný počet doběhů. Takto získaná křivka opravňuje tento úsudek: *při β -paprscích RaD jsou velmi pravděpodobně dva zřetelné druhy doběhů, které odpovídají oněm nejintenzivnějším dvěma skupinám z magnetického spektra. Z křivky vyplývá, že tyto dva nejčastější střední doběhy jsou 0·86 a 1·2 cm za normálních poměrů.*

Podle předchozího nutno tyto naměřené střední doběhy zvýšiti nanejvýše o 40%, aby byl přehnaně respektován prostorový průběh β -paprsků. Tak bychom pro nejčastější doběhy dostaly hodnoty 1·2 a 1·7 cm. Z magnetického spektra β -paprsků RaD jest známo, že příslušné rychlosti jsou 31.200 a 43.100 volt. Mají tedy β -paprsky těchto rychlostí doběhy 1·2 a 1·7 cm. Jest přirozené, že tyto hodnoty při stále ještě malém počtu vyměřených drah nemohou být naprosto

dokonalé, avšak jich chyba v obou směrech nemůže jistě býti 50%.

Tak stanovené doběhy jsou však značně menší než jak bychom podle výsledků C. T. R. Wilsona očekávali. Podle Wilsona má β -paprsek o 21.000 voltech tvořiti 1 cm dlouhý doběh. Podle Wilsona má býti doběh R spojen s energií E β -paprsku (ve voltech) touto formulí:²⁾

$$\sqrt{R} = \frac{E \text{ (ve voltech)}}{21000}.$$

Obě skupiny β -paprsků RaD musily by tedy podle Wilsona míti doběhy $\left(\frac{31\ 200}{21\ 000}\right)^2$ a $\left(\frac{43\ 100}{21\ 000}\right)^2$, což činí 2·2 a 4·2 cm. *Touto prací nalezené hodnoty doběhů u RaD jsou tedy s hodnotami podle Wilsona vypočtenými nesrovnatelné.* Největší vůbec pozorovaná délka dráhy byla 1·83 cm a tato vyskytla se pouze jednou mezi 83 drahami. Budiž podotčeno, že mnou nalezené hodnoty odpovídají *přibližně hodnotám z Bohrovy teorie průchodu elektronů hmotou vypočtených*, zatím co hodnoty Wilsonovy teorii Bohrově odporují. *Hodnoty Wilsonovy jsou značně větší, než bychom z teorie Bohrovy očekávali.* V teorii Bohrově¹⁾ počítá se ztráta energie β -částice při srážce s elektronem z představ ryze klasických. Projde-li β -částice vrstvou hmoty o síle x , podle Bohrovy teorie klesne při tom její rychlost z původní hodnoty V_0 na hodnotu V . Při tom jest dráha x spojena s rychlostí V_0 a V touto rovnicí:

$$x = \frac{V_0^4 - V^4}{3nK_1} \frac{1}{z_0 - z} \int_z^{z_0} \frac{dz}{\log z},$$

kde n značí počet elektronů v atomu; K_1 jest tato konstanta:

$$K_1 = \frac{4\pi e^4 N}{m^2};$$

zde značí e elektrické elementární kvantum, m hmotu elektronu a N počet atomů v 1 cm^3 ; z značí pak výraz:

$$\log z = \frac{4}{3} \left(\log V^3 - \frac{1}{n} \sum \log \nu + K_2 \right);$$

zde jest K_2 konstanta

$$K_2 = \log \left(\frac{km^2}{4\pi e^2 m^2} \right),$$

k značí numerickou konstantu 1·123. Z pokusně dobře ověřené této teorie pro α -paprsky plyne pro poslední neznámou veličinu ve výrazu pro x :

$$\frac{1}{n} \sum \log \nu = 38, 32.$$

Pro numerický výpočet budiž předpokládáno, že V jest 1% V_0 . V_0 nechť odpovídá střední rychlosti 37% rychlosti světelné z obou rychlostí silným liniím z β -spektra radia D odpovídajících. Je pochopitelné, že x pak značí prakticky vlastně celý doběh β -paprsku; přibližně pro ně vychází hodnota 1 cm. (Ve všech vzorcích tohoto odstavce jsou míněny logaritmy přirozené.)

