

Dr. JOSEF ŠTĚPÁNEK:

O ISOTOPECH A STAVBĚ ATOMŮ.



NÁKLADEM
JEDNOTY ČESKOSLOVENSKÝCH MATEMATIKŮ A FYSIKŮ
V PRAZE 1925.

Cena Kč 4.60.

O ISOTOPECH A STAVBĚ ATOMŮ.

NAPSAL

Dr. JOSEF ŠTĚPÁNEK,

profesor čes. stát. reálky v Praze VII.

ROZŠÍŘENÝ ZVLÁŠTNÍ OTISK

Z ROZHLEDU MATEMATICKO-PŘÍRODOVĚDECKÝCH,
ROČNÍK IV.

TISKEM A NÁKLADEM

JEDNOTY ČESKOSLOVENSKÝCH MATEMATIKŮ A FYSIKŮ
V PRAZE 1925.

I.

Ú v o d.

Z vyučování chemického i fyzikálního jest známo, že prvky radioaktivní rozpadávají se postupně, vysílajíce záření trojího druhu, paprsky α , β , γ , na látky méně a méně schopné záření, až poslední jejich zplodinou jest prvek záření nevysílající čili neaktivní, jímž jest o l o v o. Myšlenku tu, že olovo jest posledním členem řady radioaktivních prvků, počínající uranem (*U*, atomové hmoty 238·2) a obsahující mimo jiné méně důležité prvky též radium (*Ra*, at. hmoty 225·97) a polonium (*Po*, at. hmoty 210), vyslovil první r. 1905 americký badatel B. B o l t w o o d, opíraje se při tom o známou zkušenost, že olovo se vyskytuje ve všech rudách uranových, a to v množstvích, jež jsou úměrna množství uranu obsaženého v rudách téhož stáří geologického a jež rostou se stářím geologickým v těch rudách, které jsou stáří nestejného. To odpovídá zcela názoru, že olovo povstává pomalým rozpadáváním uranu a hromadí se tedy v uranových minerálech během dlouhých geologických dob.

Také jest známo,¹⁾ že radioaktivní prvky, jichž bylo již objeveno 35, seskupují se ve dvě řady neboli čeledi, z nichž první jest již zmíněna řada uranová, druhá pak, počínající prvkem thoriem (*Th*, atomové hmoty 322·15), nazývá se řadou thoriovou. Od řady uranové odvětvuje se třetí řada aktiniová, počínající prvkem protaktiniem (*Pa*, at. hmoty 234·5).

Když byly zjišťovány poslední nezářící členy těchto dvou řad látek radioaktivních, objevil se zajímavý výsledek, že i tyto řady končí o l o v e m. Ale když byly r. 1914 stanoveny R i c h a r d s e m na Harvardské universitě. H o n i g s c h m i d e m na vídeňské universitě a různými jinými badateli atomové hmoty olova pocházejícího z rud uranových, nalezeny byly hodnoty kolísající mezi 206·05 až 206·9, kdežto správná atomová hmota obyčejného olova jest 207·2.

¹⁾ Viz na př. Maškovu Fysiku pro vyš. třídy středních škol, II. díl, 4. vydání, str. 229.

U olova však pocházejícího z rud thoriových nalezeny byly anglickým badatelem F. Soddy a jeho spolupracovníky hodnoty větší, blíží se číslu 208. Ježto aktinium a jeho řada vlastně pochází z řady uranové, má její poslední člen neaktivní, olovo, atomovou hodnotu touž, po případě velmi blízkou atomové hmotě olova, získaného z rud uranových.

S počátku se soudilo, že tyto odchylky jsou zaviněny tím, že nebyly atomové hmoty stanoveny dosti dokonale. Když se však tyto neshody zase dostavovaly i při opětovných výpočtech a měřeních co nejpřesnějších, nabyl vrchu názor, pronesený jednak F. Soddy m, jednak K. Fajensem, že jsou různé druhy olova, jež mají různé atomové hmoty, kolísající mezi hodnotami 206.0 až 208.1. Ale tyto různé druhy olova neliší se nikterak od sebe vlastnostmi chemickými, i není je možno odloučiti od sebe cestami chemickými; proto patří v Mendělejevově soustavě prvků chemických na totéž místo. Dle svého původu značívají se ty dva druhy olova radioolovo a thorioolovo.

Pro takovou skupinu prvků stejných chemických vlastností navrhl Fajans název plejada prvků, obdobou dle známého označení skupiny hvězdíček, seskupených kol nejjasnější hvězdy Alkyone-Kvočny. Jednotlivé prvky, tvořící pak takovou skupinu, plejadu, nazval Soddy prvky souměrné čili isotopy (z řeckého *ἴσος* (isos) = stejný, *τόπος* (topos) = místo), ježto zaujímají v prvkové soustavě stejné místo.

Když tedy bylo zjištěno, že existuje trojí olovo stejných vlastností chemických, ale nestejné atomové hmoty, byla na snadě otázka, je-li tento případ souměrných prvků ojedinělý, či jsou-li ještě jiné prvkové plejady mimo plejadu olova. O tom, jak byly zjišťovány plejady a u kterých prvků, pojednáme v pěti následujících odřizích.

II.

Poznámky historické.

Aby nám jasněji vynikl pojem prvků isotopů, všimněme si krátce historického vývoje atomové teorie, pokud se týká atomové hmoty prvků. Zakladatel její John Dalton vyslovil r. 1803 o atomech názor, že všechny atomy téhož prvku shodují se ve všech vlastnostech a že mají též stejnou váhu. Vedle této věty vyjádřil ještě jiné čtyři znaky, kterými úplně přesně definoval pojem prvku.

Na základě jeho znaků rozvinul a ustálil se během století názor o prvcích, že jsou to látky stejnorodé, mající stálé vlastnosti chemické a kterých nelze známými chemickými ději rozkládati v látky jiné.

Asi o 10 let později r. 1815 pronesl proti názoru Daltonovu nové tvrzení anglický chemik William Prout, že atomy všech prvků jsou složeny ze skupin atomů vodíkových. Jestliže tedy dle uvedené

věty Daltonovy mají všechny atomy téhož prvku stejnou váhu a tím i hmotu, musily by býti atomové hmoty všech prvků vyjádřeny celistvými čísly, volíme-li atomovou hmotu vodíku za jednotku. Že tento důsledek praktickými pokusy a měřeními potvrzen nebyl, jest známo.

I bylo chemikům se rozhodnouti, který z uvedených názorů, Daltonův či Proutův, uznají za správný. Ježto výsledky měření odporovaly názoru Proutovu, byl názor o celistvosti číselné atomových hmot jakožto nevyhovující zavržen.

Že by bylo možno, aby atomové hmoty byly vyjádřeny celými čísly, ale že by týž prvek obsahoval atomy stejných vlastností chemických, ale různých hmot atomových spolu smíšené, takže výsledná atomová hmotá průměrná jest střední hodnotou, jež nemusí býti číslem celistvým, nikdo ani netušil do osmdesátých let století devatenáctého.

Teprve r. 1886 slavný anglický badatel William Crookes prohlásil na sjezdu britských chemiků v Birminghamu toto smělé tvrzení o atomové hmotě: Pravíme-li, že atomová hmotá na př. vápníku jest rovna 40, pronášíme tím, že většina atomů vápníkových skutečně má atomovou hmotu 40, ale nevylučujeme při tom, že jest mezi nimi též dosti atomů, které mají atomovou hmotu 39 nebo 41, ba menší počet jest i takových atomů, jejichž atomová hmotá jest 38 nebo 42. K tomuto tvrzení, čelícímu proti názoru Daltonovu, připojil Crookes též naději, jež tenkrát připadala jako proroctví, že jistě bude možno nějakým způsobem, třebaš dosud neznámým, ale podobným frakcionanému rozkladu, atomy téhož prvku různých atomových hmot od sebe oddělit.

O tři léta později podal již Crookes domnělé potvrzení této své předpovědi pracemi o vzácných zeminách. Podařilo se mu totiž yttrium, objevené r. 1794 Janem Gadolinem z materiálu nalezeného u Ytterby ve Švédsku a považované dosud za prvek, rozdělití frakcionaným srážením v součásti, jež prozradily svou různost tím, že ukazovaly různá fosforescenční spektra, ačkoliv se úplně shodovaly v jiných vlastnostech chemických. Crookes soudil, že příčinou této různosti jest různost atomové hmoty jednotlivých atomů yttria, z nichž některé vysílají záření jednoho druhu, jiné jiného. Dohromady pak smíchány jsouce v yttriu dávají jeho výsledné fosforescenční spektrum. Tyto součásti, vydávající různé spektrální čáry a pásy a lišící se svými atomovými hmotami, nazval Crookes *metaelementy* a soudil, že se jimi nevyznačuje jen yttrium, nýbrž že se podaří též u jiných prvků objeviti podobné jejich složení. V tomto mínění utvrzovala jej hlavně značná složitost absorpčního spektra par jodových; soudil, že asi též jod se skládá z různých součástí, z nichž každá má určité jednodušší absorpční spektrum. smíchají-li se však ty součásti dohromady, dávají značně složitě spektrum par jodových.

Na základě těchto Crookesem předpokládaných metaelementů, tvořících svou směsí jeden a týž prvek, bylo by snadno vysvětliti si, proč atomové hmoty prvků nejsou vyjádřeny jen celistvými čísly.

Ale pozdějšími přesnějšími metodami a badáním o vzácných zeminách podařilo se zjistiti, že Crookes, prozkoumávaje spektrum yttria, pozoroval vlastně spektra několika skutečně úplně různých prvků spolu smíchaných, z nichž každý má své charakteristické fosforescenční spektrum a ovšem též jinou atomovou hmotu.

Tím byla vyvrácena Crookesova theorie metaelementů a padl ovšem též jeho výklad, proč atomové hmoty prvků nejsou jen čísly celými.

Zodpovědění této otázky se podařilo až po objevu látek radioaktivních a neaktivních zplodin vznikajících z nich. Roku 1906 zjistil B o l t w o o d na slavné »Yale-University« v New Havenu, že soli radioaktivního prvku *ionia*, který objevil, nelze naprosto chemicky oddělití od solí *thorio*ových a že oba prvky mají velmi podobné vlastnosti chemické. Tento výsledek potvrdili později jiní badatelé, zvláště A u e r z W e l s b a c h u r. 1910, a S o d d y téhož roku připojil ještě k těmto prvkům třetí s nimi shodný *radiothorium*. O *mesothorium*, objeveném r. 1907 H a h n e m, dokázal r. 1910 M a r c k w a l d a téhož roku S o d d y, že podobně nelze je oddělití chemicky od *radia*, a dále že podobná shoda platí též o prvcích *radium* a *olovu*.

Když pak v letech následujících 1911 až 1913 byl formulován S o d d y m a F a j a n s e m důležitý radioaktivní zákon, že každý prvek radioaktivní postoupí v periodické soustavě prvků o dvě místa ku předu, když vyše částici záření α , a o jedno místo nazad, vyše-li částici β , bylo možno předpovídati, které prvky, vzniklé rozpadem jiných, musí býti souměstné. Prodělal-li totiž prvek změny, při nichž pozbyl dvakráte tolik částic β než částic α , musí výsledná látka býti isotopem prvku, ze kterého povstala.

Tím vším bylo dokázáno, že skutečně jsou prvky, které se vyznačují totožnými vlastnostmi chemickými, ale liší se přece svými vlastnostmi radioaktivními a také atomovou hmotou.

Roku 1913 na sjezdu chemiků, konaném opět v B i r m i n g h a m u, podávali již četní badatelé zprávy o tom, že i mimo čeleď prvků radioaktivních podařilo se zjistiti prvky stejných vlastností chemických, ale různé atomové hmoty, jež byly pak S o d d y m nazvány *isotopy*, jak již bylo uvedeno.

III.

Metoda spektroskopická.

Ze školního vyučování chemického i fyzikálního jest známo, že nejcitlivější metodou, kterou byly jednak objeveny prvky nové, jednak zjišťovány i nepatrné stopy prvků, jest *spektrální* a n a -

ly s a. I bylo zcela přirozeno, že byly činěny pokusy touto metodou, aby se zjistily prvky isotopy.

Badatelé v laboratoři sira Ernesta Rutherforda, slavného pracovníka v oboru radioaktivity, A. S. Russell a Rossi, přirovnávali r. 1912 spektrum čistého thoria se spektrem směsi thoria a ionia, v níž bylo ionia značné procento, což bylo zjištěno na základě působení radioaktivního. Ale neobjevily se žádné nové linie, které by patřily Boltwoodovu prvku ioniu. Z toho bylo možno souditi, že buď prvek ionium nemá v elektrickém oblouku v tom oboru spektrálních, ve kterém bylo jeho spektrum zkoumáno, svého zvláštního spektra vůbec, nebo že spektrum thoria a ionia jest zcela totožné. Porčevadž první možnost se sama vylučuje, protože všechny známé prvky značně veliké atomové hmoty, mezi něž patří thorium i ionium, mají svá charakteristická oblouková spektra, plynul z badání uvedených učenců závěr, že ionium a thorium mají spektra identická. K stejnému výsledku dospěli též vídeňští badatelé Exner a Haschek.

Roku 1914 zkoumali Soddy a Hyman spektrum olova, jež vzniklo rozpadem thoria, a shledali, že jest totéž, jako spektrum olova obyčejného. Tento výsledek byl pak potvrzen mnoha jinými badateli, jmenovitě Richardsem a Lembertem, Mertonom v Anglii, Hönigschmidem a Horovitzem ve Vídni.

Téhož roku 1914 pak zkoumali Rutherford a Andrade spektrum paprsků Rontgenových pro prvek z řady uranové, radium-D a zjistili, že přísluší mu stejné vlnové délky paprsků jako spektru obyčejného olova, jež později podrobně prozkoumal Sieghahn.

Mezitím však začala se uplatňovati Bohrova teorie o složení atomů z jádra kladně elektrického, kolem něhož krouží záporně nabitě elektrony. Z ní a z kvantové teorie Planckovy²⁾ bylo možno počítati, jak velikou různost spektrálních čar lze očekávati ve spektrech prvků, různících se nepatrně svou atomovou hmotou, ale majících stejné elektrické náboje.

Změna atomové hmoty podmiňuje jednak různou hmotu atomového jádra, jednak posunutí společného těžiště atomového, kol něhož krouží elektrony. Vliv obou těchto změn byl propočítán a bylo zjištěno, že první změna hmoty atomového jádra má asi takový vliv na přitahovaný elektron, jakoby se změnila přitažlivá síla mezi naší Zemí a Měsícem, kdyby na Zem padl kosmický prach hmoty asi biliontiny gramu. Změna polohy těžiště pak způsobí dle výpočtu Bohrova ve vlnové délce vysílaného záření změnu řádu

²⁾ Výklad základních názorů teorie Bohrovy a teorie kvantové najde laskavý čtenář v mém článku »O kvantech energie a jak se pokusně stanoví«, uveřejněném ve II. ročníku »Rozhledů matematicko-přírodovědeckých« na str. 63. a násled.

$10^{-6} \mu\mu$, tedy tak nepatrnou, že dosavadními spektrálními pokusy ani nemohla být zjištěna. Tím byla teoreticky potvrzena správnost výsledků pozorování Russellových a Rossiových.

Ale pozdějším pozorovatelům podařilo se přece najít nepatrný rozdíl ve spektrech různých izotopů. Tak především r. 1917 zjistili američtí badatelé W. D. Harkins a L. Aronberg ve spektru ohybovém 6. řádu, zjednaném stupňovou mřížkou Michelsonovou, že při spektrální čáře délky vlnové $\lambda = 405.8 \mu\mu$ ve spektru radioolova o atomové hmotě 206.318 jest proti těžé čáře ve spektru obyčejného olova atomové hmoty 207.2 rozdíl o $0.00044 \mu\mu$. A tento výsledek byl potvrzen pozorováním Mertonovým v Oxfordě r. 1920, který ze zjevů interferenčních, pozorovaných interferometrem Fabry-Perrotovým³⁾ našel při čáře těžé délky vlnové $\lambda = 405.8 \mu\mu$ rozdíl mezi čarou spektra radioolova a obyčejného olova $(0.00050 \pm 0.00007) \mu\mu$.

Souhlasně s teorií Bohrovou zjistili uvedení pozorovatelé, že jeví se tu skutečně pošínutí a nikoliv snad jen rozšíření čáry uvedené toho druhu, že kovu majícímu atomovou hmotu větší přísluší menší délka vlnová a tedy větší kmitočet. Merton našel též obdobné pošínutí $(0.00022 + 0.00008) \mu\mu$ mezi čarami vysílanými thorioolovem získaným z ceylonského thorianitu a obyčejným olovem. Užívaje pak nejčistšího olova uranového z austrálského karnotitu prozkoumal znova r. 1921 spektrum tohoto olova, přirovnával jeho čáry s čarami olova obyčejného a zjistil pro různé čáry různá pošínutí.

