

VLADIMÍR WAGNER

Další oxid s příponou -ičelý do školní sbírky

Jak asi „voní“ hassium?

„A taky -ný, -natý, -itý, -ičitý, -ičný/ěčný, -ový -istý, -ičelý;) Už je to plus minus deset let a pořád to mám v hlavě. Ten chemikář na gymnáziu nemohl být normální...“

Povzdech na internetovém diskusním fóru

Při své poslední návštěvě laboratoře GSI u Darmstadtu jsem si vzpomněl na své dávné školní hodiny chemie. Nejznámější oxid, kterému se tehdy říkalo kysličník, byl pro mě v té době oxid osmia. Nebylo to tím, že by tento oxid byl tak běžný nebo měl tak významné využití. Příčinou jeho popularity je i dnes hlavně to, že osmium (Os) může mít oxidační číslo osm a může vytvářet oxid osmičelý (OsO₈). Takový prvek je opravdová vzácnost, a tak se tento oxid objevuje v každé písence, která nebohé žáky či studenty zkouší z názvosloví oxidů, jehož autorem je Emil Votoček. Pokud chce profesor studenta trochu potrápit, nebo naopak se chce student předvést jako náramný borec, stačí vzpomenout si na druhý takový prvek, ruthenium (Ru), a sáhnout po oxidu rutheničelém (RuO₄). V tomto případě jde o nejvzácnější z platinových kovů z hlediska výskytu v platinových rudách. To vše mi proběhlo hlavou, když jsem byl minulý rok na experimentu v Darmstadtu. S našim doktorandem jsme testovali a kalibrovali detektory v sestavě spektrometru HA-RES. Odskočili jsme si udělat pozdní večeři do kuchyňky v ubytovně a probírali vše možné, když se k nám přidal jeden student s tím, že rád zase slyší češtinu. Dověděli jsme se, že je tu na experimentu, který zkoumá chemické vlastnosti supertěžkých prvků. Na revanš za to, že jsme mu ukázali zařízení, které by mělo změřit změny hmotnosti částic uvnitř velmi horké a husté jaderné hmoty, nás provedl po tom jejich. Z měření těkavosti tam určují oxidační číslo vznikajícího oxidu u prvku s atomovým číslem 108, který se nazývá hassium. Je to prvek s největším atomovým číslem, jehož chemie se v současnosti zkoumá. Musí jej připravovat uměle na urychlovači. Při svém experimentu produkují jen jeden atom hassia za den, za měsíc tedy vznikne okolo třiceti

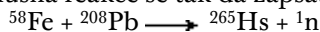
Tab. 1. Základní vlastnosti prvků, které jsou podobné hassiu. Na vlastnosti hassia se dá usuzovat z jejich vlastností.

| prvek | hustota [g/cm ³] | bod tání [°C] | bod varu [°C] | tvrdost [Mohs] |
|-------|------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Ru | 12,437 | 2250 | 4075 | 6,5 |
| Os | 22,58 | 3050 | 5500 | 7,0 |

kousků. Dalším problémem je, že se hassium velmi rychle rozpadá, a tak jeho analýza musí proběhnout v jednotkách až zlomcích sekundy. Po dobu naší exkurze sice zrovna žádný atom hassia nevznikl, ale během experimentu se jich podařilo vytvořit několik, a navíc stačily zoxidovat do oxidu hassičelého (HsO₄). Proto jsem se pevně rozhodl, že musím tomuto oxidu udělat náležitou reklamu, aby se oxidy osmičelý a rutheničelý (viz tab. 1) v chemických písenskách na školách necítily tak osaměle. Trojka už je dobrý počet, už je to parta (viz obr. 1).

Co je hassium zač? Má atomové číslo 108, a tedy 108 protonů, u neutrálního atomu i 108 elektronů. Počet valenčních elektronů, který určuje jeho chemické vlastnosti, jej řadí mezi přechodové kovy patřící do skupiny VIII B v Mendělejevově periodické tabulce. Tam se nachází v sedmé periodě na stejném místě, jako je v šesté periodě osmium a v páté ruthenium. Proto by i jeho chemické vlastnosti měly být velmi podobné. Jde o přechodový kov pravděpodobně stříbrobílé barvy, v pevném skupenství při 20 °C, s vysokou hustotou a vysokým bodem tání i varu.

