

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Josef Veselka

O desátém transuranu

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 4 (1959), No. 6, 695--700

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138371>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1959

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>

## Literatura

- [1] Awender H. a Sann K., *Handbuch für Hochfrequenz- und Elektrotechniker II*. Verlag für Radio- Foto- Kinotechnik, Berlin 1954, str. 160.
- [2] Awender H. a Sann K., *Telefunken Ztg.* 25 (1952), 269.
- [3] Becker G., *A. E. Ů.* 10 (1956), 467.
- [4] Bosoj, *Električeskije filtry*, Gosizdat. techn. lit. USSR, Kijev 1955.
- [5] Cady W. G., *Piezoelectricity*, Mc Graw-Hill, New York—London 1946.
- [6] Heegner K., *Elektr. Nachr. Technik* 15 (1938), 359.
- [7] Heising R. A., *Quartz Crystals for Electrical Circuits*, Van Nostrand New York 1952.
- [8] IRE Standars on Piezoelectric Crystals — The Piezoelectric Vibrator: Definitions and Methods of Measurement, 1957, *Proc. I. R. E.* 45 (1957), 353.
- [9] Mason W. P., *Electromechanical Transducers and Wave Filters*, Van Nostrand, New York 1946.
- [10] Mason W. P., *Piezoelectric Crystals and their Application to Ultrasonics*, Van Nostrand, New York 1950.
- [11] Meacham L. A., *Proc. I. R. E.* 26 (1938), 1278.
- [12] Petržílka V., *Piezoelektrina I*. Přírodovědecké vydavatelství, Praha 1951.
- [13] Scheibe A., Adelsberger U., Becker G., Ohl G. a Süß R., *Z. angew. Phys.* 8 (1956), 175.
- [14] Svoboda R. a Tichý J., *Slaboproudý obzor* 18 (1957), 689.
- [15] Tichý J., *Slaboproudý obzor* 16 (1955), 523.
- [16] Watanabe Y., *Elektr. Nachr. Technik* 5 (1928), 45; *Proc. I. R. E.* 18 (1930), 695.
- [17] Zelenka J., *Slaboproudý obzor* 18 (1957), 696.
- [18] Zelenka J., *Sdšlovací technika* 6 (1958), 177.
- [19] Zelenka J., *Slaboproudý obzor* 19 (1958), 20.

## O DESÁTÉM TRANSURANU

Transurany jsou prvky uměle vytvořené; v přírodě se volně nevyskytují. Jsou pokračováním Mendělejevovy periodické soustavy prvků za uranem (atomové číslo  $Z = 92$ ). Zatím se podařilo synteticky vytvořit pomocí urychlovačů elementárních částic deset těchto umělých prvků (synthesa desátého transuranu, o němž v tomto článku hovoříme, není ještě zcela bezpečně prokázána).

První transuran — *neptunium* (Np,  $Z = 93$ ) byl získán v roce 1940 E. Macmillanem a F. Abelsonem (USA) ostřelováním uranu pomalými neutrony (reakce  $U^{238} (n, \gamma) U^{239} \xrightarrow{\beta^-} Np^{239}$ )<sup>1</sup>).

$23,5 \text{ min}$

V témž roce 1940 se podařilo skupině amerických fyziků, vedené E. Macmillanem a G. Seaborgem vyrobit druhý transuran — *plutonium* (Pu,  $Z = 94$ ) ostřelováním uranu deuterony s energií 16 MeV (reakce  $U^{238} (d, 2n) Np^{238} \xrightarrow{\beta^-} Pu^{238}$ ).

$2,1 \text{ dne}$

Třetí transuran — *americium* (Am,  $Z = 95$ ) získal v roce 1944 G. Seaborg se skupinou spolupracovníků ostřelováním uranu částicemi alfa s energií 40 MeV (reakce  $U^{238} (\alpha, n) Pu^{241} \xrightarrow{\beta^-} Am^{241}$ ) a také ostřelováním plutonia (reakce  $Pu^{239} (n, \gamma) Pu^{240} (n, \gamma) Pu^{241} \rightarrow Am^{241}$ )<sup>2</sup>).

<sup>1</sup>) Podrobněji o prvních devíti transuranech viz na příklad A. K. Лаврухина, *Трансурановые элементы*, *Priroda* 12 (1955); česky A. K. Lavruchina, *Transuranové prvky*, v tomto časopise I (1956), č. 3.

<sup>2</sup>) Viz také A. K. Лаврухина, *Успехи ядерной химии*, Изд. AN SSSR, Moskva 1959.

Ostřelováním plutonia částicemi alfa o energii 40 MeV připravila táž skupina badatelů čtvrtý transuran — *curium* (Cm,  $Z = 96$ ) (reakce  $\text{Pu}^{239} (\alpha, n) \text{Cm}^{242}$ ).

Pátý transuran — *berkelium* (Bk,  $Z = 97$ ) a šestý transuran — *californium* (Cf,  $Z = 98$ ) objevila v roce 1950 skupina amerických vědců, vedená G. Seaborgem a S. Thompsonem. Berkelium se získalo ostřelováním americia  $\text{Am}^{241}$ , californium ostřelováním curia  $\text{Cm}^{242}$  částicemi alfa o energii 35 MeV (reakce  $\text{Am}^{241} (\alpha, 2n) \text{Bk}^{243}$  a  $\text{Cm}^{242} (\alpha, 2n) \text{Cf}^{244}$ ).