Také ve spektru infračerveném byl vliv různé atomové hmoty izotopů konstatován. Při pozorování absorpčního spektra chlorovodíku jemnou mřížkou zjistil r. 1919 Iles, že maxima čáry o délce vlnové $\lambda = 1.76 \mu$ jsou doprovázena na straně ležící k vlnám delším tak zvanými satelity, to jest podružnými čarami menší intenzity. Zjev tento propočítal r. 1920 Loomis a vysvětlil, že jeho příčinou jest ta okolnost, že také prvek Cl atomové hmoty 35.46 skládá se z izotopů o atomových hmotách 35 a 37, jak zatím bylo zjištěno jiným způsobem, o čemž ještě v dalším uslyšíme podrobněji. Názor Loomisův potvrdil též A. Kratzer téhož roku 1920.

Z toho, co jsme uvedli o spektroskopické metodě ke zjišťování izotopů, vyplývá, že touto metodou zatím jen bylo potvrzeno, že některé prvky se skutečně skládají z izotopů, jež byly již jiným způsobem objeveny. Závadou této metody jest, že poměrně malá různost atomové hmoty projevuje se při spektrálních pozorováních tak nepatrnými změnami, že jejich zjištění vyžaduje nejjemnějších pozorovacích metod a nejpřesnějších přístrojů.

³⁾ O Michelsonově stupňové mřížce a interferometru Fabry-Perotově poučíte se podrobně v »Optice«, kterou sepsali Dr. Čeněk Strouhal a Dr. Vladimír Novák, na str. 617. a 687. a násl.

IV.

Metoda difusní.

Druhá metoda, kterou lze zjišťovati isotopy, a to ve skupenství plynném, zakládá se na difusi a osmose plynů. Z aeromechaniky jest známo, že plyny promíchávají se spolu i tehdy, když jsou odděleny průlinčitou stěnou, a že plyn lehčí proniká stěnou rychleji než plyn těžší.⁴⁾ Difusní rychlost plynů jest nepřímo úměrna druhé odmocnině z molekulové hmoty plynů. Teorii tohoto zjevu propočítal již r. 1896 slavný anglický badatel Lord Rayleigh.

Jest tedy možno pomocí osmosy oddělovati od sebe dvě součásti plynové různé atomové, po případě molekulové hmoty. Proniká-li totiž směs dvou plynů různé atomové hmoty touž průlinčitou stěnou do plynu jiného, pronikne lehčího plynu více, takže zbytek směsi obsahuje více plynu těžšího, čili jest bohatší plynem těžším. Při isotopech jest ovšem různost atomové hmoty vždy poměrně malá, proto liší se jejich difusní rychlosti jen nepatrně a tedy též obohacení těžší součástí ve směsi zbývající po provedené difusi může býti jen velmi nepatrné. Z teorie Rayleighovy plyne, že toto obohacení *o* lze vypočítati z výrazu:

$$o = \sqrt{\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} \frac{V_p}{V_k}},$$

kdež m_1 a m_2 značí molekulové hmoty lehčí a těžší součástí difundující směsi, V_p a V_k její počáteční a konečný objem po provedené difusi. Ježto rozdíl $m_2 - m_1$ jest u všech isotopů dosud známých poměrně malý proti součtu $m_2 + m_1$, jest číslo udávající stupeň odmocniny vždy veliké, a tedy hodnota odmocniny vždy maličká. Tak na př. při chloru, jehož dva isotopy mají atomové hmoty 35 a 37, jak již bylo uvedeno, jest stupeň odmocniny číslo 36. Zvětšiti bylo by možno hodnotu té odmocniny jen zvětšováním poměru obou objemů $\frac{V_p}{V_k}$ buď pokusy prováděnými ve velikých rozměrech, nebo mnohonásobným opakováním difuse.

Pokusy tohoto druhu prováděl od roku 1916 Harkins, aby oddělil isotopy chloru, ale ačkoliv spotřeboval 19.000 litrů chlorovodíku, docílil přece jen nepatrné změny hustoty směsi zbývající po provedené difusi. Tímtež způsobem hledali roku 1919 badatelé O. Stern a M. Volmer isotopy vodíku a kyslíku, ale nepodařilo se jim je dokázati.

Na základě difuse založena jest též metoda, užívající k oddělení isotopů vypařování kapaliny za velmi nízkého tlaku. Při tom totiž

⁴⁾ Viz: Mašek: Fysika pro vyš. třídy škol středních, I. díl, 4. vydání, str. 174 a 175.

nahraňuje povrch kapaliny průlinčitou nádobu, takže počet atomů lehčí součásti, které projdou povrchem a tedy z kapaliny uniknou za určitou dobu, jest větší, než počet atomů součásti těžší v nepřímém poměru druhých odmocnin jejich atomových hmot. Je-li nad povrchem kapaliny tak malý tlak, že se z vypařených částic žádná nevrací zpět do kapaliny, roste stále v kapalině koncentrace těžších atomů.

Touto cestou zkoumali v letech 1920 až 1922 jednak J. N. Brønsted a G. Hevesy, jednak Mulliken a Harkins isotopy rtuti, odpařující rtuť při teplotě 40° až 60° C za nízkého tlaku a srážejíce páry na studené ploše, ochlazované tekutým vzduchem, která byla vzdálena od hladiny nejvýše 2 cm. Podařilo se jim zjistiti různou hustotu rtuti zbylé a rtuti sražené. Zvolíme-li hustotu rtuti, s níž pokus počali prováděti, za jednotku, byla hustota rtuti sražené 0.99974, rtuti zbylé 1.00023. Jest tedy patrně obyčejná rtuť složena z isotopů různé atomové hmoty.

Týmž způsobem oddělili Brønsted a Hevesy též isotopy chloru. Při teplotě -50° C dali vypařovati vodní roztok HCl , páry sráželi zase na ploše chlazené tekutým vzduchem a skutečně zjistili větší hustotu zbytkového roztoku proti roztoku původnímu.

Kromě uvedených metod navrhovali různí badatelé na základě úvah teoretických ještě jiné způsoby, mechanické, optické i elektrické, jimiž by bylo možno přesvědčovati se o isotopii prvků, ale při praktickém provádění se neosvědčovaly.

V.

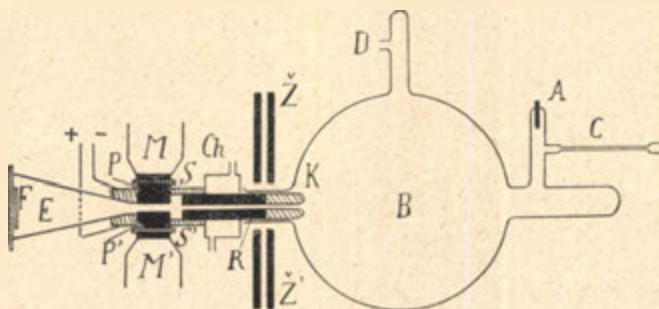
Rozklad kanálovými paprsky.

Z předcházejících výkladů je patrné, že dosud uvedené způsoby vedly jen ke zjištění isotopů a k oddělování jich pouze částečnému. Ale oddělit je od sebe úplně nebylo možno žádnou z metod, o nichž byla řeč. To se podařilo jen analýs isotopů pomocí kanálových paprsků. Touto cestou zjistil a úplně od sebe oddělil isotopy některých prvků slavný anglický badatel J. J. Thomson a později F. W. Aston v Cambridgi.

Kanálové paprsky objevil roku 1886 německý badatel Eugen Goldstein. Jak známo z fyziky,⁵⁾ jsou to paprsky procházející přímočaře dirkovanou katodou směrem od anody do prostoru za katodou a budící fluorescenci skla. Roku 1898 dokázal o nich W. Wien, že se uchylují magnetickým polem opačným směrem než paprsky katodové a že se šíří značně menší rychlostí než ony. Podrobně prozkoumal jejich vlastnosti v letech následujících J. J. Thomson a nazval je kladné paprsky elektrické (rays of positive electricity).

⁵⁾ Viz Maškovu »Fysiku pro vyš. třídy střed. škol«, II. díl, IV. vyd., str. 213. a 214.

Paprsky ty vznikají ionisací v silném elektrickém poli při nízkém tlaku. Oddělili se záporný elektron od normálního atomu, zůstává na každé z obou vzniklých částic stejně mnoho elektřiny. Elektron, jenž jest základní jedničkou záporné elektřiny, jest vždy totožný, ať se děje výboj v plynu jakémkoliv, a ježto jeho hmota jest nepatrná, asi ¹₁₈₃₄ hmoty vodíkového atomu, nabývá v silném elektrickém poli ohromné rychlosti, blížíci se rychlosti světla. Letící elektrony jsou známé paprsky katodové. Druhá část atomu jest kladně nabitá částice, obsahující zbytek atomu, tedy skoro celou hmotu atomovou, proto závisí její hmota na jakosti atomu,



Obr. 1.

který byl ionisován. Její rychlost jest značně menší než rychlost elektronů, poněvadž má hmotu mnohem větší. Když jest však elektrické pole značně silné a tlak ve výbojové rouře tak malíčký, že kladně nabitý zbytek atomový při svém pohybu se nesráží s jinými atomy vůbec nebo jen zřídka, nabude přece dosti značného zrychlení a pohybuje se směrem ke katodě i za katodu jakožto kanálový paprsek. Kanálové paprsky mohou ovšem též vznikat i z molekul. Určí-li se hmota jednotlivé částice kanálových paprsků, určuje se tím vlastně hmota jednotlivého atomu prvku, po případě hmota jednotlivé molekuly sloučeniny. A v tom právě spočívá výhodnost používati paprsků kanálových k bezpečnému určování a oddělování isotopů.

První upotřebil této metody a teoreticky ji propracoval uvedený již badatel J. J. Thomson roku 1912. Podrobil úzký svazek kanálových paprsků, propuštěný trubicí nepatrné světlosti, účinkům sil pole elektrického a magnetického v přístroji, který znázorňuje schematicky obr. 1.

Do skleněné nádoby kulovitého tvaru *B* asi na 1½ litru zasazena jest aluminiová katoda *K*, polokulovitě zakončená a nálevkovitě vyhloubená na přední části. Jejím otvorem vstupují kanálové paprsky

do uzoučké mosazné rourky R světlosti několika desetin milimetru, zasazené do silnější roury železné. Aby se při výbojích katoda příliš nezahřívala, jest chlazena v chladiči Ch proudící vodou. Anodou jest aluminiová tyčinka A , vtavená do postranní rourky. Plyn, jehož kanálové paprsky jest zkoumati, vpouští se úzkou trubičkou C a vysává se rotační rtuťovou vývěvou rourou D tak, aby se po delší čas udržoval stálý nízký tlak, jenž umožňuje, že výboj nastane při potenciálním rozdílu 30.000 až 50.000 voltu.

Kanálové paprsky, jež proletí otvorem katody K a úzkou rourkou R , vytvoří svazeček paprsků, jenž musí dále projíti mezi pólovými nástavky P, P' z měkkého železa, jež jsou odděleny tenkými lístky slídovými S, S' od magnetických pólů M, M' silného elektromagnetu, aby bylo možno uvést je na libovolně vysoké potenciály elektrické.

Tím se způsobí mezi nimi silné pole elektrické, jež působí současně s polem magnetickým na kanálové paprsky, které vstupují pak do dutiny E silně zředité a padají na stínítko fluorescenční F , po případě na fotografickou desku. Mezi výbojovou rourou B a elektromagnetem M vloženy jsou železné vložky \check{Z}, \check{Z}' , aby silné pole elektromagnetu nerušilo výboje v B .

Jestliže nepůsobí mezi P a P' ani pole elektrostatické, ani magnetické, dopadá svazeček paprsků kanálových přímočaře na citlivou desku, na níž způsobí tak zv. »nulovou« skvrnu. Působí-li však elektrické pole intensity \mathfrak{E} mezi deskami P, P' , uchýlí se částice kanálových paprsků hmoty m , náboje e , letící rychlostí v v rovině nákresné a zasáhne desku F ve vzdálenosti x od polohy nulové. T h o m s o n dokázal, že při úchylkách poměrně malých platí:

$$x = k \cdot \frac{\mathfrak{E} \cdot e}{m v^2}. \quad (1)$$

Působí-li však na kanálové paprsky jen pole magnetické intensity \mathfrak{H} , uchýlí se táž částice v rovině kolmé k nákresné dle pravidla levé ruky a stihne desku F ve vzdálenosti y od nulové skvrny. Pro y odvodil T h o m s o n rovnici:

$$y = k' \cdot \frac{\mathfrak{H} \cdot e}{m v}. \quad (2)$$

Konstanty úměrnosti k a k' závisí na rozměrech a tvaru přístrojů, kterých T h o m s o n při svých pokusech užil.

Volíme-li nulovou skvrnu za počátek pravoúhlé soustavy souřadnicové, jejíž osu x položíme rovnoběžně s úchylkou elektrickou a osu y rovnoběžně s úchylkou magnetickou, dopadne svazeček paprsků kanálových na desku v bodě o souřadnicích x, y , které plynou z uvedených rovnic (1), (2), když působí současně pole elektrické i magnetické.

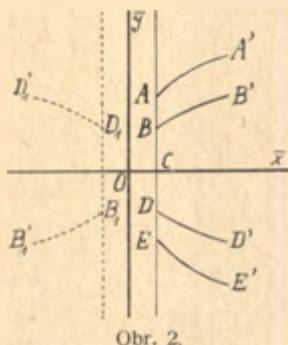
Poměr jejich

$$\frac{y}{x} = \frac{k'}{k} \cdot \frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{E}} \cdot v$$

jest měrou rychlosti paprsků; podíl

$$\frac{y^2}{x} = \frac{k'^2}{k} \cdot \frac{\mathfrak{H}^2}{\mathfrak{E}} \cdot \frac{v}{m} \quad (3)$$

jest měrou poměru náboje ke hmotě částic kanálových paprsků. Ježto náboj e jedné částice jest stálá veličina a rovná se co do velikosti náboji elektronu, který má $4.77 \cdot 10^{-10}$ absol. jednotek elektrostatických množství elektrického, může se z rovnice (3) počítati veličina m , to jest hmota atomová.



Obr. 2.

Dopadá-li svazek kanálových paprsků o stálé hmotě částic m , ale o různé rychlosti na stínítko nebo fotografickou desku, jest poměr $\frac{y^2}{x}$ veličinou stálou. Geometrickým místem bodů, v nichž dopadnou takové paprsky na desku nebo stínítko, jest tedy část parabolického oblouku; neboť

$$\frac{y^2}{x} = \text{veličině stálé,}$$

jest rovnici paraboly. Znázorníme si takový parabolický oblouk na obr. 2. obloukem AA' . Jsou-li v paprskovém svazečku zastoupeny též paprsky s jinou, na př. větší hmotou $m' > m$, uchylují se v poli magnetickém i elektrickém méně a vytvoří jinou parabolu BB' , jejíž pořadnice odpovídající úchylce magnetické jsou pro stejná x menší.

Vede-li se bodem A rovnoběžka s osou y , jež protíná osu x v bodě C , plyne z rovnice (3) poměr

$$\frac{m'}{m} = \frac{CA^2}{CB^2}$$

Na základě tohoto vztahu jest možno spolu přirovnávati hmoty dvojích částic kanálových paprsků, a tím i atomové hmoty dvou prvků, po případě molekulové hmoty dvou sloučenin pouhým měřením délkovým, jež se provede pohodlně a přesně na vyvolané desce fotografické F . Stačí, známe-li alespoň pro jednu z vytvořených parabol atomovou, po případě molekulovou hmotu částic, které ji vytvořily, abychom mohli určití atomové, event. molekulové hmoty všech ostatních částic, zastoupených ve svazku paprsků kanálových.

Osová přímka OC však na fotografickém obraze není, ježto jest to pouze přímka myšlená. Proto, aby bylo měření co nejpřesnější, exponuje se táž deska ještě paprskům kanálovým, které na ni dopadají, když se změnou směru proudu budícího elektromagnety vymění póly magnetické a následkem toho i směr siločar a smysl účinků magnetické. Tím vzniknou parabolické oblouky ležící pod osou x , z níž DD' patří částicím menší hmoty m' , EE' pak částicím hmoty m . Pak platí též

$$\frac{m'}{m} = \frac{AE^2}{BD^2}$$

Při svém průchodu uzoučkou rourkou R může se kladně nabitá částice kanálového paprsku sraziti s elektronem, čímž se neutralisuje a nepodléhající pak účinku ani pole magnetického, ani elektrického, dopadá v nulové skvrně v bodě O . Srazí-li se však takto neutralisovaný atom, ještě s jedním elektronem, nabude náboje záporného a podroben jest potom účinku opačného smyslu i pole elektrického i magnetického, takže paprsky obsahující částice toho druhu, vytvoří pak parabolické oblouky, ležící v protějšcích čtvrtích k parabolám původním. Takto vzniklé oblouky parabolické jsou vyznačeny v obr. 2, čárkovane a z nich přísluší oblouk B_1B_1' k parabole BB' , oblouk D_1D_1' pak k parabole DD' .