3. Vyčíslení iontů.

Pro vyčíslení iontů bylo použito jen 7 nejlepších desek. Ionty byly vyčísleny jen v neostřejších oborech drahou 6krát a 8krát zvětšující. Vyčíslení bylo mimo to provedeno ještě v projekci skioptikonem a přezkoušeno slečnou profesorkou Meitnerovou a Dr. Philippem. Projekční zvětšení bylo při tom 455, vztahováno k velikosti reální. Bylo také zkoušeno vyčíslení iontů pod mikroskopem při zvětšení dvacatero až třicateronásobném. Vyčíslování lupou a projekcí shledáno však praktičtějším. Pod mikroskopem bylo totiž znatelné již zrno desky, což rušilo. Bylo vyčíslováno v různých oborech. Malý počet vyčíslovaných drah nedostačuje samozřejmě k tomu, aby byla diskutována souvislost polohy vyčísleného oboru a dotyčného počtu iontů. Při mnohých mlhových kapkách bylo stále ještě naprosto bezvadné rozdělení iontů nemožné, protože při snímcích použitý tlak (10·8 cm Hg) ukázal se pro roztažení iontů stále ještě příliš vysokým. Aby také silné elektrické pole pár iontů od sebe neroztahovalo, bylo při dotyčných seriích napětí sníženo na 3 volty pro cm.

β -paprsky pro vyčíslení použité měly doběhy 1·07—1·44 cm. Výsledky vyčíslení iontů jsou sestaveny v této tabulce:

Doběh v cm:	Délka vyčísleného oboru při tlaku 76 cm v cm:	Počet iontů pro cm:	Vzdálenost středu vyčís. oboru od konce dráhy při 76 cm v cm:
1·07	0·180	133	0·50
1·07	0·156	115	0·85
1·18	0·141	124	0·80
1·14	0·204	142	1·00
1·18	0·094	138	0·58
1·32	0·092	141	0·14
1·16	0·206	102	0·54

Z těchto čísel možno usuzovati, že při β -paprscích mezi 31.200 až 43.100 voltech jest počet iontů pro cm 142—102 ve vzdálenosti 0·14—1·00 cm od konce doběhu.

Dodatek.

Počáteční snímky drah β -paprsků aktivní usazeniny thoria při normálním tlaku.

Pro tyto snímky byl používán aktivovaný platinový drátek, na němž byl obvyklým způsobem usazen $ThB + C$. Aktivita drátku

byla velmi nepatrná, protože jen při slabém preparátu možno jednotlivé dráhy β -paprsků obdržeti zcela jasně. Při silném preparátu vyskytuje se již na jediném snímku tolik drah, že jsou od sebe těžko k rozeznání. Nepatrná aktivita byla realizována tím způsobem, že silně aktivovaným platinovým hřebíčkem (ten byl aktivován obvyklým způsobem nad preparátem radiothorovým) byl lehce dotčen platinový drátek neaktivní. Při těchto snímcích bylo používáno napětí 120—240 volt, t. j. 40—80 volt pro *cm*. Bylo výhodné právě tak jako při snímcích s *Rad* čekati 1—2 min. mezi jednotlivými snímky, až obecná mlha z mlžné komory úplně zmizela. Při práci s *ThB + C* byly získány snímky rychlých β -paprsků, jichž rychlost jest velmi blízka k rychlosti světelné. Takové dráhy jsou již zcela přímočaré a tvořeny jsou velmi řídkým sledem bílých teček (iontů). Při těchto snímcích uplatňovalo se však také tvrdé gama záření aktivní usazeniny thoria, které často vyráželo ze skleněných stěn mlžné komory fotoelektrony a ve vzduchu vybavovalo krátké dráhy elektronů Comptonových. (Wilsonovy »fish tracks«). Při vytvoření sekundární β -částice fotoefektem jest energie gama paprsku (= elementární kvantum \times frekvence) pohlcena v jednom jediném aktu a odevzdána elektronu. Energie fotoelektronu odevzdaná jest spojena rovnici Einsteinovou s energií či tvrdostí dotyčného gama paprsku:⁶⁾

$$h\nu = \frac{1}{2} mV^2 + A,$$

při tom značí *A* práci nutnou k vyražení elektronu z dotyčné elektronové hladiny. Rychlost *V* β -paprsku má býti s doběhem *R* přibližně spojena zákonem Whidingtonovým:⁷⁾

$$R = \text{const. } V^4.$$

P o z n á m k a. Při snímcích za normálního tlaku i podtlaku vyskytovaly se při této práci často *zřetelná rozvětvení* β -paprsků. (Sekundární elektrony, zvané též ve francouzských pojednáních elektrony terciární, někdy zvané také δ -paprsky od β -paprsků.) Tyto rozvětveniny jsou v této práci jen zcela krátce příležitostně zmíněny. Byly totiž již v roce 1923 fotograficky dokázány od W. Botheho.⁸⁾ Při mojí práci získaná rozvětvení vyznačují se však zvláštní ostrostí a délkou.

