

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jiří Tolar

Perspektivy získávání nových transuranů

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 16 (1971), No. 4, 187--191

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139779>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1971

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>

PERSPEKTIVY ZÍSKÁVÁNÍ NOVÝCH TRANSURANŮ

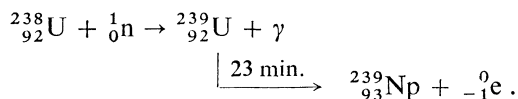
JIŘÍ TOLAR, Praha

V posledních několika letech se zvýšil zájem fyziků o získání dalších transuranů, prvků těžších než uran ([1]).

Transurany byly získány uměle a jejich syntéza byla umožněna objevy umělé radioaktivity a neutronu a konstrukcí prvního cyklotronu na kalifornské universitě ve 30. letech.

Transuran o vyšším atomovém čísle může vzniknout ostřelováním těžkých jader lehkými jádry, například deuterony nebo částicemi alfa (jádra hélia). Tato jádra přitom musí být urychlena na dostatečnou energii, aby překonala bariéru elektrostatického odpuzování mezi kladně nabitými jádry. Tuto nevýhodu nemá ostřelování jader neutrony, které jsou elektricky neutrální. Když jádro nejtěžšího stabilního izotopu nějakého prvku zachytí neutron, vznikne nestabilní jádro, které rozpadem beta (vyzářením elektronu) přechází v prvek s atomovým číslem o jednotku vyšším.

Tohoto způsobu poprvé použil E. FERMI se svými spolupracovníky v roce 1934. Ozařovali neutrony uran a zjistili řadu radioaktivních produktů s různými poločasy. Přirozeně předpokládali, že některé jsou transurany a ostatní z nich vznikají postupným radioaktivním rozpadem. Obdobné pokusy prováděli v letech 1938—9 O. HAHN, L. MEITNEROVÁ a F. STRASSMANN. Chemickou analýzou identifikovali vzniklé produkty jako středně těžké prvky (lanthan, baryum) a tak objevili štěpení jader uranu. Že při ostřelování jader uranu neutrony vzniká také transuran s atomovým číslem 93 (neptunium ${}^{239}_{93}\text{Np}$) bylo dokázáno až v roce 1940 G. T. SEABORGE a spolupracovníky na kalifornské universitě v Berkeley. Pohlcením pomalého neutronu v uranu 238 vzniká uran 239, který rozpadem beta s poločasem 23 minut přechází v neptunium 239:



Brzy nato následoval objev plutonia ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ a dalších izotopů neptunia a plutonia. V této době si válka vynutila výrobu plutonia ve velkém v jaderných reaktorech, které jsou mocnými zdroji neutronů. Po válce pak skupina vedená G. T. Seaborgem ohlásila další objevy: v r. 1945 americium ${}_{95}\text{Am}$ a curium ${}_{96}\text{Cm}$, 1949—50 berkelium ${}_{97}\text{Bk}$ a kalifornium ${}_{98}\text{Cf}$, 1952—3 einsteinium ${}_{99}\text{Es}$ a fermium ${}_{100}\text{Fm}$, 1956—7 mendelevium ${}_{101}\text{Md}$ a nobelium ${}_{102}\text{No}$ a 1961 lawrencium ${}_{103}\text{Lw}$. Od padesátých let se velmi aktivně zabývá hledáním transuranů také skupina G. N. FLEROVA ve Spojeném ústavu jaderných výzkumů v Dubně, která objevila řadu nových izotopů uvedených prvků a v r. 1964 ohlásila objev prvku číslo 104 pojmenovaného kurčato-

vium. Syntéza prvku 105 (hahnium ${}_{105}\text{Ha}$) byla ohlášena v r. 1970 nezávisle sovětskou i americkou skupinou. Jaderná fyzika a jaderná chemie tak od roku 1940 rozšířily periodickou soustavu prvků za hranici danou běžným výskytem na Zemi.