Při ionisaci plynu v rourě B se však též může státi, že se od neutrálního atomu nebo molekuly oddělí více než jeden elektron, takže zbytek má pak kladný náboj dvojnásobný, oddělí-li se elektrony dva, po případě vícenásobný, odštěpí-li se jich více. Paprsky kanálové, obsahující takové částice, nazývají se pak obdobně dle názvosloví zavedeného v optice p a p r s k y v y š š í c h ř á d ů.

Má-li částice náboje dva, mohou nastati dva různé případy. Bud proletí s nimi polem elektrickým i magnetickým a chová se pak jako částice hmoty poloviční vzhledem k částici s nábojem jednotkovým. Tak na př. atom kyslíku s dvojnásobným kladným nábojem, který se označuje O^{++} , uchýlí se v obou polích jako částice atomové hmoty 8. Druhý případ, který může nastati, jest ten, že částice letící úzkou trubičkou přitáhne volný elektron, čímž se jeden kladný náboj zruší, a částice bude se chovati dále tak jako částice, jejíž poměr $\frac{e}{m}$ jest obvyklý u částic paprsků kanálových, ale její energie jest dvoj-

násobná, což projeví se prodloužením oblouků parabolických přes přímku AE směrem blíže k ose y do poloviční vzdálenosti mezi koncovým bodem A paraboly AA' a osy y . Takováto prodloužení zjistil skutečně Thomson u paprsků uhlíkových a kyslíkových.

Když v listopadu r. 1912 zkoušel Thomson popsanou metodou kanálové paprsky lehkých plynů, obsažených v ovzduší, zjistil, že na fotografické desce objevila se kromě paraboly patřící heliu, silná parabola, odpovídající atomové hmotě 20, příslušná neonu, ale vedle ní ještě slabá parabola patřící hmotě 22. Ježto žádnému jinému plynu nebylo možno ji přisouditi, bylo tím prokázáno, že patří isotopu prvku neonu. Prvek neon sám byl v atmosféře objeven r. 1898 Ramsayem a Traversem a jeho atomovou hmotu určil co nej přesněji Watson r. 1910; našel číslo 20.200, tedy číslo dosti různé od celistvého čísla 20. Tato různost byla Thomsonovým objevem vysvětlena. Neon jest totiž směsí dvou prvků isotopních, neonu lehčího s atomovou hmotou 20 a neonu těžšího s atomovou hmotou 22, jehož jest ovšem ve směsi značně menší množství než součásti lehčí, o čemž svědčí, že parabola odpovídající součásti těžší jest mnohem menší intensity než parabola příslušná součásti lehčí. Pro tyto dva isotopy neonu užívá Aston označení Ne^{20} a Ne^{22} .

Tak byl neon prvním z prvků, které nejsou radioaktivní, u něhož byla isotopie bezpečně zjištěna a potvrzena pak četnými měřeními dalšími, jež provedli jednak Aston a Watson společně, jednak Aston sám r. 1914. Určována byla hmotnost neonu pomocí křemenných vážek vakuových, prováděna frakciovaná destilace a difuze a konečně r. 1919 našel Aston nový zdokonalený způsob, užívající rovněž kanálových paprsků, o němž pojednáme v oddíle následujícím, jímž též byla isotopie neonu potvrzena.

VI.

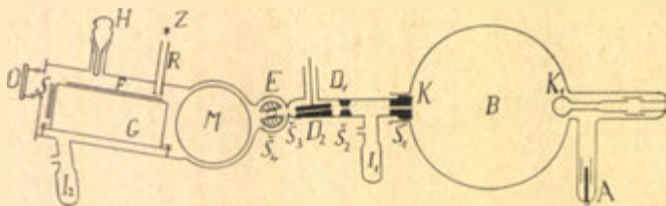
Astonův spektrograf hmotný.

Astonovi šlo o to, aby zachytil na fotografické desce co nejostřejší stopy kanálových paprsků, příslušných různým atomovým hmotám částic, a mimo to, aby byly ty stopy od sebe vzdáleny tak, aby se z jejich polohy bezpečně mohla určití atomová hmotá příslušné částice. To se mu skutečně podařilo zařízením, které dává na fotografické desce podobné obrazy jako spektrograf při spektrální analýsě paprsků světelných. Proto nazval Aston svůj přístroj spektrograf hmotný, ježto se jím oddělují hmoty obdobně, jako se ve spektrografu oddělují světla různých délek vlnových.

Astonův spektrograf, znázorněný schematicky obr. 3., skládá se podobně jako přístroj Thomsonův z výbojové roury B průměru 20 cm, jejíž aluminiová anoda A obklopena jest aluminiovou izolovanou rourkou, chránící stěny trubice. Do hrdla roury vsazena jest konkávní, rovněž aluminiová katoda K , provrtaná úzkým otvorem se

šterbinou S_1 , za níž asi ve vzdálenosti 10 cm jest druhá šterbina S_2 , propouštějící jen velmi úzký svazeček kanálových paprsků. Z vnějška jest katoda chlazená proudící vodou a aby se též příliš nezahřívala stěna trubice proti katodě, zachycují se katodové paprsky křemenovou kuličkou K_1 . Plyn, který se má zkoumati, vpouští se rourkou, která ústí do prostoru mezi stěnou výbojové trubice a katodou, a proti této rource ústí trubička, kterou se prostor zřeďuje rotační vývěvou Gaedeovou. Tyto obě rourky jsou pro jednoduchost v nákrese vynechány. Katoda jest spojena se zemí, anoda s kladným pólem induktoru o potenciálu asi 20.000 až 50.000 voltů.

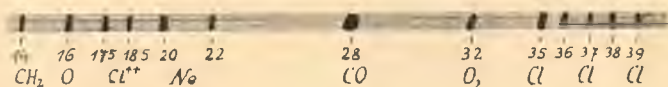
Svazeček paprsků kanálových, prostoupivších úzkými štěrbinami, prochází pak mezi dvěma deskami D_1 , D_2 , z nichž prvá jest



Obr. 3.

vodivě spojena s kladným pólem velké akumulátorové baterie, kterou se udržuje na potenciálu 200 až 500 voltů, druhá jest spojena se zemí, takže mezi oběma vzniká pole elektrostatické, uchylující kanálové paprsky v rovině nákresné. Pak projdou paprsky ještě dvěma štěrby S_3 a S_4 , z nichž druhá jest v otvoru kohoutku E , kterým lze prostor předcházející oddělití neprodyšně od následujícího. V něm prostupují paprsky mezi dvěma kruhovými póly silného elektromagnetu M , který vzbudí tak silné pole magnetické, že uchyluje paprsky kanálové opačně, ale o úhel dvojnásobný než pole elektrické. Pak dopadají mezi dvěma deskami kovovými G , z nichž znázorněna jest jen přední, v komoře na fotografickou desku F , která se nařizuje pomocí zabroušeného kohoutku H . Trubice I_1 , I_2 naplněny jsou dřevěným uhlím a ponořují se do tekutého vzduchu, aby udržovaly prostor vnitřní stále náležitě zředěný; tím se zabráni možným srážkám paprsku kanálových s molekulami plynovými, kterými by se měnila rychlost částic paprskových a tím i poloha jejich stop na desce. Průhledným okénkem O lze z vnějška pozorovati stopy paprsků na fluorescenčním stínítku S . Rourkou R osvětlí se na začátku a pro kontrolu též na konci pokusu určité místo desky F postranním zdrojem světelným Z tak, aby se na desce zobrazil určitý bod, od něhož začínají se měřiti polohy čar, vzniklých kanálovými paprsky na desce při proměřování výsledků pokusu.

Aston dokázal teoreticky i pokusně, že hmotnost částice, vytvářející určitou čáru, jest téměř přímo úměrná vzdálenosti čáry od určitého nulového bodu. A v této jednoduché závislosti jest velká přednost i citlivost tohoto spektrografu, jenž umožňuje oddělit a zřetelně rozeznat od sebe částice lišící se od sebe hmotou sotva o 1%. Při tom jsou stopy jednotlivých čar vzniklých na fotografické desce, když jest správně nařízena, tak ostré, že jest vyloučen omyl, aby se snad přisoudila některá čára jiné atomové, po případě molekulové hmotě, než jí přísluší. Při proměňování desek užíval Aston přirovnávacích čar, jež přísluší prvům známé celistvé atomové hmoty, jako uhlíku (12), kyslíku (16) a jejich sloučeninám CO (28), CO_2 (44); pak užíval též čar příslušných sloučeninám uhlovodíkovým, jež se vždy ve výbojové



Obr. 4.

rouře vyskytovaly, ježto byly zabroušené části mazány mastnotou na dokonalé utěsnění celého přístroje.

Tímto způsobem podařilo se Astonovi přesvědčiti se, že se neon skutečně skládá ze dvou isotopů o atomových hmotách 20 a 22. Když zkoumal kanálové paprsky chlóru, ukázaly se čáry příslušné atomovým hmotám 35 a 37 a mimo to ještě slabší čára příslušná číslu 39. Kromě těchto čar, příslušných paprskům s částicemi o jednoduchém náboji, objevily se též čáry způsobené paprsky s nábojem dvojnásobným, čili paprsky druhého řádu na místech, odpovídajících atomovým hmotám 17.5 a 18.5. Na některé desce ukázaly se též čáry příslušné sloučeninám HCl molekul. hmoty 36 a 38 a COCl s molekul. hmotami 63 a 65. Čára, patřící menší atomové, po případě molekulové hmotě z těchto dvojic, jevila se vždy silnější, z čehož bylo možno souditi, že isotope Cl^{35} jest vždy zastoupen ve větším množství. Přibližnou reprodukci fotografické desky, obsahující uvedené čáry neonové a chlorové, jest obr. 4., v němž připsána jsou čísla příslušných atomových hmot a názvy prvků; obsahuje též některé přirovnávací čáry, totiž pro CH_4 (mol. hm. 16), O (16), CO (28) a O_2 (32).

Dále dokázal Aston nezvratně, že vodíku a heliu přísluší vždy jen po jedné čáře, z čehož vyplývá, že jsou to prvky bez isotopů.

Zajímavý výsledek poskytlo zkoumání partrufových. Zjištěny čáry příslušné atomovým hmotám 202 (čára silná), 204 (slabší) a skupina čar odpovídající číslům 197 až 200, takže Hg jest složena ze šesti isotopů.

Vedlo by nás daleko, kdybychom chtěli zde podrobně uvádět všechny úspěchy, kterých se dopracoval Aston svým spektrografem. Jen se ještě zmíníme o tom, jak si umožnil pozorovati též kanálové paprsky kovů jiných mimo rtuť, což přístrojem dosud popsaným nebylo možno. Užil jednoho ze způsobů, jež zavedli objevitelé tak zvaných anodových paprsků *Gehrcke a Reichenheim* r. 1906 až 1908. Rozežhavlili se proudem ze zvláštního zdroje platinový pásek pokrytý solí nějakého kovu a vložili se do výbojové trubice jakožto anoda, vysílá kladně nabitě částice kovu, které byly nazvány paprsky anodové a vlastně jsou totéž, co paprsky kanálové. Druhý způsob, který zavedli *Gehrcke a Reichenheim*, jest ten, že paprsky anodové vystupovaly z anody zvláštním způsobem připravované, které nebylo třeba již zahřívati.



Obr. 5.

Prvním z uvedených způsobů zkoumal anodové paprsky *натрия* a *калия* americký fyzik *A. J. Dempster* 1918 v Chicagu, užívaje poněkud pozměněného zařízení jako *J. J. Thomson*; ponechával pole magnetické stálým a měnil jen pole elektrické. Roku 1920 prováděl *Dempster* pokusy s paprsky *magnesia*, jichž docíloval tím, že kousek *magnesia* rozžhavoval spirálou, kterou procházel silný proud, a současně pouštěl na *magnesium* silný svazek paprsků katodových. S počátku unikaly pohlcené plyny, až při značném sesílení proudu topícího objevily se kanálové paprsky *magnesia*, jejichž stopy parabolické přirovnával *Dempster* se stopami paprsků uhlíkových a zjistil, že *magnesium* se skládá ze tří isotopů atomových hmot 24, 25, 26.

Od roku 1921 pracuje *Aston* podobným přístrojem, který jest znázorněn schematicky na obr. 5. Anodou *A* jest tenký plátek platinový asi 0.03 mm tlustý, 2 mm široký a 7 mm dlouhý, který jest přitaven k drátkům platinovým, jež jsou vtaveny do skleněné trubice *C* a spojeny přes reostat *R* se zdrojem proudovým *B*. Jím se platinový plátek zahřeje do žáru a, aby se v něm mohly taviti soli příslušných kovů, jest na jednom konci zahnut do žlábků. Vedle toho spojí se anoda přes usměrňovací trubici *U* s kladným pólem silného induktoru, takže z ní vycházejí anodové paprsky. Aby se pohodlně vkládala do válcovité výbojové trubice a zase vyndávala, jest anoda i zahřívací vedení vtaveno do zabroušené uzávěrky výbojové trubice. Katodou *K* jest zase provrtaná trubice vzdálená jen asi 1 cm od

anody. Po četných méně zdařilých pokusech podařilo se Astonovi tímto zařízením zjistiti anodové paprsky natria a s nimi přirovnávati pak paprsky lithia, kalía, rubidia a caesia.

Téhož roku 1921 zkoumal G. P. Thomson pomocí zvlášť připravované anody, tedy druhou z metod zavedených Gehrckem a Reichenheimem, anodové paprsky beryllia, kalcia a stroncia. Dempster pak nově upravenou anodou r. 1923 znova prozkoumával paprsky lithia, kalcia a zinku.

Z uvedeného jest patrno, že metoda užívající kanálových paprsků na oddělování isotopů vede k cíli nejbezpečněji. Ale přece má jednu nevýhodu, a to, že oddělená množství isotopů jsou tak neopatrně malinká, že naprosto nestačí k tomu, aby se jich mohlo používat k dalšímu zkoumání. Aston vypočítal, že za 100 vteřin podařilo by se oddělití ze směsi neonové asi $^{1/10} \text{ mm}^3 \text{ Ne}^{20}$ a sotva $^{1/100} \text{ mm}^3 \text{ Ne}^{22}$.

VII.

Přehled prvků a jejich isotopů.

Abychom si ukázali, jakých výsledků dopracovali se badatelé, o jejichž pracích jsme v předcházejících oddílech slyšeli, sestavíme si dle Astona přehlednou tabulku prvků dle pořadí jejich atomových čísel, jež se přibližně rovnají polovině atomových hmot. Tato atomová čísla odpovídají počtu kladných nábojových jedniček, číselně rovných náboji elektronu, jež obsahují atomová jádra jednotlivých prvků dle teorie vyslovené prvně van den Broekem r. 1913 a potvrzené Moselyem. V tabulce uvedena jsou všechna čísla prvků od 1 do 92, z nichž čísla 43, 61, 75, 85 a 87 odpovídají prvkům, jež posud vůbec nejsou známy. Prvky jsou seskupeny dle teorie Bohrovy v 7 period. První z nich má $1 \times 2 = 2$ prvky, druhá a třetí po $2 \times 4 = 8$ prvcích, čtvrtá a pátá po $3 \times 6 = 18$ prvcích a šestá $4 \times 8 = 32$ prvky. Perioda sedmá má prvků pouze 6. Ve sloupci čtvrtém uvedeny jsou průměrné atomové hmoty prvků dle nejpřesnějších měření z poslední doby, v pátém počet zjištěných isotopů, v šestém pak jejich atomové hmoty seřazené dle velikosti; příponami *a*, *b*, *c*, ... jest vyznačeno, v jakém poměru jsou zastoupeny isotopy v prvku: *a* odpovídá množství největšímu, *b* menšímu atd. Kde jest počet isotopu uveden číslem 1, značí to, že pro příslušný prvek bylo zjištěno přesně, že jest prvkem jednoduchým, čistým bez isotopů. U prvků posud neprozkoumaných není počet isotopů vůbec uveden. U prvků radioaktivních a jejich zplodin jsou v šestém sloupci udány též názvy isotopů, ale přípony *a*, *b*, ... jsou vypuštěny. Výsledky, které nejsou ještě bezpečně zaručeny, jsou uzavřeny do závorek. V posledním sloupci pak jsou zkratkami uvedena jména badatelů, kteří příslušné isotopy bezpečně zjistili. Astoⁿ má značku *A.*, Dempster — *D.*, J. J. Thomson — *J. Th.*, G. P. Thomson — *G. Th.*, pro prvky radioaktivní jsou místo toho udány chemické značky isotopů.

