

Vilém Santholzer

Umělá radioaktivita a nové názory o jádře atomu

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 64 (1935), No. 4, D65--D70

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/108833>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1935

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



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

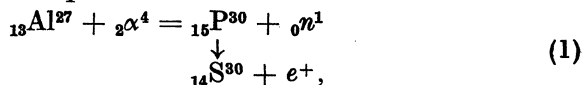
ČLÁNKY A REFERÁTY.

Umělá radioaktivita a nové názory o jádře atomu.

Vilém Santholzer, Praha.

Začátkem r. 1934 byl v pařížském Institut du Radium učiněn objev t. zv. umělé radioaktivity a uměle radioaktivních prvků.¹⁾ V anglickém a americkém odborném tisku užívá se pro tento zjev názvu indukovaná radioaktivita, což nelze doporučiti vzhledem k tomu, že má starší a zcela jiný význam. Název umělá radioaktivita dobře rozlišuje nově objevený zjev od radioaktivity přirozené, jak ji projevují přirozené prvky radioaktivní.

Významný tento objev, který znamená vlastně nové období v názorech na jádro atomu a tím i na podstatu hmoty, zdařil se manželům Jolliotovým (Frédéric Jolliot a Irène Curie, dcera slavné Marie Curie). Všeobecně je známo dnes rozbití atomu, při němž bombardováním různých prvků částicemi alfa, protony (jádra atomů vodíku), diplomony (jádra atomů těžkého vodíku) a neutrony vznikají po roztržení původního atomového jádra atomová jádra prvků zcela jiných; je to transmutace prvků v malém. Nová jádra, uměle vytvořená, byla při dosavadních pokusech pokládána za stabilní. Podstata zjevu umělé radioaktivity je právě v tom, že atomové jádro prvku vzniklého rozbitím je nestabilní; je to jádro nového nestabilního isotopu onoho prvku. Na př. hliníková folie ozařovaná (bombardovaná) částicemi alfa vysílá pozitrony (kladné elektrony), a to i tehdy, když zdroj alfa částic odstraníme. Emise těchto positronů řídí se stejnými zákony jako vysílání částic z prvku přirozeně radioaktivního; počet vyslaných částic za jednotku času klesá exponenciálně, v uvedeném případě s poločasem 3^m 15^s. Přesněji řečeno, neběží v tomto případě snad o uměle radioaktivní hliník, nýbrž o t. zv. radiofosfor, radioaktivní, nestabilní isotop fosforu podle atomové rovnice:

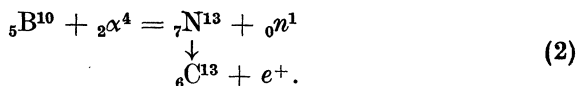


kde ${}_0n^1$ značí neutron, e^+ kladný elektron (positron). Indexy vlevo dole jsou atomová čísla prvku, indexy vpravo nahore jsou atomové váhy prvku nebo jeho isotopu. Vzniká tedy bombardováním hli-

¹⁾ Stručný referát je v Čas. pro pěst. matem. a fys. roč. 63, str. 314. 1934.

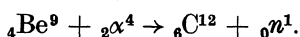
níku částicemi alfa směs neutronů a positronů, zjev pozorovaný manžely Jolliotovými vlastně již r. 1933. Avšak teprve později napadlo je zkoušeti bombardovaný prvek po odstranění bombardujícího zdroje a doplniti tak rovnici (1) ve směru šipky; konstatovali, že se uměle vytvořený radiofosfor $_{15}\text{P}^{30}$ samovolně dále rozpadá a jeví umělou radioaktivitu.

Podobně bombardováním boru částicemi alfa vzniká nestabilní radiodusík podle rovnice

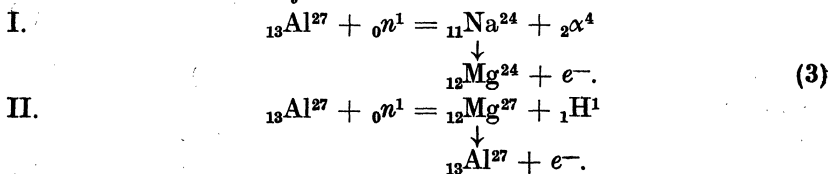


Analogický zjev našli Jolliotovi u hořčíku, kde se tvoří uměle radioaktivní křemík (radiokřemík). Bylo zjištěno spojitě energetické spektrum positronů, které tu netvoří žádné grupy energetické, jak je známe u negatronů (částic beta) vysílaných radioaktivními prvky přirozenými. Maximální energie odpovídala asi 3 milionům elektronvoltů. Výtěžek pokusů byl ovšem nepatrný, téhož řádu jako při rozbíjení atomů, t. j. jeden uměle aktivní atom na asi jeden milion bombardujících částic. Význam objevu je tedy zatím jen ryze vědecký. Důkaz, že na př. podle rovnice (2) skutečně vzniká radiodusík, provedli Jolliotovi cestou chemickou; kompaktní nitrid boru BN byl zahříván s hydroxydem sodným, vznikající plynný amoniak unáší s sebou také radioaktivitu, což dokazuje, že prvek uměle aktivní je dusík.