Množství izotopu, které můžeme získat k jeho chemické či fyzikální identifikaci, je podmíněno jeho poločasem: existenci prvku musíme dokázat dříve, než se prvek rozpadne. Pro získání važitelného množství prvku potřebujeme, aby jeho poločas byl řádově roky; tak tomu je u některých izotopů neptunia, plutonia a americia. Pro transurany s krátkou dobou života radiochemie používá ultramikrochemické metody, kterými lze provádět separaci nepatrných množství radioaktivních látek a získávat informace o jejich chemických vlastnostech. Je to především metoda radioaktivního stopování: ozářená látka se rozpustí a přidá se k ní známé množství tzv. nosiče — látky, o které předpokládáme, že je chemicky příbuzná vznikajícímu radioaktivnímu prvku. Potom se provádí separace směsi pomocí chemických reakcí a u každé frakce se zjišťuje radioaktivita. Transurany jsou obvykle zářiče alfa; toto záření má u každého izotopu přesně danou energii a poločas rozpadu, podle nichž lze zjistit jeho přítomnost.

Během posledních 20 let byla při studiu transuranů nashromážděna podrobná systematika vlastností prvků s atomovými čísly 93 až 105. Chemické vlastnosti nových prvků bylo možno přibližně předpovědět na základě periodického systému. Úplně poznat jejich vlastnosti však bylo možné, až když byly vyrobeny aspoň v malém množství. Původně se předpokládalo, že neptunium bude chemicky příbuzné rheniu; ukázalo se však, že se chemicky více podobá sousednímu uranu, a je tedy členem nové přechodné skupiny těžkých prvků (aktinidy), jež je analogická skupině vzácných zemin.

Pokud jde o radioaktivní vlastnosti transuranů, ukázalo se, že s rostoucím atomovým číslem se značně zkracuje jejich poločas rozpadu, což je způsobeno zmenšující se stabilitou těchto jader. Kromě toho počínaje fermiem je rozpad spontánním (samovolným) štěpením stejně obvyklý jako rozpad zářením alfa. Tím se objev každého dalšího transuranu stal obtížnějším. U prvků číslo 104 a 105, jejichž poločasy jsou jen 0,3 a 1,65 sek., jsme pravděpodobně dosáhli hranice, kdy je možno použít chemické analýzy k jejich identifikaci. Kdyby se poločasy měly dále zkracovat, pak by při objevování dalších prvků bylo asi nutné opírat se převážně o teoreticky předpověděné vlastnosti jejich radioaktivního rozpadu.

Jak se však zdá, situace nebude asi tak nepříznivá. Hledání nových prvků nedávno získalo silný popud překvapující předpovědi nové oblasti poměrně stabilních velmi těžkých jader ([2], [3]). Poněvadž dnešní jaderná fyzika dosud nezná přesný tvar sil působících mezi nukleony v jádrech a neumí přesně vyřešit kvantový problém mnoha částic, zavádí různé modely k vysvětlení pozorovaných zákonitostí ve vlastnostech atomových jader. Uvedená předpověď je založena na tzv. slupkovém modelu ([4]), který předpokládá, že se nukleony v jádře pohybují jako přibližně nezávislé částice v poli potenciálu, který vyjadřuje celkové působení ostatních nukleonů na vybraný nukleon.

Nukleony v jádře — podobně jako elektrony v atomovém obalu — obsazují postupně jednotlivé energetické slupky. Jádra s plně obsazenými slupkami, odpovídající atomům vzácných plynů, se vyznačují vysokou stabilitou. Ukazuje se, že zaplnění protonových či neutronových slupek nastává, když počet protonů nebo neutronů se rovná některému z tzv. magických čísel:

$$2, 8, 20, 28, 50, 82 \text{ (114), } 126, \text{ (184)}.$$

Místo čísel uvedených v závorce někteří autoři uvádějí čísla 110 a 196. Nejstabilnější jsou „dvakrát magická“ jádra, jež mají jak protonové, tak neutronové slupky uzavřené. Nejtěžší známé dvakrát magické jádro je jádro olova $^{208}_{82}\text{Pb}$ s 82 protony a 126 neutrony.

První předpověď, že jádra s řádově 126 protony a 184 neutrony, tedy řádově s 300 nukleony, by mohla být stabilní vůči spontánnímu štěpení, podali roku 1966 SWIATECKI a MEYERS ([5]). Od té doby se objevily další práce zabývající se extrapolací slupkového modelu do oblasti těchto tzv. supertěžkých jader (např. [6], [7]), které předpovídají prakticky stabilní jádra v oblasti za prvkem číslo 110 a s počtem neutronů větším než 160.