Atom. číslo	Prvek	Značka	Atom. hmota	Počet isotopů	Atom. hmoty isotopů	Objevitel
1	Vodík	<i>H</i>	1·008	1	1·008	A.
2	Helium	<i>He</i>	4·00	1	4	A.
3	Lithium	<i>Li</i>	6·94	2	6 _b , 7 _a	A. a G. Th.
4	Beryllium	<i>Be</i>	9·1	1	9	G. Th.
5	Bor	<i>B</i>	10·9	2	10 _b , 11 _a	A.
6	Uhlík	<i>C</i>	12·00	1	12	A., J. Th.
7	Dusík	<i>N</i>	14·008	1	14	A., J. Th.
8	Kyslík	<i>O</i>	16·00	1	16	A., J. Th.
9	Fluor	<i>F</i>	19·00	1	19	A.
10	Neon	<i>Ne</i>	20·20	2	20 _a , 22 _b	J. Th., A.
11	Sodík	<i>Na</i>	23·00	1	23	A.
12	Hořčík	<i>Mg</i>	24·32	3	24 _a , 25 _b , 26 _c	D.
13	Hliník	<i>Al</i>	26·96			
14	Křemík	<i>Si</i>	28·3	2	28 _a , 29 _b , (30)	A.
15	Fosfor	<i>P</i>	31·04	1	31	A.
16	Síra	<i>S</i>	32·06	1	32	A.
17	Chlor	<i>Cl</i>	35·46	3	35 _a , 37 _b , 39 _c	A.
18	Argon	<i>A</i>	39·9	2	36 _b , 40 _a	A.
19	Draslík	<i>K</i>	39·10	2	39 _a , 41 _b	A.
20	Vápník	<i>Ca</i>	40·07	(2)	40, (44)	D.
21	Skandium	<i>Sc</i>	45·1			
22	Titan	<i>Ti</i>	48·1			
23	Vanadium	<i>V</i>	51·0			
24	Chrom	<i>Cr</i>	52·0			
25	Mangan	<i>Mn</i>	54·93			
26	Železo	<i>Fe</i>	55·84			
27	Kobalt	<i>Co</i>	58·97			
28	Nikl	<i>Ni</i>	58·68	2	58 _a , 60 _b	A.
29	Měď	<i>Cu</i>	63·57			
30	Zinek	<i>Zn</i>	65·37	(4)	(64 _a , 66 _b , 68 _c , 70 _d)	D.
31	Gallium	<i>Ga</i>	70·10			
32	Germanium	<i>Ge</i>	72·5			
33	Arsen	<i>As</i>	74·96	1	75	A.
34	Selen	<i>Se</i>	79·2			
35	Brom	<i>Br</i>	79·92	2	79 _a , 81 _b	A.
36	Krypton	<i>Kr</i>	82·92	6	78 _f , 80 _c , 82 _c , 83 _d , 84 _a , 86 _b	A.
37	Rubidium	<i>Rb</i>	85·45	2	85 _a , 87 _b	A.
38	Stroncium	<i>Sr</i>	87·63			
39	Yttrium	<i>Y</i>	89·33			
40	Zirkon	<i>Zr</i>	90·6			
41	Niobium	<i>Nb</i>	93·1			
42	Molybden	<i>Mo</i>	96·0			
43	—	—	—			
44	Ruthenium	<i>Ru</i>	101·7			
45	Rhodium	<i>Rh</i>	102·9			
46	Palladium	<i>Pd</i>	106·7			
47	Stříbro	<i>Ag</i>	107·88			
48	Kadmium	<i>Cd</i>	112·40			

Atom. číslo	Prvek	Značka	Atom. hmota	Počet isotopů	Atom. hmoty isotopu a ev. názvy	Objevitel ev. značka
49	Indium	<i>In</i>	114·8	1 (7) 5	127 (128), 129 _a , (130) 131 _c , 132 _b , 134 _d , 136 _c	A.
50	Cín	<i>Sn</i>	118·7			
51	Antimon	<i>Sb</i>	120·2			
52	Tellur	<i>Te</i>	127·5			
53	Jod	<i>Y</i>	126·98			
54	Xenon	<i>X</i>	130·2			A
55	Caesium	<i>Cs</i>	132·81	1	133	A.
56	Baryum	<i>Ba</i>	137·37			
57	Lanthan	<i>La</i>	139·0			
58	Cerium	<i>Ce</i>	140·25			
59	Praseodymium	<i>Pr</i>	140·6			
60	Neodymium	<i>Nd</i>	144·3			
61						
62	Samarium	<i>Sm</i>	150·4			
63	Europium	<i>Eu</i>	152·0			
64	Gadolinium	<i>Gd</i>	157·3			
65	Terbium	<i>Tb</i>	159·2			
66	Dysprosium	<i>Ds</i>	162·5			
67	Holmium	<i>Ho</i>	163·5			
68	Erbium	<i>Er</i>	167·7			
69	Thulium	<i>Tu</i>	168·5			
70	Ytterbium	<i>Yb</i>	173·5			
71	Lutetium	<i>Lu</i>	175·0			
72	Hafnium	<i>Hf</i>	(178)			
73	Tantal	<i>Ta</i>	181·5			
74	Wolfram	<i>W</i>	184·0			
75	Osmium	<i>Os</i>	190·9			
76	Iridium	<i>Ir</i>	193·1			
77	Platina	<i>Pt</i>	195·2			
78	Zlato	<i>Au</i>	197·2			
79	Rtut	<i>Hg</i>	200·6	(6)	(197 až 200), { 202 _a , 204 _b }	J. Th., A.
80				4	Aktinium C'' (206)	Ac C''
81	Thallium	<i>Tl</i>	204·0		Thorium C'' 208	Th C''
					Radium C'' 210	Ra C''
82	Olovo	<i>Pb</i>	207·2	8	Radium G 206	Ra G
					Aktinium D (206)	Ac D
					Thorium D 208	Th D
					Radium D 210	Ra D
					Aktinium B (210)	Ac B
					Thorium B 212	Th B
					Radium B 214	Ra B
83	Vizmut	<i>Bi</i>	209·0	5	Radium E 210	Ra E
					Aktinium C (210)	Ac C

Atom. číslo	Prvek	Značka	Atom. hmota	Počet isotopů	Atom. hmoty isotopů a ev. názvy	Objevitel ev. značka
84	Polonium	Po	210·0	3	Thorium C 212 Radium C 214 Polonium (Radium F) 210 Aktinium C' (210) Thorium C' 212 Radium C' 214 Aktinium A (214) Thorium A 216 Radium A 218	Th C Ra C Po (Ra F) Ac C' Th C' Ra C' Ac A Th A Ra A
85 86	Niton = Emanace	Nt = Em	222·4	3	Emanace Ac (218) Emanace Th 220 Emanace Ra 222	Ac Em Th Em Ra Em
87 88	Radium	Ra	226·0	4	Aktinium X (222) Thorium X 224 Radium 226·0 Mesothorium I 228 Aktinium (226) Mesothorium II 228	Ac X Th X Ra Ms ThI Ac Ms ThII
89 90	Aktinium Thorium	Ac Th	226·0 232·15	2 6	Radioaktinium (226) Radiothorium 228 Jonium 230 Uran Y (230) Uran X _I 234 Protaktinium (230) Uran X _{II} 234 Uran Z 234 Uran II 234 Uran I 238	Ra Ac Ra Th Jo UY UX _I Pa UX _{II} UZ UII UI
91	Protaktinium	Pa	234·5	3		
92	Uran	U	238·2	2		

Při všech zjištěných isotopech jest nápadno, že jejich atomové hmoty jsou vyjádřeny celistvými čísly a také u prvků, o kterých bylo prokázáno, že jsou jednoduché, jest jejich atomová hmota buď přesně nebo alespoň velmi přibližně rovna číslu celému. Tím se potvrzuje alespoň částečně platnost původní domněnky Proutovy, o níž jsme se zmínili ve II. oddíle, a jež byla dlouho považována za nesprávnou, ježto určení atomových hmot vedlo u mnohých prvků, jež byly tehdy považovány za jednoduché, k číslům, která nebyla celistvá.

Rovněž jest nápadno, že u většiny isotopů bezpečně zjištěných jest rozdíl jejich atomových hmot roven číslu 2 a jen u málokterých roven 1. Jaký to má význam pro výklad stavby

atomové, zbývá rozhodnouti příštím badatelům v tomto oboru, jiniž také bude ještě prozkoumati ostatní prvky, pro něž isotopie posud nebyla zjištěna, ale kterou lze očekávati u všech prvků, které mají atomové hmoty značně různé od čísel celistvých.⁶⁾

VIII.

Důsledky.

Všimněme si dále důsledků, které plynou z objevu isotopie, a nových názorů o složení atomů.

Především nutno vytknouti, že objevením isotopie prvků poklesl dřívější stěžejní význam atomových hmot⁷⁾ jednotlivých prvků, jež byly dříve považovány za charakteristický znak prvků. Vyskytují-li se prvky, jež mají různé atomové hmoty a přece mají tytéž chemické vlastnosti i fyzikální — jsou to totiž plejady prvků isotopů — nemůže býti atomová hmota samojediná veličinou, určující ten který prvek. Jak jsme viděli v předešlých odstavcích, jsou u mnohých prvků atomové hmoty pouze střední hodnoty statisticky zjištěné z celistvých atomových hmot příslušných prvků téže plejady.

Velichinou určující polohu a pořadí prvků v periodické soustavě prvkové, kteráž přejala dřívější úlohu atomové hmoty, stalo se číslo, udávající počet kladných nábojových jednotek obsažených v jádře prvkovém. Těmto číslům říká se nyní »atomová čísla« a dle nich jsou též prvky seřaděny v naší tabulce.

Jak již známo ze školního vyučování,⁸⁾ má dle Bohrovy teorie o stavbě atomové jádro vodíkového jeden kladný náboj $+e = +4.77 \cdot 10^{-10}$ absol. jednotek elektrostatických, jádro atomu heliového má náboje dva, tedy $+2e$, lithiového $+3e$ atd. Atomové číslo stoupá od prvku k prvku vždy po jednotce, až poslednímu ze známých prvků, uranu, přísluší atomové číslo 92, to jest, jeho jádro jest kladně nabitó množstvím elektřiny $+92e$. Pro prvních 20 prvků s výjimkou vodíku, tedy od helia až po vápník, rovná se atomové číslo přibližně polovině atomové hmoty, odtud počínajíc jest vždy menší než polovina atomové hmoty.

⁶⁾ Kdo by z vás, milí čtenáři, hledal podrobnějšího poučení o zjišťování isotopů, najde je ve spisech:

K. Fajans: Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen, Brunšvik r. 1920;

F. W. Aston: Isotope, Lipsko 1923.

Z nich jest též čerpána látka tohoto článku. Stručný výklad o periodické soustavě prvků se zřetelem k teorii Bohrově a posledním pracem o isotopech najdete též na str. 148. a 149. v V. vydání Valouchových: Logaritmických tabulek z r. 1923.

⁷⁾ Říkává se jim v chemii též »atomová čísla« nebo »atomové váhy«.

⁸⁾ Viz Mašek: Fysika pro vyš. třídy střed. škol. Díl II., 4. vyd., str. 229 a 230.

Jako další důsledek objevu isotopů bylo třeba znovu přesněji definovati pojem prvku. Podle návrhu profesora F. r. Panetha, učiněného již r. 1916, jest nutno rozlišovati trojí význam slova »prvky« a to:

1. chemické prvky,
2. ryzí prvky,
3. neryzí prvky.

1. Chemický m prvkem jest látka, jejíž všechny atomy mají stejné náboje atomového jádra. Jakožto důsledek plyne z této definice, že chemické prvky mají jednotné vlastnosti chemické a není možno žádným dějem chemickým rozložití je v součásti jednodušší. Takto definuje chemické prvky známý již anglický badatel Aston. Příkladem jest vodík, mající jadrový náboj jedničkový, kyslík o náboji 8 jednotek, chlór s nábojem 17 jednotek, olovo jakéhokoliv původu, na př. i olovo vzniklé rozpadem radiové emanace, mající náboj 82 jednotky.

2. Ryzí m prvkem jest prvek, jenž se skládá z atomů jediného druhu, na př. vodík, jehož všechny atomy mají atomovou hmotu téměř 1·008 ve stupnici, jejímž základem jest atomová hmotu kyslíku 16, nebo olovo z emanace radiové čili radium-D, jež má atom. hmotu 210 a vysílá záření β .

3. Neryzí m prvkem jest prvek složený z atomů několika druhů, na př. chlór, mající atomy o atom. hmotě rovné 35, 37 a 39 nebo olovo z nejčistšího smolince, obsahující atomy radia-G atom. hmoty 206, atomy aktinia D atom. hmoty 206 a atomy radia-D at. hmoty 210.

Proti těmto definicím lze sice namítati, že slovo a pojem prvku již v sobě obsahuje představu stejnorodosti a že se těžko dá tato představa srovnati s tím, že se také směs isotopů označuje jako jeden prvek. Ale právě ta okolnost, že isotopů nelze žádným dosud známým dějem chemickým od sebe oddělovati, potvrzuje správnost uvedených definic.

Na základě nich lze říci: Jsou celkem 92 chemické prvky, z nichž známe dosud bezpečně 87. Některé z nich jsou prvky ryzí, mnohé však jsou neryzí. Ale i tyto vcházejí ve sloučeniny chemické v určitém stálém poměru, neboť ve směsi atomové, z níž jsou vytvořeny, jsou zastoupeny atomy téhož druhu vždy v téže poměru. Kolik jest různých druhů atomových, nelze dosud bezpečně říci, známo jest jich již nyní přes 150.

Jest zajímavou všimnouti si též, kolik isotopů téhož prvku bylo posud nejvýše objeveno a jaký jest největší rozdíl jejich atomových hmot. Přibližně-li jen k prvkům stálým, to jest těm, které se nerozpadávají jako prvky radioaktivní, byl největší počet isotopů zjištěn u cínu,⁹⁾ totiž sedm až osm isotopů s atomovými hmotami

⁹⁾ V tabulce svrchu uvedené nejsou ještě udány.

116, 117, 118, 119, 120 (121), 122 a 124, z nichž prvek s atom. hmotou 121 není posud bezpečně zaručen. Největší rozdíl atomových hmot, totiž 8 jednotek, byl nalezen též u cínu a mimo něj u vzácných plynů, totiž u kryptonu (od 78 do 86) a u xenonu (od 128 do 136). Z prvků radioaktivních má největší počet isotopů olovo, totiž jedenáct, s maximálním rozdílem at. hmot rovným 8 jednotkám (od 206 do 214) a stejný rozdíl vyskytuje se též u polonia (od 210 do 218).

Na základě těchto zkušeností jest pravděpodobno, že počet isotopu příslušných určitému prvku jest veličina poměrně malá a že rovněž poměrně úzké meze má rozdíl atom. hmot isotopů téhož prvku. Ale platí-li nějaké zákony pro tyto veličiny a jaké, nebylo možno bezpečně dokázat z výsledků badání dosavadních.

IX.

O stavbě atomů.

Poznali jsme, že většina prvků ryzích i isotopů má atomovou hmotu vyjádřenou přesně celistvým číslem, když se za základ atomových hmot volí číslo 16 pro kyslík. Podstatnou odchylku od tohoto pravidla tvoří prvek základní a nejjednodušší, totiž vodík, jehož atomová hmota vychází vždy 1·0077 (přibližně 1·008); všechny pokusy dostati i pro atomovou hmotu vodíku číslo celé byly marny. Vysvětliti tuto odchylku pokoušelo se několik různých domněnek. Pravdě nejbližše jest asi domněnka R. S w i n n e o v a, založená na e n e r g e t i c k é m základě a na R u t h e r f o r d o v ě a B o h r o v ě teorii o stavbě atomů.¹⁰⁾

Dle této teorie jest nejjednodušším atomem právě atom vodíkový, jenž se skládá z vodíkového jádra kladně elektrického, kolem něhož krouží záporně elektrický elektron. Positivní jádro vodíkové jest pravděpodobně nejmenší částice kladně elektrická, pokud lze souditi z měření a výpočtů dosavadních. Bylo proto uznáno za praatom positivní elektriny a S i r E r n e s t R u t h e r f o r d navrhl pro ně r. 1920 na shromáždění britské vědecké společnosti (British Association) název »proton«, odvozený z řecké číslovky řadové *πρωτος* = první. Náboj protonu jest ovšem stejný jako náboj elektronu, ale opačného znaménka, jeho hmota byla měřena a nalezeno, že se rovná $1\cdot66\cdot10^{-24}$ gramu, čili 1·0072 jednotek ve stupnici atomové hmoty, běže-li se atomová hmota kyslíku za 16 jednotek. Poloměr protonu jest asi řádu 10^{-16} cm a jest tedy proton pravděpodobně částicí nejmenších rozměrů, kterou vůbec známe.