Zároveň však patří mezi supertěžké elementy, které lze připravit pouze uměle. Všechny jeho izotopy (tj. jádra téhož prvku s jiným počtem neutronů) se velice rychle rozpadají. Jejich produkce a identifikace je velmi náročná. Poprvé se to podařilo P. Armbrusterovi a G. Munzenbergovi se spolupracovníky v roce 1984 právě v darmstadtské laboratoři GSI. K produkci hassia použili slučování jader železa a olova. Jádra železa byla urychlena na urychlovači Unilac. Hodnota dodané kinetické energie se vybírala – musela být dostatečně vysoká, aby překonala odpudivou sílu způsobenou elektrickým polem kolem kladně nabitých jader, popřípadě aby byla alespoň dostatečně vysoká pravděpodobnost protunelování.² Zároveň nesměla být příliš vysoká, aby dodaná energie vzniklá složená jádra nerozbila. V daném případě stačil velkou část přebytečné energie odnést jeden neutron. Příslušná reakce se tak dá zapsat ve tvaru:



Čím má jádro větší počet protonů, tím mají jeho nejstabilnější izotopy větší přebytek neutronů nad protony. Neutrony působí v jádře jako tmel. V našem případě je však počet protonů a neutronů v jádře železa (13:16) téměř stejný, takže vzniklé jádro hassia má velký nedostatek neutronů a je extrémně nestabilní.

| | | | |
|------------|----|----|----|
| 5. perioda | Ru | Rh | Pd |
| 6. perioda | Os | Ir | Pt |
| 7. perioda | Hs | Mt | Ds |

↑
jen prvky v tomto sloupci mohou být osmičelý

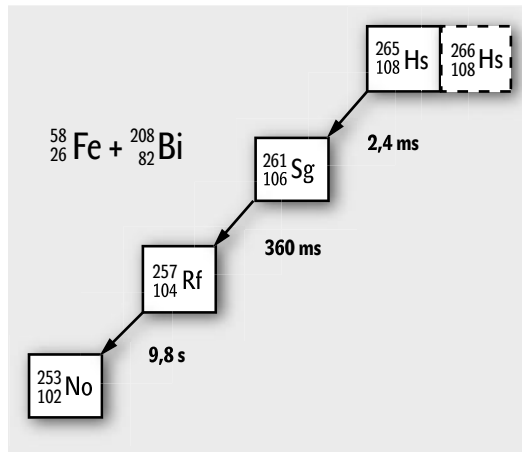
1. Přehled části periodické tabulky prvků, kde jsou přechodové kovy osmé skupiny.

1) GSI – Gesellschaft für Schwerionenforschung.

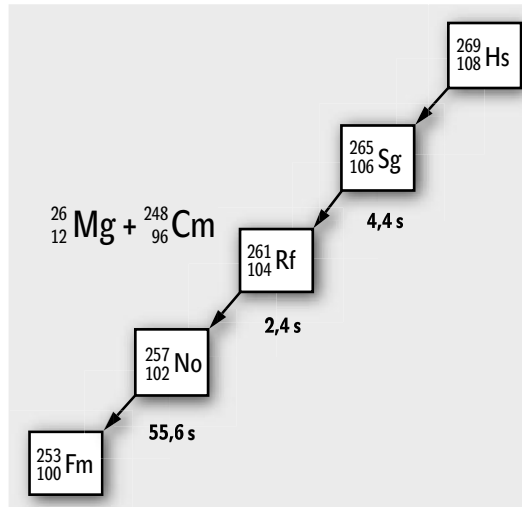
2) Kvantová fyzika umožňuje překonat i takové bariéry, které by zákon zachování energie v klasické fyzice nedovolil. Objekt se s určitou pravděpodobností může ocitnout za bariérou, aniž by měl dostatek energie k jejímu překonání. Ovšem pravděpodobnost klesá velmi rychle s tím, jak se zvětšuje rozdíl mezi energií, kterou objekt má, a tou, která je dána výškou bariéry.

RNDr. Vladimír Wagner, CSc., (*1960) vystudoval MFF UK v Praze. V Ústavu jaderné fyziky AV ČR se zabývá hlavně experimentálním studiem horké a husté jaderné hmoty v relativistických srážkách těžkých iontů. Je jedním z mála fyziků, kteří publikují také pro laiky se zájmem o věc.

2. Vlevo: První případ pozorovaného vytvoření (srážení železa a bismutu) jádra hassia a následného rozpadu.



3. Vpravo: Příklad pozorovaného rozpadu izotopu hassia 269.



3) Adsorpce – děj při kterém se na fázovém rozhraní (tekutina – tuhá látka) selektivně koncentrují některé složky tekuté fáze.

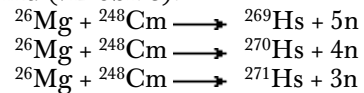
Tab. II. Dosud známé izotopy hassia. *) – izotop s nukleonovým číslem 277 byl pozorován při sekvenci rozpadů prvku s atomovým číslem 114 v laboratoři SÚJUV v Dubně. Vzhledem k tomu, že tato sekvence rozpadů končí u neznámého izotopu, nejde o bezspornou interpretaci a je třeba počkat na potvrzení.

| nukleonové číslo | poločas rozpadu |
|------------------|-----------------|
| 264 | 0,8 ms |
| 265 | 2,0 ms |
| 266 | 2,3 ms |
| 267 | 26 ms |
| 269 | 9,3 s |
| 270 | 2,7 s |
| 271 | ? |
| 273 | 1,2 s |
| 277* | 12 min |