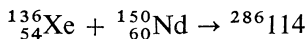
Podle práce [7] by poločas jádra $^{298}_{114}$ vůči štěpení měl být 10^{13} let; poločas rozpadu alfa se očekává mnohem kratší, asi 1 rok (jádro je pravděpodobně beta-stabilní). Stabilnější by měl být prvek $^{294}_{110}$, u něhož se očekává poločas rozpadu alfa 10^8 let. Více než 100 izotopů by mělo mít poločasy delší než 1 rok a snad čtvrtina z nich by mohla mít poločasy větší než 10^8 let.

Protože jde o extrapolaci, je nutno čekat na její potvrzení experimenty. Modelové představy v teorii atomového jádra jsou totiž úzce spjaty s experimentálními výsledky, jež mají být těmito modely vysvětleny. Pokusy o extrapolaci nebyvaly příliš úspěšné; například vlastnosti jader v okolí atomového čísla 100 byly mnohem lépe předpověděny experimentální systematikou než teoretickými modely. Úspěch při skoku o dalších 60—70 nukleonů je ještě nejistější. Poločas rozpadu je totiž veličina velmi citlivě závislá na parametrech použitých při výpočtu; nebylo by překvapením, ani kdyby experimenty ukázaly, že poločas byl předpověděn chybně o deset desítkových řádů. Zatímco specifické předpovědi mohou být zatíženy značnými chybami, dá se nicméně očekávat, že nastane-li uzavření protonových i neutronových slupek, budou platit obecné obrysy předpovědí. To by znamenalo, že někde v oblasti prvků mezi čísly 106 a 120 můžeme očekávat dlouhožijící prvky.

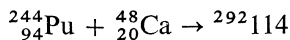
Jak je však možno skok do této oblasti těžkých prvků uskutečnit? Přidáváním neutronů k jádrům s atomovým číslem o jednotku nižším již nelze postupovat, neboť jich nelze nashromáždit dostatečné množství. Naštěstí však existuje jiný typ jaderných reakcí: ostřelování těžkých jader jádru těžšími než částice alfa [8].

Ale ani tato cesta není bez překážek. Kdybychom chtěli jádro $^{298}_{114}$ získat přímou srážkou dvou středně těžkých stabilních jader, narazíme na potíž spojenou s tím, že těžká jádra, aby byla stabilní, musí obsahovat větší podíl neutronů než jádra střední velikosti. Zvýšený počet neutronů je totiž nutný k vykompenzování elektrostatického

odpuzování protonů v jádře. Tak například reakcemi

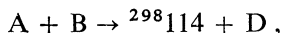


nebo

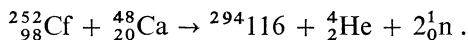
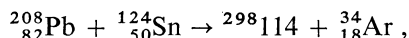
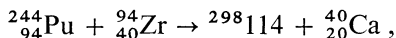


nedosáhneme potřebného počtu 184 neutronů a navíc musíme počítat s tím, že se při těchto reakcích ještě několik neutronů „vypaří“.

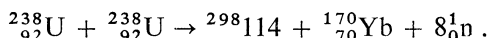
Slibným způsobem jsou „přestřelovací“ reakce



kde jádra A a B jsou zvolena tak, aby kromě supertěžkého jádra vzniklo ještě stabilní jádro D. Zde se již nabízí velký počet reakcí, např.



Podle jiné metody se mají spojit dvě těžká jádra s víc než dostatečným počtem neutronů, takže je pravděpodobné, že reakcí vznikne supertěžké jádro s přebytkem neutronů zaručujícím jeho stabilitu:



Tak se hledání nových těžkých prvků stává motivem pro konstrukci urychlovačů schopných urychlit těžké ionty na dostatečně vysokou energii. Při poslední reakci je totiž nutné překonat elektrostatické odpuzování jader uranu, aby mohlo nastat jejich vzájemné působení prostřednictvím jaderných sil, jež mají velmi krátký dosah, řádově 10^{-13} cm; k tomu je nutno iontům uranu udělit energii 1300 MeV. Běžné urychlovače nejsou schopny urychlit těžké ionty na tuto energii. Cílem je typ univerzálního urychlovače schopného urychlit jakýkoli těžký ion na energii vyšší než je coulombovská bariéra kteréhokoli terče. Řada těchto speciálních zařízení bude v dohledné době uvedena do provozu ([9]).