¹⁰⁾ Stručně ale vystižné poučení o stavbě atomové najdete ve velmi pěkném spisku Dra Vl. Ryšavého: »Atomy a elektrony«, který vyšel ve Svobodově »Osvětové knihovně« r. 1924, jako číslo 27. (za 5 Kč).

Elektron jest částice, jejíž hmota jest $\frac{1}{1834}$ hmoty atomu vodíkového, čili asi 9×10^{-28} gramu nebo 0.00054 jednotek stupnice kyslíkové; jeho poloměr jest řádu asi 10^{-13} cm a elektron obíhá kol jádra po kružnici nebo jiné uzavřené křivce, jejíž poloměr jest řádu 10^{-8} cm

Protony a elektrony jsou stavebními kameny, z nichž jsou složeny atomy ostatních prvků dle teorie Rutherford-Bohrovy. Tak hned atomové jádro druhého po vodíku nejjednoduššího prvku helia, majícího atomovou hmotu 4.000 jednotky, skládá se dle názorů uvedené teorie ze čtyř jader vodíkových čili protonů a dvou elektronů. Ale hmota čtyř protonů jest 4×1.0072 jednotky = 4.0288 jednotky, k tomu hmota dvou elektronů 2×0.00054 jed. = 0.00108 jed., dohromady 4.02988 jed., tedy přesahuje skoro o 1% číslo 4, jež jest atomovou hmotou helia. Aby vysvětlila tuto nesrovnalost, předpokládá zmíněná teorie, že při ději, kterým se 4 vodíková jádra se dvěma elektrony spojí v jádro atomu heliového, vydá se značné množství energie, což se stane právě na útraty hmoty, o kterou převyšují 4 jádra vodíková dva elektrony atomovou hmotu heliovou. Stejně množství energie bylo by nutno vynaložiti, aby se zase atom heliový rozštěpil ve čtyři protony, čili jádra vodíková a dva elektrony.

Jednak W. Lenz r. 1920 a jednak R. C. Tolman r. 1922 vypočítali, že by k tomu bylo třeba asi třikrát větší energie, než má částice paprsku α , kterou vysílá radioaktivní prvek *Ra-C*. Z toho lze souditi, že heliové atomy jsou útvary neobyčejně stabilní a tím si vysvětlíme, proč při rozpadu atomů prvků radioaktivních zůstávají částice heliové netknuty a unikají jako paprsky α . Z toho soudí dále teorie Rutherfordova, že jsou heliové atomy vedle protonů a elektronů třetím druhem základních součástí, čili stavebních kamenů, z nichž se skládají atomy všech ostatních prvků.

Že tento názor jest blízký pravdě, potvrzuje ta okolnost, že atomové hmoty u mnohých prvků a to obvyklejše těch, které spolu nesousedí v periodické soustavě prvkové, mají rozdíl atomových hmot rovný čtyřem jednotkám. Tak na příklad jest to nápadno i u lehkých prvků C (atom. hmoty 12), O (16), Ne (lehčí isotop 20), Mg (24), Si (28), S (32). Kde jsou jiné rozdíly atomových hmot než 4 jednotky, nutno dle Rutherforda souditi, že vedle atomů heliových jsou v jádře takových prvků ještě zastoupena jádra vodíková.

K tomuto názoru byl Rutherford přiveden na základě těchto zajímavých pokusů. Již r. 1911 zjistili v jeho laboratoři H. Geiger a E. Marsden, že částice α -paprsků, procházejíce některými plyny nebo tenkými vrstvami kovů, při konci své dráhy se nápadně uchylují stranou od své téměř přímočaré dráhy dřívější. Obr. 6. znázorňuje dráhy dvou částic α -paprsků vzduchem, jež lze učiniti

viditelnými na základě jejich působení luminiscenčního. Úchylka horní částice, letící rychlostí několika tisíc kilometrů za vteřinu, byla patrně způsobena nárazem α částice na atom prostředí, jímž se pohybovala. Rutherford soudí, že tu úchylku působí odpudivé síly elektrostatické, mezi kladným nábojem α částice a kladným nábojem atomového jádra, v jehož blízkosti prolétá částice α .



Obr. 6.

Ze zjevu, že většina částic α projde bez uvedené odchylky a jen poměrně nepatrný počet z nich se odchýlí, jest možno souditi, že jen málokteré částice α čili heliové atomy přijdou do tak těsné blízkosti jader atomových toho prostředí, kterým proletují, že může se způsobiti zmíněná úchylka. A to právě vedlo Rutherforda k názoru, že atomové jádro pozitivní musí býti tak nepatrných rozměrů, jak jsme svrchu uvedli pro jádro vodíkové.



Obr. 7.

Ale náraz částice α na atom musí uvést do pohybu též jej, a to tím rychlejšího, čím jest jeho hmota menší, jakož plyne ze zákonů rázu hmot pružných. Nejmocněji musí se tento účinek projevit na atomech vodíkových, což bylo též D. B o s e m zjištěno, jak ukazuje horní část obrazce 7. C. G. D a r w i n vypočítal, že vodíkové jádro nabude v nejpříznivějším případě rychlosti 1'6-násobné té rychlosti, kterou narazila na ně částice α . Při stejné rychlosti měla by částice vodíková též stejný doběh jako částice α . Doběh však, jak lze dokázati teoreticky, roste úměrně se třetí mocninou

rychlosti, proto částice vodíková nárazem s částicí paprsku α má míti doběh asi čtyřikrát větší. To bylo skutečně potvrzeno Marsdenem r. 1914, který pokusně zjistil, že doběh paprsků α ve vodíku za obvyčejného tlaku atmosferického jest 24 cm, ale ve vzdálenosti 80 cm bylo možno ještě na stínítku potřeném sírníkem zinečnatým pozorovati zásvity (scintilace) jako ve spinthariskopu způsobené jádry vodíkovými uvedenými v pohyb nárazy α paprsků. Roku následujícího zjistili E. Marsden a W. C. Lantsherry takové částice vodíkové s velkým doběhem i tehdy, když propouštěli paprsky α tenkou vrstvou látky obsahující v sobě vodík, na př. voskem. Při tom byly částice vodíkové ze svého spojení s jinými atomy vytrženy a uvedeny v rychlý pohyb. Ovšem tento děj jest již dosti řídký. Rutherford zjistil, že ze 100.000 α částic, z nichž každá se po dráze 1 cm srazí asi s 10.000 molekulami vodíkovými, uvede jen jediná jedno vodíkové jádro v pohyb.

Zvláště však byl nápadný zjev, který pozorovali titíž badatelé Marsden a Lantsherry, že částice vodíkové odletují i v tom případě, když prostředím, kterým prostupují paprsky α , vůbec neobsahuje vodíku. Tento zjev zkoumal v pozdějších letech podrobně Rutherford sám a zjistil, že nápadně více částic vodíkových vzniká, když prostor mezi $Ra-C$, jež vysílalo částice α , a stínítkem se sírníkem zinečnatým byl naplněn suchým vzduchem, než když byl vyčerpán nebo když v něm byl kyslíčník uhlíčitý nebo samotný kyslík. Z toho soudil Rutherford, že prostředím, které dává vznik částicím vodíkovým, jest vzduchový dusík. Když pak r. 1919 místo vzduchem dal prostupovati částicím α čistým dusíkem, zvětšil se počet uvolněných vodíkových částic o 25% proti zjevu pozorovanému ve vzduchu. Při těchto pokusech byly mezi $Ra-C$ vyzářující paprsky α a stínítko fluoreskující vkládány vhodné tenké vrstvičky kovové, které zachytily úplně paprsky α , ale propustily částice vodíkové, které zase měly značně větší doběh, než samy paprsky α .

Tento zjev nebylo možno vysvětliti jinak, než že z dusíkových atomů nárazem α paprsků uvolňují se jádra vodíková, jež tedy již musila býti v nich patrně obsažena. Tímto pozorováním dokázal po prvé Rutherford nezvratně, že také atomy prvků, které nejsou radioaktivní, skládají se z jednodušších částic.

Rutherford soudí tedy, že atomy těch prvků, jež mají atomovou hmotu vyjádřenou číslem, jež jest celistvým násobkem čísla 4, tedy $4n$, jsou složeny z n jader heliových. Atomy, jež mají hmotu $4n + 1$, obsahují nad to jedno jádro vodíkové; ty, které mají hmotu $4n + 2$, mají na víc jádra vodíková dvě a které mají hmotu $4n + 3$, obsahují jádra vodíková tři. Dle toho jest dusíkový atom, jehož atomová hmota jest 14, složen ze tří jader heliových a ze dvou jader vodíkových. Ježto však každé heliové jádro má dva náboje kladné a vodíková jádra mají po jednom, jest nutně

v dusíkovém jádře obsažen ještě jeden elektron, aby celkový náboj kladný byl roven 7 jednotkám, jakož odpovídá to řadovému číslu dusíku v periodické soustavě prvkové.

Z toho lze si též vysvětliti, proč v kyslíku ani v kysličníku uhličitěm se neobjevily uvolněné částice vodíkové, neboť dle atomových hmot $C(12)$ a $O(16)$ neobsahují jejich atomy v sobě žádných jader vodíkových. Zajímavé jest též, že počet vodíkových jader, které byly nárazy paprsků α uvolněny z dusíkových jader atomových, jest asi dvanáctkrát menší, než při stejném počtu nárazů na atomy čistého vodíku. Rutherford vypočítal, že asi jen jedním nárazem α částice z 10^{10} nárazů na molekuly dusíkové se způsobí rozpad dusíkového atomu a že jest proto nutno, aby náraz nastal jen na určitém místě jádra dusíkového atomu, má-li se rozštěpení dostaviti.

Rutherfordovy názory o složení atomových jader byly skvěle potvrzeny, když se podařilo jemu a jeho spolupracovníku Chadwickovi v posledních letech nárazy částic α paprsků radiových roztržiti atomy těchto prvků: boru, fluoru, sodíku, hliníku a fosforu a také z jejich jader oddělití jádra vodíková o velikém doběhu, jejichž existenci zjišťovali podobně jako při pokusech uvedených výše sirníkem zinečnatým.

Na základě těchto pokusných výsledků lze si představití složení atomových jader prvků B (obou isotopů), N , F , Na , Al , P dle Rutherforda z jader heliových a vodíkových tak, jak jest vyznačeno tímto přehledem:

Prvek	Řadové číslo	Atomová hmota	Počet jader	
			heliových	vodíkových
Bor . . .	5	10, 11	2	2, 3
Dusík . .	7	14	3	2
Fluor . .	9	19	4	3
Sodík . .	11	23	5	3
Hliník . .	13	27	6	3
Fosfor . .	15	31	7	3

Jest nápadno, že jsou to právě prvky lichých řadových čísel a tedy též obsahující lichý počet kladných nábojů ve svých jádrech, které se podařilo touto metodou rozštěpiti. Prvky, které mají řadová čísla sudá, jako $Be(4)$, $C(6)$, $O(8)$, $Ne(10)$, $Mg(12)$, $Si(14)$, $S(16)$, nepodařilo se rozštěpiti. Z toho lze souditi, že tyto prvky jsou stabilnější, než prvky řadových čísel lichých.

V letech 1923 a 1924 prováděli četné pokusy o roztržštění atomu též dva vídeňští badatelé G. Kirsch a H. Pettersson. Sestavili si k tomu zvláštní komoru z mosazného, po případě zlatého

plechu ve tvaru kvádru, rozdělenou příčkami ve čtyři oddělení, kterou dobře vysušili a naplnili radiovou emanací. Ve dně této komory byla štěrbinu, krytá tenounkou folií měděnou, kterou potřeli v každém ze tří uvedených oddělení jinou látkou, jejíž rozpad atomů chtěli zkoumat, folie čtvrtého oddělení byla nekrytá, aby bylo možno spolu přirovnávat zjevy, které nastanou v oddělení s krytou folií se zjevy v oddělení s folií nekrytou. Pod folií bylo známé stínítko se Sidotovým blejnem a na něm počítali pozorovatelé zásvity (scintilace) povstávající dopadem odštěpených částic z atomů roztržštěných α -paprsky, vznikajícími z Ra-C, které se tvoří rozpadem radiové emanace.

Kirsch a Pettersson zjistili, že rychlost, kterou unikají protony čili jádra vodíková z atomů jednotlivých prvků nárázem rychlých α -částic, závisí jen na rychlosti částic α a na jakosti prvku, který jest rozbíjen. Částice vodíkové odletují při tom na všechny strany, což svědčí o tom, že jest to zjev explosivní. Kirschovi a Petterssonovi podařilo se rozštěpiti celou řadu prvků i se sudými řadovými čísly (Be, Ne, Mg, Si, S, Ar), u kterých se to dříve Rutherfordovi a Chadwickovi nepovedlo.

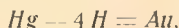
Zajímavé výsledky dávají též měření doby průběhu protonů odštěpených z různých prvků. Kdežto největší doběli α -paprsků, vycházejících z Ra-C jest 7.5 cm, mají odštěpené protony napořád doby větší, jak plyne z následujícího přehledu:

Prvky:	Doběhy:	Prvky:	Doběhy:
Li	10 cm	Al	90 cm
Be	12 "	Si	18 "
B	58 "	P	65 "
N	40 "	S	18 až 30 cm
Ne	16 "	Cl	20 cm
Na	42 "	K	18 až 30 cm
Mg	13 "	Ar	18 až 30 cm

Zvláště zajímavý úkaz zjistili Kirsch a Pettersson roku 1924 při kyslíku a dusíku, že se totiž jejich atomy dopadem paprsků α z Ra-C rozštěpují a vysílají α -paprsky, tedy heliová jádra s větší dobou průběhu než mají dopadající paprsky α z Ra-C. Tak se z kyslíku odštěpily částice α s dobou průběhu 9 cm a mimo to ještě sekundární částice α s dobou průběhu 11.2 cm. Arcí jsou tyto zjevy řídké, takže jest třeba několika set tisíc dopadajících částic α , aby nastalo jedno takové rozštěpení.

Bombardování α -částicemi není však jedinou metodou, kterou lze štěpiti atomy. Roku 1924 podařilo se přeměnit rtuť ve zlato za těchto okolností: A. Miethe a H. Stammerreich svítili asi 200

hodin silně přetíženou rtuťovou lampou Jaenickovou a našli, když lampa vychladla, v čisté rtuť černoou ssedlinu, kterou zjistil též již dříve H. Loosli i výrobce lampy, ale ti jí dále nezkoumali. Miethe a Stammreich destilovali opatrně rtuť z lampy a ve zbytku zjistili $82 \cdot 10^{-5}$ gramu čistého zlata, jež nemohlo tam jinak vzniknouti než rozpadem rtuťových atomů, neboť ani ve rtuťi, kterou byla lampa plněna, ani v křemenových stěnách, ani v elektrodách nebyly zjištěny ani nejmenší stopy zlata. Rozpad dále se buď podle vztahu



nebo



dokázati však v lampě vodík nebo helium se zatím nepodařilo, takže nelze ještě rozhodnouti, který z uvedených dějů tam nastal. Ale jeden nebo druhý se dostavil jistě, neboť atomová hmota rtuťi (okrouhle 201) musí se zmenšiti o 4 jednotky, abychom obdrželi atomovou hmotu zlata 197. Že se vytvořilo skutečně čisté zlato, bylo bezpečně dokázáno různými metodami fyzikálními. Nerozhodnuta však zůstává otázka, co bylo příčinou rozpadu jádra atomů rtuťových. Možná, že jest to rozpad za zvýšené teploty, obdobný rozpadu látek radioaktivních, který se ovšem děje již při teplotách obyčejných; možná též, že jest příčinou toho rozpadu energie elektrická.

Ze všech zde uvedených zjevů vyplývá, že jest opodstatněno tvrzení Kirschovo, pronesené na sjezdu přírodovědců v Innsbrucku roku 1924, že schopnost rozpadati se jest všeobecnou vlastností jader atomových.

Na základě Rutherfordových názorů o stavbě atomových jader z jader heliových a vodíkových lze si též vysvětliti, proč mají některé prvky atomové hmoty, které převyšují nepatrně celá čísla; tak na příklad jest atomová hmota dusíku 14.008, fosforu 31.04.