Jádro se rozpadá s uvolněním částice alfa (jádro ^4He). Poločas rozpadu je okolo dvou milisekund. Rozpady alfa slouží také k identifikaci produkovaného prvku. Rozpadem totiž vzniká zase nestabilní jádro, to se znova může přeměňovat pomocí rozpadu alfa. Dostáváme pak sekvenci několika rozpadů alfa, která nás nakonec přivede do oblasti dobře známých izotopů s delšími dobami života. Zachycením vzniklých částic alfa a identifikací konečného jádra v sekvenci pak můžeme bezrozporně identifikovat původně vzniklé jádro. Další možností je, že sekvence rozpadů končí u známého jádra, které se samovolně rozštěpí na dvě přibližně stejně velká jádra a zároveň se uvolní několik neutronů. Toto samovolné štěpení je konkurenčním procesem k rozpadu alfa pro takto těžká jádra. Energie uvolněná při jednotlivých rozpadech alfa a štěpení může být dobrým vodítkem pro identifikaci rozpadajících se jader v sekvenci, a tím i prvotně vzniklého jádra. Když bylo jádro hassia identifikováno, pojmenovali objevitelé nový prvek podle německého státu Hessenska (latinsky *Hassias*), ve kterém se Darmstadt nachází. V dalších letech bylo několik různých izotopů v širokém rozpětí nukleonového čísla (součet počtu neutronů a protonů) pozorováno nejen v GSI Darmstadt, ale i v jiných laboratořích, jak v přímých produkcích, tak v rozpadech ještě těžších jader (viz tab. II).

Teď už víme, jak se hassium získává (viz obr. 2), a proto se nyní podívejme, jaké by měly být jeho chemické vlastnosti a jak vlast-

ně je můžeme zkoumat. K tomu potřebujeme izotopy hassia s mnohem delší dobou života než ty první. Musíme získat izotopy s větším počtem neutronů. K tomu potřebujeme terčik složený z co nejtěžších jader. Proto byl použit speciálně získaný terčik z curia (^{248}Cm). Jde také o uměle připravený element, ovšem s dlouhým poločasem rozpadu $3,48 \cdot 10^5$ let, takže je možno jej nashromáždit v dostatečném množství a připravit potřebný terč. Hassium pak produkujeme v reakcích s jádry hořčíku (viz obr. 3):



To už jsou izotopy s poločasem rozpadu v oblasti několika sekund a jsou vhodné k chemické analýze. Krátce po vzniku atomu hassia dochází k jeho oxidaci a zkoumá se jeho těkavost a schopnost adsorpce. Oxid hassičelý by se stejně jako oxidy osmičelý a rutheničelý měl vyznačovat velmi vysokou těkavostí. To znamená, že se bude adsorbovat³ při velmi nízké teplotě. Tato teplota se zjišťuje tak, že se vzniklá molekula oxidu hassia vyfoukne proudem heliového plynu do tenkého kanálku, který je obklopen detektory nabitých částic. Zároveň se v něm teplota snižuje z hodnoty $-20\text{ }^\circ\text{C}$ u vstupu do kanálku až k hodnotě $-170\text{ }^\circ\text{C}$. Sleduje se, kde se molekula oxidu adsorbuje. Detektory právě v tomto místě totiž zachytí částice alfa vzniklé při kaskádě rozpadů v průběhu přeměny hassia. Oxid hassia se dostane tak daleko a jeho těkavost je tak vysoká, že je to možné právě jen u oxidu hassičelého. Pro kontrolu se k terčiku z curia přidává ještě izotop vybraný tak, aby se v reakcích s jádry ${}^{26}\text{Mg}$ zároveň produkovalo osmium a vznikal oxid osmičelý. Jeho chování tak lze přímo srovnávat s chováním oxidu hassičelého.

Získání aspoň minimálního makroskopického množství hassia a jeho oxidu pro určení jeho barvy, vůně a dalších vlastností by teoreticky snad mohly umožnit izotopy s ještě větším počtem neutronů, a tím i stabilnější. Pokud nějaké dostatečně stabilní opravdu existují, musely by se ovšem pro takové účely najít i daleko efektivnější metody jejich produkce. Zjišťování, zda oxid hassičelý smrdí stejně intenzivně jako oxid osmičelý, by však bylo velmi nebezpečné, neboť by šlo o velmi intenzivní zářič alfa. V každém případě může prokázání třetího oxidu s maximálním stupněm oxidace přispět k větší pestrosti testů v hodinách chemie na našich školách – a tak zahajují osvětovou kampaň za rozšíření této informace. Musím ovšem přiznat, že v mém případě nejde o akci zcela nezištnou. V skrytu duše totiž doufám, že si toho všimne synátorova profesorka chemie. Možná si trochu šplhneme a mohl by mít z tohoto předmětu lepší známku než obvyklou trojku. Nakonec musím ještě připustit, že přece jen existují i další exoti s příponou -ičelý. Vzácný inertní plyn xenon se může vázat do oxidu xenoničelého (XeO_4). Jde však o vazbu velice slabou, podobnou van der Waalově. Jde tedy zároveň o látku extrémně nestálou a výbušnou.