Tak se započalo období umělé radioaktivity. Záhy se však poznalo, že k těmto cíli vedou různé cesty. Italský fysik Fermi se spolupracovníky dokázali, že umělou radioaktivitu možno vzbuditi u většiny známých prvků také bombardováním neutrony.²⁾ Zdrojem neutronů byla trubička s emanací a beryliovým práškem; z berylia bombardovaného částicemi alfa vyletují neutrony podle rovnice:



Neutron jakožto částice bez elektrického náboje proniká snadno i do jader těžkých prvků. Z těch se nepodařilo tímto způsobem dosud rozbít prvky: Os, Ru, Tl, Pb a Bi, z lehkých H, Li, C, N, O. Zato na př. bombardováním hliníku neutrony vzniká radiosodík a radiohořčík; umělá radioaktivita probíhá tu tedy dvěma směry. Příslušné dvě rovnice jsou:

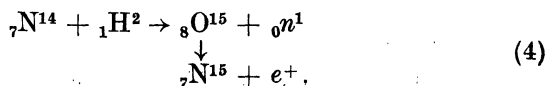


²⁾ Referát viz v Časopise, roč. 64, str. D 53. 1934.

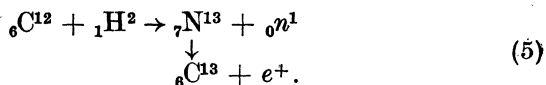
Výsledkem bombardování hliníku neutrony je tedy umělá radioaktivita za vysílání negatronů e^- (elektronů záporných, částic beta). Protože jsou dva způsoby rozpadu v rovnicích (3), jsou také dva různé poločasy, jak Fermi dokázal i experimentálně. Jeho výsledky byly nedávno potvrzeny v radiologickém oddělení chemického ústavu v Berlíně-Dahlemu (odděl. prof. Hahna a prof. Meitnerové). Poločas radiosodíku je asi 14^h , poločas radiohořčíku asi 10^m . Bombardujeme-li tedy hliník neutrony a měříme-li pak betaaktivitu vzniklé látky (t. j. intenzitu negatronů, měřenou při pokusech t. zv. počítací komorou, která může registrovat i jednotlivou ionisující částici), zjistíme komplexní skupinu uměle radioaktivních prvků. U jiných prvků byly konstatovány až tři členy skupiny. Když měříme rozpad takové uměle radioaktivní skupiny, nacházíme stejný časový průběh jako u skupin radioaktivních prvků přirozených. Na př. u hliníku bombardovaného neutrony klesá aktivita negatronů vyslaných v jednotce času nejprve poměrně rychle, v soulase s krátkým poločasem radiohořčíku, který rychle vymírá. Po několika minutách však se pokles aktivity zpomalí a dále probíhá pomalý rozpad radiosodíku; když je prvků více než dva, překrývají se rozpadové křivky podobným způsobem. Naopak z tvaru křivek, které vyjadřují časový průběh rozpadu a dají se vždy rozložit na křivky exponenciální, lze rozhodnouti, je-li uměle radioaktivních prvků více než jeden.

Jinou zajímavost jeví druhá rovnice (3). Podle ní vzniká na konec opět výchozí atom hliníku ${}_{13}\text{Al}^{27}$. Podobné případy zjistil Fermi také u prvků P, S, Fe, Cr a j. Všechny Fermiho uměle zaktivované prvky se rozpadaly za vysílání negatronů. Jeho pokusy byly v poslední době v různých laboratořích přezkoušeny a po mnohých stránkách doplněny. V celku dnes možno říci, že dosud nebyl zjištěn uměle radioaktivní prvek, který by vysílal protony nebo částice alfa; vždy jsou vysílány buď positrony nebo negatrony. Pátralo se nedávno dokonce i po tom, zdali umělé radioaktivní prvky nevysílají diplony; pokusy, prováděné E. Pollardem a W. W. Eatonem na Yalské universitě, byly také negativní.