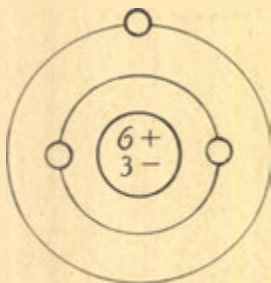
X.

Výklad isotopie.

Poznavše moderní názory o stavbě atomů, uvažme dále, že atomové jádro, které zahrnuje v sobě veškerou kladnou elektřinu obsaženou v atomu, jest též nositelem atomové hmoty a zároveň všech vlastností radioaktivních. Naproti tomu vlastnosti chemické a zjevy spektrální jsou podmíněny elektrony, které kolem jádra krouží v uzavřených drahách jako planety kol středu planetární soustavy — slunce. Tyto elektrony však nejsou libovolně rozsety kol jádra, nýbrž seskupují se do zvláštních skupin.

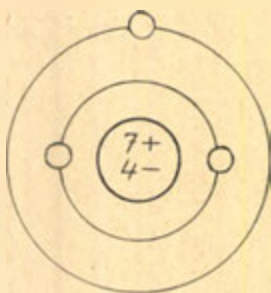
Jádro nejbližší jest skupina, obsahující nejvýše dva elektrony, pak následují dvě skupiny, jež mohou obsahovati nejvýše každá po osmi elektronech, pak dvě skupiny po osmnácti elektronech nej-

výše a konečně skupina o 32 elektronech. Tento názor, doplňující Bohrovu teorii atomové stavby, pronesl první r. 1921 americký chemik J. L a n g m u i r, jednak aby jím vysvětlil chemické vlastnosti prvků, jednak jejich uspořádání v periodickou soustavu prvkovou.



Obr. 8.

Položme si nyní otázku, jak si lze hodně názorně představit isotopii prvků na základě uvedených teorií. Znázorníme si atomové jádro silnějším kroužkem, do něhož si napíšeme, kolik obsahuje jednotek elektřiny kladné a kolik záporné. Slabší kroužky, sestro-



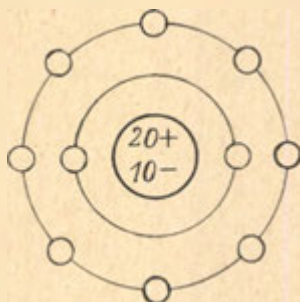
Obr. 9.

jené soustředně kolem jádra, znázorňujtež jednotlivé elektronové vrstvy (skupiny), na nichž malé kroužky značí elektrony.

Nejlehčí z prvků, pro který byly zjištěny dva isotopy, jest, jak již víme, lithi um. Atomová hmota lehčího z obou isotopů jest 6; musí tedy obsahovati v jádře 6 kladných nábojů a 3 elektrony, aby jeho atomové číslo řadové bylo 3, a mimo to, aby atom celý byl elektricky neutrální, krouží kolem jádra tři volné elektrony, z nichž

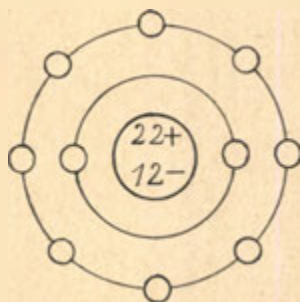
dva jsou ve skupině první, jádru bližší, třetí volný elektron jest již ve skupině druhé. Schematické znázornění tohoto atomu Li^0 jest na obr. 8.

Přidáme-li do jádra jeho jedno jádro vodíkové čili jeden proton a jeden elektron, vznikne atom, znázorněný schematicky obrazem 9.



Obr. 10.

Celkový náboj jádra zůstal beze změny, proto se nezměnil ani počet, ani celkové uspořádání neutralisujících elektronů. Proto též bude mít atom, znázorněný schématem obr. 9., tytéž vlastnosti chemické i stejné spektrum, jež jsou právě podmíněny těmito elek-



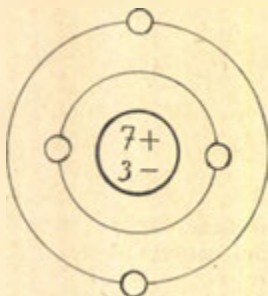
Obr. 11.

trony, jako atom předešlý, ale jeho atomová hmota jest o jedničku větší, tedy 7, takže jest to atom těžšího isotopu lithia čili Li^7 .

Podobně lze si schematicky znázorniti oba isotopy neonu, Ne^{20} (obr. 10.) a Ne^{22} (obr. 11.). Oba obsahují stejný počet volných elektronů, dva ve skupině první, osm ve druhé a stejný celkový náboj jádra, totiž 10 kladných nábojů; ale atom Ne^{20} má v jádře 20 nábojů

kladných a 10 záporných, a tedy atomovou hmotu 20, kdežto *Ne* má kladných nábojů 22 a záporných 12, tedy atomovou hmotu 22. U atomů těžších jest ovšem schematické znázornění čím dále, tím složitější.

Vraťme se ještě k atomu *Li*⁶, znázorněnému obr. 8. a přidejme mu opět jeden proton a jeden elektron, ale tak, že do jádra vstoupí jen proton, kdežto elektron zůstane volný, mimo jádro. Obdržíme tak atom, znázorněný obr. 12., jehož jádro má úhrnný náboj čtyř kladných jednotek, v první skupině dva volné elektrony a ve druhé rovněž dva. Chemické vlastnosti tohoto prvku byly by již zcela jiné, než vlastnosti lithia, byl by to atom prvku, jenž by byl isotopem prvku následujícího v pořadí prvkové soustavy, to jest he-



Obr. 12.

ryllia. Takový isotyp nebyl ovšem ještě pokusně zjištěn. Ale atomová hmotu tohoto hypotetického prvku by byla 7, tedy táž, jako atomová hmotu *Li*⁷. Takovéto prvky, mající různé vlastnosti chemické, ale stejnou atomovou hmotu, nazval r. 1918 A. W. Stewart prvky isobarycké čili prostě isobary.¹¹⁾ Zatím byly objeveny hojněji jen v čeledích prvků radioaktivních, kdež vznikají tím, že nějaký prvek vyšle částici paprsku β , čili pozbude jeho atom jednoho elektronu, čímž se jeho atomová hmotu nezmění, ale kladný náboj se o jednu jedničku zvýší a tedy prvek se posune o jedno místo ke konci v periodické soustavě prvků a nabude jiných vlastností chemických i spektrálních. Jsou jimi na příklad z řady radiové prvky *RaC''*, *RaD*, *RaE*, *RaF* čili polonium s atomovou hmotou 210, nebo z řady thoriové *ThB*, *ThC* a *ThC'* s atomovou hmotou 212 atd.

Mezi prvky, které nejsou radioaktivní, objeven byl zatím r. 1922 jen jeden případ takových prvků isobaryckých; jsou to lehčí isotyp vápníku *Ca*⁴⁰ a těžší isotyp argonu *Ar*⁴⁰, jež mají oba stejnou atomovou hmotu 40, ale různé vlastnosti chemické.

¹¹⁾ Z řeckých slov *ίσος* = stejný a *βαρύν* = těžký. Slovo »isobary« má zde ovšem zcela jiný význam než v meteorologii.

XI.

Důsledky kosmické.

Všimněme si dále zajímavých kosmických důsledků, které plynou z Rutherfordových názoru o stavbě atomové.

Jak protony, tak elektrony mají, jak jsme v IX. oddíle tohoto spisku poznali, určitou hmotu, representovanou dle teorie relativity energií pole elektromagnetického, kterým jsou obklopeny. Jsou-li však dva opačné náboje elektrické spolu těsně spojeny, působí na sebe jejich pole tak, že se celková hmota této soustavy poněkud zmenší. Takové těsné spojení nastává v jádrech atomových a proto jest hmota jader zpravidla o něco menší, než součet hmot protonů a elektronů, z nichž jsou jádra složena.

V jádře atomu vodíkového jest jen jeden proton, k němu příslušný elektron jest od něho poměrně značně vzdálen, takže zde není tak těsného spojení, a proto také hmota vodíkového atomu jest rovna součtu hmoty protonu a hmoty elektronu. Ale již v atomu heliovém jest spojení mnohem těsnější, takže při tvoření jádra heliového z protonů a elektronů se hmota zmenšuje, ale zato vydává se energie, jak jsme o tom již v IX. oddíle mluvili.

Z Einsteinovy teorie relativnosti plyne, že hmota m v klidu může býti zastoupena energií mc^2 , kdež c značí rychlost světla. I při nepatrných hmotách jest tato energie ohromná, neboť činitel c^2 jest $9 \cdot 10^{20} \frac{cm^2}{sec^2}$. Tak již při vytvoření jednoho atomového jádra heliového

ze čtyř protonů a dvou elektronů jest množství vydané energie tak veliké, že vyrovná se energii, které by nabylo množství elektřiny e jednoho elektronu, když by proběhlo potenciálním spádem $30 \cdot 10^6$ voltů.

Vypočtěme si množství energie, které by se uvolnilo, když by se 1 gram atom vodíku, to jest množství, obsažené v $9 cm^3$ vody, proměnil v helium. Ježto by tím ubylo hmoty o 0.0077 gramů, jest to energie

$$0.0077 \cdot 9 \cdot 10^{20} \text{ ergů} = 6.93 \cdot 10^{18} \text{ ergů} = 6.93 \cdot 10^{11} \text{ joulů.}$$

Protože 4.19 joulů jest práce ekvivalentní jedné malé kalorii, odpovídá vypočtené energii množství tepla $1.66 \cdot 10^{11}$ kalorií, tedy množství tak obrovské, že postačuje, abychom si jím dovedli vysvětliti udržování vysoké teploty sluneční i množství tepla vysálaného Sluncem do světového prostoru. Anglický badatel E d d i n g t o n vypočítal, že by ta ohromná zásoba energie stačila, aby udržela nynější sálání sluneční na dobu miliardy let, kdyby se jen 10% všeho vodíku, obsaženého ve Slunci, přeměňovalo v helium. Ovšem má tento výpočet zatím jen teoretickou cenu, neboť se dosud nepodařilo dokázati pokusně, že se skutečně mění vodík v helium.

Kdyby se však poštěstilo budoucím badatelům nějakým způsobem uvolnit energii spojenou s přeměnou vodíku v helium a proměnit ji v energii, upotřebitelnou v praktickém životě, mělo by lidstvo postaráno o tak vydatný zdroj energie, že by odpadly všechny starosti o náhradu za uhlí jako zdroj energie, které tíží lidstvo pro nedalekou budoucnost, až budou vyčerpány zásoby uhelných dolů. Tato energie byla by zdrojem požehnaní pro lidstvo, avšak mohla by se státi též zdrojem zhouby, když by se snad samovolně náhle uvolnila. Kdyby se všecken vodík na zeměkouli rázem přeměnil v helium, Země naše vzplanula by tak obrovským žářem, že by se tento děj projevil pozorovatelně mimozemským jako »stella nova« (nová hvězda), jež by na čas zdobila nebeskou klenbu.

Další významný důsledek, mající též kosmický význam, lze odvoditi z objevu isotopu i u těch prvků, které nejsou radioaktivní. Naskytá se otázka, zdali ty látky, které my nyní známe jako prvky, jsou snad konečnými nebo přechodnými zplodinami řad prvkových, podobných známým čeledím prvků radioaktivních. Neznáme ovšem ještě pořadí a sůn těch tušených prvkových řad, ale tolik jest jisto, že by musily býti ohromně dlouhé. Na to ukazuje též ta okolnost, že přesná určení atomových hmot jednotlivých prvků, pocházejících z nalezišť naprosto různých a majících různý původ, vedou vždy k týmž výsledkům. Tak na příklad pro chlór, jenž po většině pochází z mořské vody, vychází vždy pro atomovou hmotu číslo 35.46.

Aby se přesvědčila, platí-li tato hodnota též pro chlór jiného původu, podnikla r. 1921 slečna I r e n a C u r i e o v á určení atomové hmoty chlóru, vyvozeného z kanadského sodalitu (křemičitanu sodnatého, hlinitého a chlórového) a pak z norvěžského fosforečnanu vápenochlorového a dospěla k témuž výsledku.

Předpokládáme-li tedy, že prvky naše jsou skutečně zplodinami, vzniklými rozpadem jiných vyšších prvků, musíme souditi, že směs isotopu chlórových, tvořících nynější chlór, existovala smíchána v témže poměru již v oné dávné době, když se tvořil tuhý povrch naší Země. Co platí pro chlór, platí ovšem obdobně i pro ostatní prvky, pro něž byly dosud zjištěny isotopy.

XII.

Magnetické vlastnosti atomů.

Po této odbočce kosmické všimněme si ještě, jaký význam má Bohr-Rutherfordův výklad stavby atomové po stránce magnetických vlastností atomů.

Rotující elektron kolem atomového jádra představuje vlastně elektrický proud, který musí působiti magnetické pole ve svém okolí a má tedy určitý magnetický moment. Z magnetických vlastností atomových lze zase obráceně souditi o pohybu elektronů, kroužících v atomu.

Magnetický moment rotujícího elektronu lze vypočítati, násobíme-li náboj elektronu e počtem N oběhů za 1 vteřinu a plochou, kterou elektron opíše při svém jednom oběhu. Předpokládáme-li v nejjednodušším případě dráhu kruhovou poloměru a , jest magnetický moment rotujícího elektronu

$$m = e \cdot N \cdot \pi a^2.$$

Místo N zavedme dobu oběhu T dle známého vztahu

$$T = \frac{1}{N}.$$

Označíme-li ω úhlovou rychlost a uvážíme-li, že jest

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

lze N nahraditi výrazem $\frac{\omega}{2\pi}$. Pak jest

$$m = \frac{e}{2} \omega \cdot a^2. \quad (4)$$

Rozměrově tato rovnice souhlasí. Jest totiž rozměr magnetického momentu součin rozměru magnetického množství a délky,

$$\text{tedy } \frac{g^{\frac{1}{2}} \text{ cm}^{\frac{3}{2}}}{\text{sec}} \cdot \text{cm} = \frac{g^{\frac{1}{2}} \text{ cm}^{\frac{5}{2}}}{\text{sec}},$$

Množství elektriny e má v soustavě elektromagnetické rozměr $g^{\frac{1}{2}} \text{ cm}^{\frac{1}{2}}$, rozměr úhlové rychlosti jest $\frac{1}{\text{sec}}$ a čtverce poloměru cm^2 .

Má tedy prvá strana rozměr $\frac{g^{\frac{1}{2}} \text{ cm}^{\frac{1}{2}}}{\text{sec}} \cdot \text{cm}^2 = \frac{g^{\frac{1}{2}} \text{ cm}^{\frac{5}{2}}}{\text{sec}}$. Ježto

$\frac{g^{\frac{1}{2}}}{\text{sec} \cdot \text{cm}^{\frac{1}{2}}}$ jest rozměr jednotky intensity magnetického pole (1gausu), lze rozměr magnetického momentu též vyjádřiti součinem $\text{gaus} \times \text{cm}^3$.

Vyšetřeme nejdříve, které případy mohou nastati, když atomové jádro, kolem něhož krouží elektrony, přijde do homogenního magnetického pole, jež působí na dráhy jednotlivých elektronů právě tak, jako na kruhové závity proudu vodiče. Jest známo, že je pole stáčí tak, aby jejich roviny byly kolmy k siločarám pole, čili aby siločáry jejich vlastního pole splynuly se směrem siločar pole vnějšího. Vložení atomu do magnetického pole mohou nastati tři různé případy.

Předpokládejme, že momenty magnetické, působené pohyby elektronů, v jednom atomu se navzájem ruší, takže atom celý jeví

se na venek nemagnetickým. Přejde-li takový atom do pole magnetického, chová se jako látka diamagnetická, to jest, staví se napříč k siločarám pole. Jestliže se však momenty působené pohyby elektronů v atomu navzájem neruší, má atom určitý výsledný moment magnetický a tedy postaví se v zevnějším magnetickém poli tak, aby směr jeho siločar splynul se směrem pole zevního, čili chová se jako látka paramagnetická. Třetí možný případ jest ten, že se magnetické momenty působené jednotlivými elektrony v atomu spolu ruší, dokud není atom v jiném magnetickém poli, ale že vlivem zevnějšího pole toto rušení přestane; atom jeví se pak magnetickým, čili nastává tu děj, který nazýváme *indukcí magnetismu*.