Úsilí hledat nové těžké prvky bylo podpořeno pokusy najít je v primárním kosmickém záření a v meteoritech ([10]). Některé pozitivní případy byly zjištěny na bristolské universitě P. H. FOWLEREM a spolupracovníky ([11]), kteří pravděpodobně zjistili rozpady supertěžkých jader ve fotografické emulzi vnesené balónem do výšky 40 km.

V nedávné práci ([12]) bylo použito ozáření wolframového terče protony o energii 24 tisíc MeV. Nárazem extrémně urychlených protonů mohou některá odražená jádra terče získat dostatečnou energii k překonání coulombovské bariéry jiného jádra terče. Na základě předpokládaných chemických vlastností a pozorovaného rozpadu alfa autoři [12] usuzují, že touto reakcí pravděpodobně vznikl jeden nebo více izotopů prvku číslo 112.

Samozřejmě se nabízí otázka, zda neexistují přirozené velmi těžké atomy v extrémně malém množství i na Zemi. Pravděpodobnost je však nepatrná. Podle současných názorů proces tvorby těžších prvků probíhal totiž převážně záchytem neutronů. Aby mezera mezi jádry s 250 a 300 nukleony mohla být překlenuta postupnými záchyty neutronů, musel by tento proces proběhnout dostatečně rychle vzhledem ke krátkým poločasům štěpení zúčastněných jader. To mohlo nastat s malou pravděpodobností nebo vůbec ne.

Podle periodické soustavy prvky číslo 110 a 114 by měly být chemicky příbuzné platině a olovu; odtud provizorní názvy eka-platina a eka-olovo. G. N. Flerov se svou skupinou v Dubně hledali eka-olovo na exotických místech, hlavně ve starých okenních tabulkách z barevného olovnatého skla. Důvodem bylo nejen to, že takové sklo obsahuje olovo, nýbrž také, že sklo samo je detektorem štěpení: štěpné fragmenty zanechají ve skle stopy, které se stanou pozorovatelnými vhodnou leptací technikou, a tyto stopy se ve skle shromažďovaly po staletí. Touto metodou byly ve skle nalezeny stopy štěpení, jež nelze vysvětlit známými vlastnostmi olova a známých nečistot. Protože však touto metodou nelze určit druh fragmentů, a tedy ani mateřský prvek, můžeme na základě pozorování Flerova pouze tvrdit, že horní hranice výskytu eka-olova (či spíše supertěžkých prvků vůbec) je 1 atom na 10^{12} .

Kdyby bylo možno tyto prvky najít v přírodě nebo uměle vyrobit ve větším množství, našly by významné praktické využití především jako štěpné materiály pro jaderné reaktory, které by při štěpení uvolňovaly více neutronů než dosavadní štěpné materiály.

Nehledě na tento praktický význam může hledání těžkých jader přivést i k dalším nečekaným objevům. Při srážkách těžkých jader jde totiž o zcela nový typ jaderných reakcí, jichž se účastní velké kusy jaderné materie. Doposud se jádra zkoumala tak, že se prováděly jen malé změny v jejich struktuře. Při reakcích s velkými změnami struktury mohou být objeveny zcela nové typy chování jaderné materie, které nám pomohou z dalších stránek poznat jádro jako velmi složitý kvantový systém.

Literatura

- [1] GHIORSO A., SEABORG G. T., Scientific American, Dec. 1956.
- [2] ŽOFKA J., Čs. čas. fys. *A19* (1969), 616 (aktualita).
- [3] SCHIFFER J. P., Comments on Nuclear and Particle Physics *4* (1970), 90.
- [4] KVASNICA J.: *Struktura atomového jádra*, SNTL, Praha 1962.
- [5] MEYERS W. D., SWIATECKI W. J., Nuclear Physics *A81* (1966), 1.
- [6] STRUTINSKY V. M., Nuclear Physics *A95* (1967), 420.
- [7] NILSSON S. G. et al., Nuclear Physics *A115* (1968), 545; *A131* (1969), 1.
- [8] GRODZINS L., Comments on Nuclear and Particle Physics *4* (1970), 11.
- [9] MACH R., Čs. čas. fys. *A19* (1969), 617.
- [10] ANDERS E., HEYMANN D., Science *164* (1969), 821; PRICE P. B., FLEISCHER R. L., Physics Letters *30B* (1969), 246.
- [11] FOWLER P. H. et al., Proc. Roy. Soc. (London) *A301* (1967), 39.
- [12] MARINOV A., Rutherford Laboratory Preprint RPP (NS) 1, 1970.