Shrnutí výsledků. (Résumé.)

1. Wilsonova aparatura ke zviditelnění drah β -paprsků byla modifikována tak, že bylo možno prováděti větší počet snímků β -paprsků za sebou při podtlaku. Ze snímků pak bylo možno vyměřovati jednotlivé doběhy β -paprsků. Vyměřování doběhů bylo prováděno ve velkém zvětšení skioptikómem na projekční vertikální stěně. V celku bylo provedeno 600 fotografických snímků, z toho 350 snímků β -paprsků *Rad*, ostatní byly snímky zkušební s *ThB + C* a poloniem.

2. Jakožto zdroj záření byl použit preparát obsahující *RaD*, prakticky prosté polonia.

3. Z 83 vyměřených drah β -paprsků *RaD* bylo možno určití rozdělení doběhů. Co střední doběh pro β -paprsky *RaD* (rychlosti mezi 31.200—43.100 volt) byl po připočtení patřičné korekce stanoven doběh 1·2—1·7 *cm*. Korekce se týkala prostorového průběhu drah. Doběhy byly přepočteny na normální tlak a vztahovány na teplotu laboratoře (20 stupňů C). Nalezené hodnoty doběhů souhlasí zcela dobře s teorií Bohrovou, jsou však značně menší než hodnoty z práce Wilsonovy pro dotyčné rychlosti vypočtené.

4. Na sedmi nejlepších deskách bylo provedeno vyčíslení iontů; bylo zjištěno, že ve vzdálenosti 0·14—1 *cm* od konce doběhu jest počet iontů 142—102 pro *cm*.

Tato práce byla provedena v ústavu Kaiser Wilhelm Institut für Chemie, Abt. Prof. Hahn-Prof. Meitner, v Berlíně-Dahlemu. Téma práce bylo uděleno od slečny prof. Meitnerové, již dovoluji si co nejzdvořileji poděkovati za mnoho podnětů, rad a přísnou vědeckou výchovu.

Jest též mojí milou povinností, poděkovati na tomto místě ministerstvu veřejných prací a kuratoriu státního radiologického ústavu za udělení studijního stipendia.

Seznam touto prací dotčené literatury.

- 1) N. Bohr, Phil. Mag. 30, 581, 1915.
- 2) C. T. R. Wilson, Proc. Roy. Soc. 104, 1, 192, 1923.
- 3) Lise Meitner, Zs. f. Phys. 11, 35, 1922.
- 4) L. Meitner a Kurt Freitag, Zs. f. Phys. 37, 481, 1926.
- 5) Bumstead, Phys. Rev. (2) 3, 715, 1926; J. Chadwick a K. Emeläus, Phil. Mag. (7) 1, 1926; C. T. R. Wilson, Proc. Cambr. Phil. Soc. XXI, 105, 1922.
- 6) L. Meitner, Ergebnisse der exakten Naturw. Bd. III.
- 7) Whidington, Proc. Roy. Sc. 86, 360, 1915.
- 8) W. Bothe, Zs. f. Phys. 12, 117, 1923.

*

Étude sur les rayons β du radium D.

(Extrait de l'article précédent.)

L'appareil de Wilson a été modifié de façon qu'il fût possible de faire toute une série de photographies des rayons β aux basses pressions. On a fait 600 photographies. Comme matière en expérience fut employé le radium „D“, dépouillé du polonium. Les 83 voies mesurées des rayons du radium „D“ ont servi à déterminer la graduation du parcours de ces rayons. Le parcours le plus fréquent est en bon accord avec la théorie de Bohr. Mais il est beaucoup plus court que le parcours correspondant donné par les derniers résultats de C. T. R. Wilson.