Kroužící elektron lze však po stránce mechanické považovati za jakýsi setrvačník, který má určitý otáčecí moment impulsivní I . Vypočítáme jej, násobíme-li hmotu elektronovou μ jeho úhlovou rychlostí ω a čtvercem poloměru elektronové dráhy:

$$I = \mu \omega a^2. \quad (5)$$

Součin rozměru na pravé straně dává $\frac{g}{sec} \cdot cm^2 = erg \times sec$, což jest rozměr impulsivního momentu. Dělicí rovnici (4) pro magnetický moment rovnici (5), obdržíme

$$\frac{m}{I} = \frac{1}{2} \frac{e}{\mu} \quad (6)$$

Kvantová teorie¹²⁾ však připouští pro impulsivní momenty jen takové hodnoty, které jsou celistvými násobky Planckova elementárního kvanta h , děleného 2π . Může tedy I míti pouze hodnoty, jež lze vyjádřiti vztahem

$$I = n \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad (7)$$

kdež n jest celistvé číslo kladné. Nejjednodušší hodnoty nabude I pro $n = 1$; pak

$$I = \frac{h}{2\pi}$$

Atom takový, pro něž platí tento vztah, tak zvaný atom jedno-
kvantový, jest tedy atomovým magnetem s nejjednodušším možným momentem magnetickým m , který lze počítati z rovnice (6).

$$m = \frac{1}{2} \frac{e}{\mu} \cdot \frac{h}{2\pi} = \frac{h}{4\pi} \cdot \frac{e}{\mu}$$

Pravá strana této rovnice obsahuje samé známé veličiny. Planckovo kvantum $h = 6.53 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec}$ a poměr $\frac{e}{\mu}$ v míře

¹²⁾ Viz poznámku 2.

elektromagnetické jest¹³⁾ $1.77 \cdot 10^7 \frac{cm^{\frac{1}{2}}}{g^{\frac{1}{2}}}$, i plyne $m = 9.202 \cdot 10^{-21}$

gaus. cm^3 a nazývá se elementárním Bohrovým magnetonem.

Sečteme-li tyto magnetické momenty pro všechny atomy, obsažené v jedné grammolekule tím, že násobíme předešlou veličinu číslem Avogadrovým $0.606 \cdot 10^{24}$, obdržíme magnetický moment jedné grammolekuly $M = 5576 \text{ gaus} \times cm^3$. Tato veličina nazývá se Bohrovým magnetonem pro 1 grammolekulu.

Ocitne-li se atomový magnet v homogenním poli magnetickém, může zaujmouti, jak vypočítali z kvantové teorie P. Debye a A. Sommerfeld, jen určité polohy vzhledem k siločarám magnetického pole. Při atomu jednokvantovém jsou možny polohy pouze dvě, při atomu n -kvantovém $2n$ poloh, jejichž odchylky od směru siločar pole dány jsou vztahem

$$\cos \varphi = \pm \frac{n'}{n}, \text{ kdež } n' = 1, 2, 3, \dots n.$$

Je-li však pole nehomogenní, působí na atomový magnet síla přímo úměrná magnetickému momentu jeho m a veličině, určující nehomogenitu pole, to jest $\frac{\partial H}{\partial s}$, kdež H značí intenzitu pole a

s délku siločar, podél níž se intenzita pole mění. Při atomech jednokvantových nastane tedy vlivem této síly pohyb atomů jen dvěma možnými směry, a to jednak souhlasně se směrem rostoucí intenzity pole, jednak směrem protivným.

R. 1922 provedli badatelé W. Gerlach a O. Stern pokusnou zkoušku správnosti tohoto důsledku, plynoucího z kvantové teorie. Pustili ve vakuu jemný svazek volných atomů stříbrných podél pólu silného elektromagnetu, majícího podobu ostré hrany a zachycovali jej pak na desce. Svazek atomů se skutečně rozštěpil na dva proudy a velikost toho rozštěpení závisí na uvedené síle a na době, po kterou tato síla na atomy působila. Tu lze zase vypočítati z rychlosti a dráhy, kterou proběhly atomy v magnetickém poli. Z výsledků těchto pokusů odvodili Gerlach a Stern též hodnotu Bohrova magnetonu pro gramatom stříbra a obdrželi výsledek $5475 \text{ gaus} \times cm^3$, kteráž odpovídá velmi dobře uvedené hodnotě teoretické $5576 \text{ gaus} \times cm^3$.

Jest zajímavé, že již r. 1911 zavedl pojem magnetonu P. Weiss, ovšem zcela jiným způsobem. Vyšel z magnetických momentů, stanovených při nasycenosti látek feromagnetických za

¹³⁾ Viz na př. X. tabulku na str. 185. pátého vyd. Valouchových Logaritmických tabulek z r. 1923.

velmi nízkých teplot a z těch odvodil extrapolací hodnoty, které by pro dotyčné látky platily při teplotě nulového bodu absolutní stupnice teplotní. Z těchto hodnot stanovil momenty pro jednu grammolekulu a konečně pro jeden atom příslušné látky. I sledal, že atomové momenty niklu, kobaltu a železa jsou k sobě v poměru 3 : 9 : 11 a hodnota, kterou bylo nutno tato poměrná čísla násobiti, aby vyšly gramatomové momenty uvedených kovů, byla 1123 gausů $\times cm^3$. Dělí-li se tato hodnota opět číslem Avogadro-vým, obdržíme magnetický moment pro 1 atom; vychází $18\cdot5 \cdot 10^{-22}$ gausů $\times cm^3$. Tuto veličinu označil Weiss jakožto magneton a domníval se, že jest to universální magnetická jednotka, jejímiž násobky jsou magnetické momenty atomů všech látek.

Jest tedy Weissův magneton veličinou odvozenou empiricky z měření bez jakékoliv teorie. A jest jistě zvláštní věc, že mezi ním a magnetonem Bohrovým, odvozeným na základě úplně teoretickým z kvantové teorie, jest jednoduchá závislost, kterou obdržíme, uvedeme-li obě hodnoty platné pro jednu grammolekulu do poměru:

Weissův magneton : Bohrovu magnetonu = 1123 : 5576, což jest velmi přibližně jako 1 : 5.

Označme m_0 měřený magnetický moment jedné grammolekuly určité látky, p počet magnetonů Weissových m_w v jedné grammolekule a b zdánlivý počet magnetonů Bohrových m_B bez zřetele k jejich usměrnění v magnetickém poli; pak platí vztah:

$$m_0 = p \cdot m_w = b \cdot m_B, \quad (8)$$

$$\text{kdež} \quad b = \frac{p}{5}. \quad (9)$$

Z Bohrovy teorie pak plyne mezi počtem b a číslem n , udávajícím, jak již bylo uvedeno výše, počet elementárních kvant Planckových, připadajících na jednotlivý atom a tedy též skutečný počet Bohrových magnetonů elementárních, souvislost

$$b = \sqrt{\frac{1}{2} (n+1) (2n+1)}. \quad (10)$$

O její správnosti svědčí výsledky měření, které r. 1920 provedl W. Pauli na paramagnetických plynech kyslíku (O_2) a kyslíčnicku dusnatém (NO). Naměřil pro grammolekulu kyslíku počet Weissových magnetonů $p = 14\cdot12$, pro grammolekulu NO pak $p = 9\cdot2$. Z toho vychází dle rovnice (9) pro O_2 , $b = 2\cdot82$, pro NO pak $b = 1\cdot84$. Rovnice (10) však dává pro kyslík, dosadí-li se $n = 2$ pro b hodnotu

$$b = \sqrt{7\cdot5} = 2\cdot74$$

a pro kysličník dusnatý při $n = 1$

$$b = \sqrt{3} = 1\cdot73.$$

Obě tyto hodnoty souhlasí pěkně s výsledky přímých měření a plyne z nich, že molekula O_2 obsahuje dva elementární Bohrovy magnetony, molekula NO však jen jeden.

Podobná měření provedli pro jiné látky W. Cabrera, W. Gerlach a A. Sommerfeld v letech 1922 a 1923 s výsledky rovněž velmi uspokojujícími, jak plyne z přehledu následujícího:¹⁴⁾

Látka:	NO, Pd	O_2	Cr'''	Cr''	Mn''
	Pt, Cu''		MnO	Co''	Fe'''
	Ti''			Mn_2O_3	MnO
p	9	14	19	24	29
$p = b$	1·8	2·8	3·8	4·8	5·8
n	1	2	3	4	5
b počít. z n	1·73	2·74	3·74	4·75	5·75

Ve třetím řádku jsou uvedeny hodnoty b , jak plynou z pozorovaných veličin p , v pátém pak hodnoty b , vypočtené dle rovnice (7) z čísel n , udávajících počet magnetonů Bohrových. Obojí hodnoty souhlasí spolu velmi dobře.

XIII.

O zjevech magnetooptických.

Magnetické momenty atomové mají též důležitý význam pro zjevy optické a hlavně magnetooptické.

Zjevy magnetooptickými nazýváme optické úkazy, které se dostavují působením magnetického pole, jímž světlo prochází. Z nich nejznámější jest zjev, zvaný po svém objeviteli r. 1896 holandském fysiku prof. P. Zeemanovi, zjev Zeemanův. Jest dvojí: normální a anomální, normální pak jest zase dvojí.

Jde-li světlo, vysílané na příklad zářícím vodíkem, směrem siločar magnetického pole a pozorujeme-li je spektrálním přístrojem, rozštěpí se každá čára spektrální ve dvě složky, zvané Zeemanovy dubletty, jež jsou kruhově polarisovány, ale směry navzájem opačnými. Jde-li však světlo kolmo k siločarám, rozdělí se každá spektrální čára ve tři čáry, Zeemanovy tripletty; při tom leží prostřední čára na místě čáry původní a světlo její jest polarisováno rovnoběžně se silo-

¹⁴⁾ Vyňatého z článku W. Gerlachova: »Magnetismus und Atombau«, vyšlého ve II. díle »Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften« v Berlíně r. 1923, z něhož čerpána látka k XII. a XIII. části našeho spisku. Mnoho z referátů Dra Alfr. Wenzela: »Magnetismus und Atombau«, »Magneto-optik und Atombau« v I. a II. sešitě 37. ročníku »Zeitschrift für den physikal. u. chem. Unterricht« z r. 1924.

čarami pole magnetického, obe ostatní čáry pak leží na týchž místech jako dublety při zjevu dřívějším, ale jejich světlo jest polarisováno ke směru magnetického pole kolmo. Pošínutí čar měřené rozdílem kmitočtu $\Delta\nu$ proti kmitočtu původní čáry jest úměrno poměru $\frac{e}{\mu}$ náboje a hmoty elektronu, intenzitě magnetického pole \mathfrak{H} a nepřímo rychlosti světla. Závislost tu lze psát dle Zeemanova učitele profesora H. A. Lorentze

$$\Delta\nu = \pm \frac{e}{\mu} \cdot \frac{\mathfrak{H}}{4\pi c} = 4.7 \cdot 10^{-5} \mathfrak{H}. \quad (11)$$

Anomální zjev Zeemanův objevuje se v podobě značně složitější. Mimo uvedené základní složkové čáry dostávají se ještě vedlejší linie slabší, jež se zase ještě dále štěpí. Posunutí kmitočtu, která zde nastávají, měřil prof. Runge a shledal, že jsou to vždy celistvé násobky určitého základního rozdílu kmitočtového $\Delta\nu_r$, který lze vypočítati, dělí-li se pošínutí určené Lorentzovou rovnicí (11) určitým celistvým číslem r , tedy

$$\Delta\nu_r = \frac{\Delta\nu}{r} \quad (12)$$

Číslo r nazývá se číslem Rungeovým pro určitý druh zjevu Zeemanova a jest různé pro různé čáry spektrální jednotlivých prvků. Že však číslo r i druhi zjevu Zeemanova jsou stejné pro prvky, které patří do téže skupiny periodické soustavy prvkové a pro spektrální čáry patřící obdobným skupinám čar u těchto prvků, svědčí o tom, že zjev ten úzce souvisí s atomovou stavbou. Ta okolnost pak, že pošínutí čar jest celistvým násobkem určitého základního pošínutí, nasvědčuje tomu, že i zde se jedná o zjev, který jest řízen zákonem kvantovým.

Podati obecnou teorii anomálního zjevu Zeemanova jest úkol velmi obtížný, který alespoň částečně se zdarem řešil v posledních letech Alfred Landé v Tubinkách, jenž r. 1923 našel pravidla, jak lze počítati pošínutí a rozštěpení jednotlivých spektrálních čar. Jsou však dosti složitá a proto nebudu jich zde uváděti.

Jednodušší zjev normální podařilo se uspokojivě vysvětliti Bohrově teorii atomové r. 1922, když před tím již částečnou teorii toho zjevu podali P. Debye r. 1916, A. Rubinowicz r. 1918 a A. Sommerfeld r. 1919 a 1920. Matematické řešení pro atom vodíkový vedlo k výsledku, že elektron kroužící kolem jádra koná v poli magnetickém touž dráhu jako bez magnetického pole, ale nutno ji vztahovati k soustavě souřadnic, která se sama otáčí rovnoměrně kolem směru siločar magnetického pole rychlostí v , která závisí na poměru $\frac{e}{\mu}$, intenzitě magn. pole \mathfrak{H} a rychlosti šíření světla c . Aby tedy bylo možno stanovití stabilní dráhy elektronu

v atomu, jest třeba k energii pohybu elektronového mimo magnetické pole přidati přírůstek vzniklý z pohybu, zminěnou rychlost v . Součin z Planckova kvanta h a rozdílu kmitočtů ν musí se pak rovnati rozdílu těchto přírůstků energií elektronového pohybu mezi počátečním stavem a konečným při přechodu elektronu z vícekvantové dráhy do méněkvantové.

Matematické propočtení provedené na základě těchto myšlenek, souhlasí s měřením potud, že rozštěpení spektrálních čar jest skutečně přímo úměrno intenzitě magnetického pole, a mimo to ještě v tom, že dovede též udati stav polarisační jednotlivých čar při průchodu rovnoběžným i kolmém k siločarám.

Jednoduchý normální zjev Zeemanův jako u čar vodíkových vyskytuje se též u těch prvků, které mají ve vnější elektronové skupině pouze po jednom elektronu, jako na příklad lithium (viz obr. 8. a 9.). U prvku ostatních vyskytují se zjevy anomální. Bohr soudí, že jejich příčinou jest vzájemné působení magnetického pole zevnějšího a magnetického pole elektronů obsažených v jádře atomovém na pole elektronu kroužících mimo jádro: následkem působení toho nezachovávají zevní elektrony pevné roviny svých drah, nýbrž roviny jejich drah otáčejí se kolem určité pevné osy. Že se tento názor blíží pravdě, potvrzuje pozorování, které provedli r. 1921 F. Paschen a E. Back, že totiž ve velmi silných polích magnetických přechází anomální zjev Zeemanův v normální. To odpovídá mínění Bohrovu, uvážíme-li, že působení vnitřních elektronů v jádře obsažených na elektrony kroužící zevně má vliv tím menší, čím více zesilujeme zevní pole magnetické, a že pak tedy anomální zjev vytvořený právě tím působením přechází v normální. Teoreticky ovšem jen pro dubletty Zeemanovy řešil zjev tohoto přechodu již r. 1913 prof. gotinkské university W. Voigt, obecněji prof. A. Sommerfeld na základě teorie kvantové.

Mezi zjevy magnetooptické vedle Zeemanova zjevu patří dále úkaz, který pozoroval r. 1919 W. Steubing na parách jodových, svítících buď následkem předchozího ozáření nebo působením výboje elektrických. Světlost záření počínajíc od vlnové délky 500 $\mu\mu$ výše značně slábne, působíme-li na páry zesilovaným polem magnetickým. Účinkuje tu patrně magnetické pole na děj vlastní emise světelné jodových atomů.

Jiný magnetooptický děj pozorovali r. 1921 prof. J. Franck a W. Grotrian na parách rtuťových. Jestliže se atomy rtuťových par ozáří zářením délky vlnové 253.67 $\mu\mu$, spojují se s jinými atomy v molekuly, které se pak opět rozpádávají, vysílajíce současně záření význačné svým sloupovým spektrem. Rozpádávání to nastává zvláště, když jest tlak rtuťových par dosti veliký, neboť pak se srážejí častěji molekuly navzájem. Jestliže však tlak se snižuje, klesá i svítivost, až při určitém tlaku zhasne úplně. Když však Franck a Grotrian působili na páry již nesvítící magnetickým

polem, objevilo se záření opět. Magnetické pole podporuje tedy patrně rozpad molekul v atomy.

Čtvrtý ze zjevů magnetooptických jest tak zvaný zjev Cotton-Moutonův, pozorovaný na některých kapalinách isotropických, které se v magnetickém poli stávají opticky anisotropickými tak, že se chovají jako jednoosé krystaly s krystalografickou osou ležící ve směru intenzity magnetického pole.

Vysvětliti uspokojivě všechny tyto zjevy bude úkolem badatelů budoucích.

XIV.

O molekulárních magnetech.