Sedmý transuran — *einsteinium* (Es,  $Z = 99$ )<sup>3)</sup> získal v roce 1954 S. Thompson se spolupracovníky ostřelováním uranu jádru dusíku (reakce  $\text{U}^{238} (\text{N}^{14}, 6n) \text{Es}^{246}$ ).

Osmý transuran — *fermium* (Fm,  $Z = 100$ ) se podařilo vytvořit ostřelováním einsteinia neutrony a jádru kyslíku (isotop  $\text{Fm}^{254}$  v reakci  $\text{Es}^{253} (n, \gamma) \text{Es}^{254} \xrightarrow{36 \text{ hod } \beta^-} \text{Fm}^{254} \xrightarrow{3,3 \text{ hod } \alpha}$ , isotop  $\text{Fm}^{255}$  v téže reakci s poločasem 15 hod., isotop  $\text{Fm}^{250}$  v reakci  $\text{U}^{238} (0^{16}, 4n) \text{Fm}^{250}$ , poločas 1 hod.).

Devátý transuran — *mendělejevium* (Md,  $Z = 101$ )<sup>4)</sup> získala v roce 1955 skupina amerických fyziků, vedená G. Seaborgem (reakce  $\text{Es}^{253} (\alpha, n) \text{Md}^{256}$ ).

Střediskem prací, spojených se syntézou transuranů, byla do roku 1955 laboratoř kalifornské university v Berkeley (USA), vedená G. Seaborgem. V posledních letech se do výzkumné práce v této fyzikální disciplíně zařadily také jiné země, zejména SSSR, Švédsko a Anglie. I v pracích na syntéze prvních devíti transuranů měly však podíl výzkumy v jiných zemích; velmi významnou úlohu měly zejména práce sovětského vědce M. S. Cveta, jehož chromatografická metoda umožnila na příklad separovat berkelium a californium ze zplodin nukleární reakce.

V letech 1957 a 1958 se začaly tři badatelské kolektivy zabývat syntézou desátého transuranu ( $Z = 102$ ).

Nejdříve začala ve Štokholmu mezinárodní anglo-švédsko-americká skupina badatelů: P. Fields, A. Friedman, J. Milsted, H. Atterling, W. Forsling, L. Holm a B. Aström. Šlo o výzkum ostřelování curia  $\text{Cm}^{244}$  ( $Z = 96$ ) ionty isotopu uhlíku  $\text{C}^{13}$ . Potřebné curium bylo připraveno v argonnské laboratoři v USA, terč — tenká destička curia na hliníkovém podkladě — byl zhotoven v Harwellu v Anglii. V Harwellu bylo připraveno také potřebné množství uhlíku  $\text{C}^{13}$ . Experimentální práce samy se konaly v Nobelově institutu ve Štokholmu.

Dne 9. července 1957 bylo oznámeno — zpráva vyšla také v mnoha sovětských časopisech — že se štokholmské skupině podařilo vydělit isotop  $102^{253}$  nebo  $102^{251}$  nového prvku ( $Z = 102$ ) s poločasem asi 10 minut. Isotop vyzařoval částice alfa s energií asi 8,5 MeV. Nový prvek dostal název *nobelium*, značka No.<sup>5)</sup>

Ukázalo se však, že historie syntézy nobelia tím nekončí, spíše teprve začíná. Stabilitnost transuranů totiž s rostoucím atomovým číslem ( $Z$ ) ztelně klesá, což vyžaduje nových kritérií pro zjišťování povahy syntetických prvků a nových experimentálních metod. Zatím se (až do mendělejevia) identifikovaly nové prvky ve zplodinách nukleárních reakcí chemicky. S rostoucí nestabilitností transuranů, jejichž poločasy klesají na vteřiny a zlomky vteřin, sotva lze očekávat, že dosavadní chemické metody separace budou dostatečně výkonné.

Studium asi jednoho sta dosud známých transuranových isotopů vede k závěru, že s rostoucím atomovým číslem rychle klesá stabilitnost transuranů vzhledem k rozpadu alfa a vzhledem k samovolnému štěpení, a že hranice „minutových“ isotopů je někde kolem atomového čísla  $Z = 102$ . Při  $Z = 106$  až 108 se bude životnost i nejstabilnějších

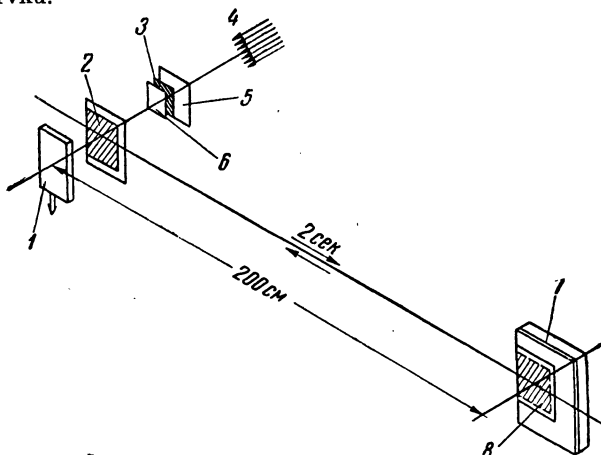
<sup>3)</sup> Pro einsteinium se nachází v literatuře dvojí označení, E a Es.