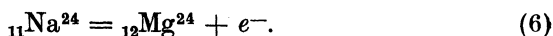
Nových, a můžeme dobře tvrditi, již praktickému upotřebení se blížících výsledků docílili v poslední době fyzikové američtí. Ti začínají užívat k bombardování prvků diplomů, které zrychlují vysokými elektrickými napětími v t. zv. diplomových trubcích. Tak se především podařilo dokázati uměle radioaktivní kyslík, Fermim marně hledaný. Výchozí látkou byl dusík a děj probíhal pravděpodobně podle rovnice:



Radiokyslík se tedy rozpadá za vyslání positronů, jejichž energie se odhaduje na 1,7 milionů elektronvoltů (Livingstone, McMillan). Výsledek je těžší isotop dusíku. Podobný zajímavý případ, kdy výsledkem je opět těžší isotop, byl nalezen při bombardování uhlíku diplony; platí tu rovnice:



Že by tyto pokusy mohly míti i praktický význam, dokazují pozorování, která vykonal E. O. Lawrence na universitě v Berkeley v Kalifornii. Ten bombardoval sodík diplony, uměle zrychlenými napětím 1,75 milionů elektronvoltů. Sodík byl uměle aktivován a po přerušení bombardování rozpadal se samovolně s poločasem $15 \pm 0,5^h$, což dobře souhlasí s poločasem radiosodíku vzniklého bombardováním alumina neutrony podle první rovnice (3). Není tedy pochybnosti, že tu běží o radiosodík ${}_{11}\text{Na}^{24}$, jenž se rozpadá na hořčík podle rovnice:



Radiosodík vysílal velmi rychlé negatrony, současně však také záření gama, jehož energii Lawrence zhruba odhaduje asi na 5,5 milionů elektronvoltů. Třeba si uvědomiti také jiný důležitý fakt, který plyne z poslední rovnice; radiosodík vzniká přímo ze sodíku a ne oklikou jako v rovnici (3), kde se tvoří přes hliník bombardovaný neutrony. Příslušnou rovnici atomovou, která by popisovala vznik radiosodíku, Lawrence neuvádí, pravděpodobně však z lehčího isotopu sodíku vzniká bombardováním diplony isotop těžší ${}_{11}\text{Na}^{24}$ a diplom se při tom mění v proton.

Ale nejdůležitější při pokusech Lawrencových je získaný výtěžek: proud 1 mikroampéru (při napětí $1,75 \cdot 10^6$ voltů) odpovídá $3 \cdot 10^7$ atomů radiosodíku za 1 sec se rozpadajících. Abychom si jasněji uvědomili, co to znamená, uvažme toto. Jeden gram radia (prvku bez rozpadových produktů) vysílá za 1 sec $3,7 \cdot 10^{10}$ částic alfa. Uměle vyrobený radiosodík je tedy ekvivalentní skoro jednomu miligramu radia. Ve svém předběžném sdělení³⁾ neuvádí Lawrence bližších podrobností o intenzitách proudů, s nimiž konal tyto pokusy; praví jen, že s rostoucím napětím proudů velmi rychle stoupal výtěžek umělé radioaktivity, což je v soulase s Gamovovou teorií atomového jádra.

Není přehnáno tvrzení, že Lawrencův výsledek má již dosah praktický a že jsme na začátku výroby umělého radioaktivního záření. Současně ovšem i na začátku nového období názorů o atomovém jádře, které se znenáhla stává přístupnějším prostřed-

³⁾ Phys. Rev. 46, 746. 1934.

kům laboratorním. Lisa Meitnerová právem nedávno napsala, že se vlastně ocitáme na prahu chemie atomového jádra.

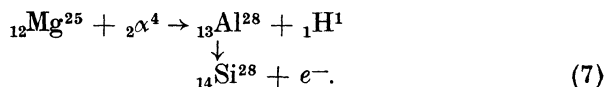
Všimněme si ještě, jak ohromné intensity t. zv. přímého umělého radioaktivního záření mohou nám poskytovat výbojové trubice, které se dnes studují a konstruují ve velkých laboratořích, hlavně v Anglii a v Americe. Dříve se užívalo pro uměle zrychlované elektrony a ionty, a konečně také pro velmi tvrdé paprsky X, názvu umělé radioaktivní záření. Katodová trubice, poháněná elektrickým proudem napětí asi 4 milionů voltů, vyráběla by tvrdé paprsky beta, kanálová heliová trubice za téhož napětí vyráběla by nejrychlejší v přírodě známé paprsky alfa. Na výrobu tvrdého záření gama bylo by třeba aspoň 12 milionů voltů. Teoreticky intenzitě proudu 1 miliampéru odpovídá tolik radioaktivního záření, kolik by vysílalo 170 kilogramů radia. To je jistě překvapující výsledek, i když užívání silnějších proudů je dnes ještě spojeno s obtížemi a účinnost trubic tohoto druhu nebývá větší než 5%.⁴⁾ Věřilo se tedy do nedávna, že bude možno vyráběti umělé radioaktivní záření, jakmile budou překonány konstrukční obtíže generátorů elektrických proudů o milionových napětích. Vyžadovalo by zvláštního pojednání vylíčiti tyto zajímavé snahy, v nichž znovu ožívá i stará elektrostatika v dobrém souladu s nejnovějšími vymoženostmi elektrotechniky.