Ke konci svých vývodů uvažme ještě, jak se staví Bohrova teorie stavby atomové k Ampèreově teorii molekulárních magnetů. Jak jest známo, představoval si Ampère, že molekulární magnety buzeny jsou elektrickými proudy, které krouží kolem molekul látek feromagnetických. Proudů ty musily by býti stálé, beze všeho odporu a beze ztráty energie, která by mohla vzniknouti zářením. Kdyby se totiž umenšovala energie v těchto proudech obsažená, musil by se též umenšovati magnetický moment molekulárních magnetů. Podmínky tyto, kterým by musily vyhovovati molekulární proudy elektrické, jsou těžko splnitelné a jejich existence jest jednou ze záhad atomové teorie, která není posud řádně vysvětlena.

Předpokládáme-li však, že příčinou molekulárního magnetismu jsou krouživé pohyby elektronů v atomech, můžeme z rovnice (6), platné pro jeden kroužící elektron, odvoditi rovnici pro celé magnetické těleso. Sečteme-li totiž magnetické momenty všech atomů obsažených v tělese ve výsledný moment magnetický Σm a všechny impulsivní otáčecí momenty I ve výsledný moment ΣI , musí platiti vztah:

$$\frac{\Sigma m}{\Sigma I} = \frac{1}{2} \frac{e}{\mu}, \quad (13)$$

neboť poměr $\frac{e}{\mu}$ jest pro všechny elektrony veličinou stálou.

Správnost této rovnice a tím i uvedeného předpokladu pokusně dokazovali A. Einstein a W. de Haas r. 1915 a 1916 tím, že měnili magnetisaci zavěšeného železného drátu a zjišťovali, dostaví-li se též otáčivý moment, který by vyhovoval rovnici (13). Skutečně se jim podařilo při přemagnetování tenkého drátu železného zjistiti malou úhlovou rychlost. Aby ji mohli lépe určovati, užívali odrazu světla na zrcátku připevněném k tomu zavěšenému drátu železnému a zesilovali účinek ještě působením resonance cívky, kterou probíhal střídavý proud a v jejíž ose byl železný drát za-

věšen. Výsledky, které takto obdrželi, měly odchylky až 50% od čísel plynoucích z rovnice (13).

Obrácenou cestou hleděli se přesvědčiti o správnosti té rovnice jednak r. 1918 J. A. Stewart, jednak r. 1923 S. J. Barnett. Zjistili, že stočení magnetického tělesa způsobí změnu jeho magnetisace skutečně, ale číselné jejich výsledky jsou zase dosti odchýlné od výsledků, jež by dala rovnice (13).

Zůstává tedy otázka po původu molekulárního magnetismu posud nerozřešena. Tolik lze však míti za jisto, že příčina, proč některé látky jsou feromagnetické, neleží ve stavbě atomové, nýbrž spíše ve zvláštním seskupení atomu v molekuly.

Ukazuje na to zjev známý, že železo při tak zvané teplotě zániku 765° přechází z modifikace feromagnetické α v modifikaci β , která již není feromagnetickou a chová se jako jiné látky jen paramagnetické. Při této teplotě poruší se dřívější zvláštní seskupení molekulární, ať již jest to jiné uspořádání atomů v molekulách, nebo snad zvláštní úprava prostorových krystalických mřížek v železe.

Vedle těchto dvou modifikací jest železo schopno ještě nabýti dvou modifikací dalších γ a δ . Modifikace β přechází při teplotě 898° v modifikaci γ , jež jest též jen paramagnetická, a ta zase při teplotě 1401° v modifikaci δ , která jest opět feromagnetická a jest jakoby pokračováním modifikace α při vysokých teplotách. Westgren r. 1921 a Wever r. 1922 dokázali spektrální analysou paprsků Rontgenových, že modifikace železa γ má zcela jinou mřížku prostorovou než modifikace α , β a δ . Mimo to zjistili, že kalená ocel při 760° má větší mřížkovou konstantu než nekalená.

Tyto zjevy nasvědčují tomu, že některá ze tří uvedených domněnek o příčině feromagnetismu jest správná. Která ovšem to jest, není dosud rozhodnuto.

V Praze v září 1925.

JEDNOTA ČESKOSL. MATEMATIKŮ A FYSIKŮ V PRAZE

vydala:

»Sborník J. Č. M. F.«, číslo:

- | | |
|---|---------|
| I. Weyr Ed.: Projektivná geometrie základných útvarů prvního řádu. 2. vyd. 192 + XII stran, 112 obr. | Kč 8-40 |
| VIII. Koloušek J.: Matematická teorie důchodů jistých a půjček anuitních, 256 + II strany | » 9-20 |
| X. Sobotka J.: Deskriptivní geometrie promítání paralelního, 644 + XX stran, 471 obr. | » 24-— |
| XI. Strouhal Č.: Termika. 658 + XVI stran, 214 obr. | » 26-— |
| XIV. Kučera B.: Nástin geometrické optiky a základů fotometrie, 464 + XVI stran, 203 obr. a 1 příloha | » 22-— |
| XV. Strouhal Č. a Novák K.: Optika, 864 + XXIV stran, 482 obr. | » 66-— |
| XVI. Petr K.: Počet diferenciální (část analytická), 466 + XVI stran, 11 obr. | » 90-— |
| XVII. Petr K.: Počet integrální, 2. vyd. (v tisku). | |

»Knihovna spisů matematických a fysikálních«, svazek:

- | | |
|---|---------|
| 1. Hostinský B.: Diferenciální geometrie křivek a ploch. 128 + VIII stran, 35 obr. | Kč 6-— |
| 2. Vojtěch J.: Základy matematiky ke studiu věd přírodních a technických. 3. rozš. vyd. Část I. 412 + VIII stran, 88 obr. | » 48-— |
| 3. a 4. Novák V.: Fysika. 2. rozš. vyd. Základní poznatky na podkladě pokusném. Díl I. Mechanika. Akustika. Nauka o teple. Díl II. Magnetismus a elektřina. Nauka o zářivé energii. VIII + XI + 1185 stran, 818 obr. Prodává se jen jako celek (oba díly) | » 148-— |
| 5. Semerád A.: Příručka praktické geometrie. 523 + XV stran, 303 obr. a 4 tab. | » 72-— |
| 6. Kučera B.: Základy mechaniky tuhých těles. Úvod do studia fysiky. 296 + VIII stran, 121 obr. | » 48-— |
| 7. Vojtěch J.: Základy matematiky ke studiu věd přírodních a technických. Část II. 358 + VI stran, 28 obr. | » 44-— |
| 8. Bydžovský B.: Analytická geometrie v rovině a v prostoru. 412 + IV stran, 62 obr. | » 48-— |
| 9. Láska V. a Hruška V.: Počet grafický a graficko-mechanický. 188 + 10 stran, 127 obr. | » 34-— |
| 10. Dušl K.: Úvod do počtu vektorového. 121 + VIII stran, 21 obr. | » 19-— |
| 11. Hostinský B.: Mechanika tuhých těles. Přednášky konané na přírodovědecké fakultě Masarykovy university. 286 + VIII stran, 124 obr. | » 48-— |
| 12. Posejpal V.: Roentgenovy X paprsky. | |

»Kruh«, sbírka spisů, vydávaná J. Č. M. F., svazek:

- | | |
|--|---------|
| 1. Závíska F.: Einsteinův princip relativnosti a teorie gravitační. 168 stran, 10 obr. | Kč 16-— |
| 2. Hostinský B.: Geometrické pravděpodobnosti (v tisku) | |

Učebnice:

- | | |
|---|---------|
| Adámek, Měřivství pro školy mistrovské, odb. a řem., 3. vyd. | Kč 18-— |
| » Tabulky obvodů a obsahů kruhů, mocnin a odmocnin čísel od 1 do 1000 | » 3-20 |
| » Trigonometrie pro školy mistrovské, 4. vyd. | » 5-20 |

<i>Březina-Štěpánek</i> , Praktická cvičení z fyziky	» 12·40
<i>Bydžovský</i> , Aritmetika pro IV.—VII. tř. š. st., díl I, 5. vyd.	» 18—
» Aritmetika pro IV.—VII. tř. š. st., díl II, 3. vyd.	» 17—
<i>Bydžovský-Vojtěch</i> , Matematika pro nejv. tř. g. a r. g.	» 5 20
» Matematika pro nejv. tř. r.	» 5·20
» Sbírka úloh z matematiky, 3. vyd.	» 28—
<i>Červenka</i> , Aritmetika pro I. tř. š. st., 5. vyd.	» 8·40
» Aritmetika pro II. tř. š. st., 5. vyd.	» 7·40
» Aritmetika pro III. tř. š. st., 5. vyd.	» 12—
<i>Hošek</i> , Algebra pro školy mistrovské, 2. vyd.	» 14—
<i>Hrubeš-Osovský</i> , Deskriptivní geom. pro 4. tř. r.	» 6—
<i>Kálal</i> , Sbírka úloh z descr. geom. pro r. g.	» 2·80
» Sbírka úloh z descr. geom. pro r.	» 5·20
<i>Ledrer</i> , Měřictví a průmětnictví pro pokr. šk. prům.	» 6·80
<i>Mašek</i> , Fyzika pro vyšší tř. š. s., díl I, 5. vyd.	» 24—
» Fyzika pro vyšší tř. š. s., díl II, 4. vyd.	» 24—
<i>Mašek-Němeček</i> , Chemie pro reálky, díl I, 4. vyd.	» 15—
» Chemie pro reálky, díl II, 3. vyd.	» 22—
<i>Osovský</i> , Čtyřmístné tabulky logaritmické a trigonometrické	» 1·20
<i>Petira</i> , Fyzika pro nižší třídy škol střed., 6. vyd.	» 25—
<i>Piňhard-Seifert</i> , Zákl. descr. geom. pro IV. tř. r., 4. vyd.	» 8·80
» Zákl. descr. geom. pro V. tř. r., 3. vyd.	» 12—
» Zákl. descr. geom. pro VI./VII. tř. r., 3. vyd.	» 14·80
» Zákl. descr. geom. pro r. g. a ref. r. g., 3. vyd.	» 22—
<i>Semerád-Valouch</i> , Pětimístné tabulky logaritmicko-trigono-	
metrické pro šedesátinné a setinné dělení kvadrantu a poly-	
gonálné tabulky pro setinné dělení kvadrantu	» 24—
<i>Schron-Valouch</i> , Sedmimístné tabulky logaritmů čísel	» 14—
<i>Valouch</i> , Měřictví pro nižší třídy (I-III) š. st., 6. vyd.	» 25—
» Tabulky logaritmické, 5. vyd.	» 16—
» Sedmimístné tabulky logaritmů čísel (v tisku)	» ——
<i>Vojtěch</i> , Geometrie pro IV. a V. tř. š. st., 5. vyd.	» 30—
» Geometrie pro VI. tř. š. st., 4. vyd.	» 17—
» Geometrie pro VII. tř. š. st., 3. vyd.	» 18·40
» Trigonometrie pro ústavy učitelské	» 12—
<i>Bydžovský-Ondruš</i> , Aritmetika (v tisku)	» ——
<i>Bydžovský-Vojtěch</i> , Sbírka úloh z matematiky	» 30—
<i>Červenka-Bučan</i> , Aritmetika pre I. tr. škol str., 2. vyd.	» 8·80
» Aritmetika pre II. tr. škol str., 2. vyd.	» 7·80
» Aritmetika pre III. tr. škol str., 2. vyd.	» 12—
<i>Jeništa-Krmešský</i> , Fyzika pre vyššie tr. š. str. (v tisku)	» ——
<i>Mašek-Němeček</i> , Chemia pre stredné školy, diel I.	» 18—
<i>Petira-Krmešský</i> , Fyzika pre nižšie tr. škol str.	» 28—
<i>Piňhardt-Seifert-Ondruš</i> , Zákl. descr. geom. pre r. a r. r. g.	» ——
<i>Valouch-Murgáš</i> , Meroveda pre nižšie tr. škol str., 2. vyd.	» 25—
<i>Vojtěch-Bučan</i> , Geometria pre IV. a V. tr. šk. str.	» 30—
<i>Gedő</i> , Mértan a közepiskolák IV.—VIII. osztályai száma	» 40—

Různé spisy matematicko-fyzikální.

<i>Archiv matematiky a fyziky</i> , Sv. I. 1875/6. Sv. II. 1876/8	KČ 4—
<i>Bellavitis G.-Zahradník K.</i> : Metoda equipollenci, 104 + 4 strany, 37 obr.	» 1·60
<i>Briot K.-Pšenička J.</i> : Mechanická teorie tepla, 276 + XII stran, 82 obr.	» 8—
<i>Čubr E.</i> : O měření země, 74 stran, 5 obr.	» —80
<i>Ducl K.</i> : Úvod do nauky o thetafunkcích, 350 + XIV stran. 13 obr.	» 36—

<i>Index</i> Časopisu pro pěstování mat. a fys. za roč. 1.—30., 90 + IV strany	»	240
<i>Krkoška J.</i> : Základy pohybového příčinosloví ve světle svého vývoje. Úvod do dnešní nauky o pohybu, 176 stran	»	240
<i>Kučera B.</i> : Tajemství dalekonosného děla, 56 stran	»	180
<i>Machovec F.</i> : Zobrazování tečen a středů křivostí křivek, 140 + IV strany, 84 obr.	»	6—
<i>Mašek B.</i> : Hvězdářská ročenka pro rok 1921, 156 + IV str., 13 obr.	»	30—
» » » » » 1922, 144 + II str., 15 obr.	»	28—
» » » » » 1923, 152 str., 19 obr.	»	28—
» » » » » 1924, 150 str., 20 obr.	»	28—
» » » » » 1925, 144 str., 11 obr.	»	28—
» » » » » 1926 (v tisku).		
<i>Novák V.</i> : Fysikální názor světový, 32 stran, 3 obr.	»	4—
<i>Pecl P.</i> : Aplikace Newton-Puisseuxovy metody v geometrii, 40 str., 27 obr.	»	1—
<i>Petr K. a Kučera B.</i> : Sborník prací matematických a fysikálních, vydaný na počest šedesátého výročí narozenin dr. E. Kolářka. 270 + IV strany	»	6—
<i>Semerád-Valouch</i> : Pětmístné tabulky logaritmicko-trigonometr. pro šedesátinné a setinné dělení kvadrantu a polygonálně tabulky pro setinné dělení kvadrantu, 208 + VIII stran	»	24—
<i>Servit F.</i> : Eukleidovy základy, 240 + VI str., s obr.	»	10—
<i>Seydler A.</i> : Izák Newton a jeho principia, 70 str.	»	160
<i>Sobotka J.</i> : Differenciální geometrie. Díl I—III, 1559 str. s obr.	»	34—
<i>Studnička F. J.</i> : O kvaternionech, 100 stran, 10 obr.	»	2—
<i>Studnička F. J.</i> : Základové nauky o číslech, 154 str., 5 obr.	»	160
<i>Valouch M.</i> : Tabulky astronomické, fysikální a chemické, jakož i čtyřmístné logaritmy, 72 stran	»	560
<i>Weyr Em. a Weyr Ed.</i> : Základové vyšší geometrie. Díl III. 168 stran, 32 obr.	»	8—
<i>Zpráva J. Č. M., red. M. Neumanna a A. Pánka.</i> Druhá 1871. Třetí 1872. Po	»	160

Jiné spisy.

<i>Drutvová B.</i> : Positivismus ve fysice, 20 stran	Kč	280
<i>Kaván J.</i> : Katalog knihovny J. Č. M. 1909, 212 + XX stran	»	4—
<i>Klíma Stan.</i> : Slovensko. Obraz jeho minulosti a přítomnosti. 2. doplněné vydání, 112 stran	»	12—
<i>Lectures expliquées pour tous</i> (Sbírka cizojazyčné četby): Sv. 1. <i>Guy de Maupassant</i> : Choix de contes. Vydal dr. Ferd. Špíšek. Díl I. 102 stran, 1 obr.	Kč	12—
Sv. 2. Totéž. Díl II. (V tisku.)		
<i>Pánek A.</i> : Dr. Frant. Jos. Studnička. Nástin jeho života a činnosti. 112 + II strany	»	240
<i>Petr K. a Sobotka J.</i> : O životě a činnosti Ed. Weyra, 60 + IV str., s obr.	»	120
<i>Placht O.</i> : České daně 1517—1652. Stran 180	»	38—
<i>Posejpal V.</i> : Dějepis J. Č. M. 1912, 132 + VIII str., s obr.	»	6—
<i>Vorovka K.</i> : Kantova filosofie ve svých vztazích k vědám exaktním, 140 stran	»	12—
<i>Votoček E.</i> : Česko-francouzský slovník terminologický a fraseologický pro chemii, fysiku a vědy příbuzné. XX + 534 stran. 1 tab. Brož. Kč 90—, váz.	»	96—