Pomalý a pracný vývoj v tom směru byl, jak se zdá, velmi uspíšen právě objevem umělé radioaktivity. Nyní si musíme zavést pojmy: přímé a nepřímé umělé radioaktivní záření. Přímým umělým radioaktivním zářením, vyrobeným v obrovských kvantech ve výbojových trubicích, a to poměrně měkkým zářením za použití nikoliv extrémních napětí, lze bombardovati prvky a vytvořiti z nich prvky uměle radioaktivní, jejichž nepřímé umělé radioaktivní záření odpovídá napětí několika milionů voltů a je tedy značně tvrdé. Současně se výtěžek umělé radioaktivity posunuje do oblastí praktických; uměle radioaktivního prvku je važitelné množství.⁵⁾

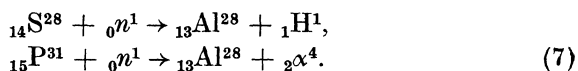
⁴⁾ Snadným výpočtem se přesvědčíme, že jeder miliampér odpovídá vsutku asi 170 kg prvku radia: $1 \text{ MA} = 3 \cdot 10^6$ abs. elektrostatic. jednotek proud. = $6,3 \cdot 10^{15}$ element. elektric. kvant za 1 sec. 1 g radia vysílá za 1 sec $3,7 \cdot 10^{10}$ částic alfa. 1 MA odpovídá tedy $1,7 \cdot 10^6$ g Ra = 170 kg Ra.

⁵⁾ Hlavní práce amerických fysiků o vytvoření prakticky použitelných trubic výbojových jsou tyto (vesměs v Phys. Rev.): Sloan a Livingston, 38, 2021 (1931). Sloan a Coates, 46, 539. (1934). Lawrence a Livingston, 45, 220 (1934). Beams a Trotter, 45, 849 (1934). Henderson, Livingston a Lawrence, 45, 428 (1934). V nich se najdou také odkazy na práce paralelní a starší. Buď se používá t. zv. pohyblivých elektrických polí (moving fields), která se šíří tak rychle jako ionty letící v trubici, anebo se užívá elektr. oscilací, připojených střídavě na stále se prodlužující měděné trubice, za sebou uspořádané, t. zv. akcelerátory. Snahy tyto vtípné obcházejí vlastně přímou výrobu milionových napětí a přece dostáváme tak ionty letící rychlostmi, které odpovídají napětí až 3 milionů voltů.

E. O. Lawrence se spolupracovníky získal bombardováním diplyny radiohliník ${}_{13}\text{Al}^{28}$, který se rozpadá s poločasem $2^m 33^s$ a vysílá pravděpodobně také negatrony. Radiosodík a radiohliník byly ovšem již dříve nalezeny Fermim a manžely Jolliotovými.⁶⁾ Jolliotovi dostali radiohliník bombardováním hořčíku částicemi alfa podle rovnice:

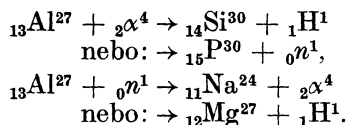


Radioaktivní hliník Al^{28} lze získati i bombardováním křemíku a fosforu neutrony:



To jsou již vskutku rovnice chemie atomového jádra, jak je nazývá L. Meitnerová.⁷⁾ Radiohliník Al^{28} je ve všech třech případech rovnic (7) jeden a týž, soudě ze stejného záření beta a stejného poločasu.

Podobně lze jeden a týž prvek různými reakcemi — abychem užili terminologie chemické — přeměnit na různé prvky uměle radioaktivní. Změnou reakční komponenty dostáváme:



Umělá radioaktivita již rozhojnila a jistě rozhojní počet radioaktivních isotopů, takže celkový počet isotopů známých prvků hodně vzroste.

Na konec ještě několik slov o složení atomového jádra podle dnešních představ fysiků. Meitnerová (v cit. práci) se přiklání k názoru, že jádro je složeno pouze z protonů a neutronů a že v něm nejsou žádné elektrony. Počet protonů v jádře, n_p , určuje atomové číslo prvku a tím i jeho chemický charakter; je-li pak počet neutronů v jádře roven n_n , činí atomová váha prvku $n_1 + n_2$. Přejde-li proton v neutron, vysílá jádro positron (kladný elektron), při přechodu opačném objeví se negatron. Pro rozhodnutí, je-li tato představa o jádře správná, bylo by třeba znáti přesně hmotu neutronu. I když tento názor, jehož původcem je vlastně Heisenberg, je za dnešního stavu vědomostí přijatelný, přece jen ponechává elektronům poněkud záhadnou roli a žádá příliš mnoho nových postulátů. Zde je otevřené pole pro nové experimentální výzkumy.

⁶⁾ C. R. 198, 2089. 1934.

⁷⁾ Naturw. 22, 733. 1934.