<sup>4)</sup> V literatuře se nachází dvojí označování, Md a Mv.

<sup>5)</sup> Na druhé ženevské konferenci bylo navrženo nazvat tento nový umělý prvek *rutherfordium*, na počest E. Rutherforda, který uskutečnil první nukleární reakci.

transuranových isotopů pravděpodobně měřit na miliontiny vteřiny. Proto bylo zřejmé již v pokusech o syntesu nobelia, že bude nutno hledat nové metody pro identifikaci nových prvků.

Nové myšlenky v tomto směru se objevily již v práci A. Ghiorsoa, W. Harveye, S. Thompsona a G. Seaborga (1955), týkající se syntesy mendělejevia. K vydělování atomů  $Md^{256}$  ze stovek milionů atomů einsteinia (v terči) bylo použito metody odražených jader. Částice alfa, jimiž je ostřelováno einsteinium, předávají při „vhodném“ dopadu do terče, nutném pro jejich pohlcení a vytvoření mendělejevia, jádrům terče velký impuls, a vyrážejí je z terče do speciálního sběrače, na příklad do zlaté folie. Poměr počtu atomů ostřelováním vznikajícího prvku k počtu atomů terče, jež jsou mu chemicky blízké, se ukazuje ve sběrači mnohem větší než v samém terči, což usnadňuje další chemické separování nového prvku.



Obr. 1: Schéma pokusů moskevské skupiny. 1 — sběrač iontů, 2 — hliníkový sběrač odražených jader (první poloha), 3 — plutoniový terč, 4 — svazek iontů kyslíku, 5 — podložka, 6 — ochranná vrstva, 7 — nukleární fotografická deska, 8 — hliníkový sběrač odražených jader (druhá poloha).

Této metodě bylo použito i ve Štokholmu při syntese nobelia. Její úloha byla však — podobně jako u mendělejevia — jen sekundární. Závěr štokholmských experimentů, to jest identifikace prvku č. 102, byl založen hlavně na vyzařování částic alfa o energii 8,5 MeV.

Ve zprávě o objevu desátého transuranu bylo mnoho nejasností, jak ostatně přiznali i sami její autoři<sup>6)</sup>. Především bil do očí rozpor mezi poločasem (10 minut) a energií emitovaných částic alfa (8,5 MeV). Podle známého vztahu mezi těmito dvěma veličinami by energii 8,5 MeV částic alfa odpovídal poločas asi 10 vteřin. K jisté opatrnosti v závěrech musí vést i průběh pokusů: z šesti použitých terčů z curia jen tři vykazovaly při ozáření vznik aktivity alfa, připisované prvku č. 102. Přitom i u těchto tří terčů se registrovaly kladné výsledky jen po prvé dva týdny po jejich zhotovení a to jen v polovině případů.

Rozpor mezi poločasem a energií emitovaných částic alfa bylo možno, pravda, vysvětlit tím, že aktivita alfa nebyla vyvolána samým prvkem č. 102, nýbrž vedlejším produktem, vzniklým při rozpadu výchozího isotopu záchytem *K*. Také znečištění terče při jeho zhotovování mohlo mít vliv na průběh pokusů.

<sup>6)</sup> P. Fields, A. Friedman, J. Milsted, H. Atterling, W. Forsling, L. Holm, B. Aström, Phys. Rev. sv. 107, str. 1460, (1957).

Nově mohly celou věc osvětlit jen další výzkumy. Došlo k nim v posledních letech v SSSR a v USA. Výzkumy měly nejen velmi zajímavé výsledky, ale založily i novou metodiku identifikace isotopů, jejichž životní doba nepřesahuje vteřiny nebo zlomky vteřin.

V SSSR začaly práce na získání desátého transuranu koncem roku 1957 v Ústavu atomové energie AN SSSR. Pokusy se konaly na 150-centimetrovém cyklotronu. Výzkumy vedl člen korespondent AN SSSR G. N. Flerov, v kolektivu spolupracovníků byli S. M. Polikanov, A. S. Karamjan, A. S. Pasjuk, D. M. Parfanovič, N. I. Tarantin, V. A. Karnauchov, V. A. Druin, V. V. Volkov, A. M. Semčinoва, Ju. C. Oganěsjan, V. I. Chalizev a G. I. Chlebnikov.

Flerov ostřeloval plutonium  $\text{Pu}^{239}$  a  $\text{Pu}^{241}$  ionty kyslíku  $\text{O}^{16}$ , urychlenými na 100 MeV. Vzhledem k tomu, že u očekávaného prvku č. 102 bylo nutno počítat s životní dobou jen na vteřiny, bylo použito nové metodiky, která umožňovala stanovit také energii emitovaných částic alfa. Schéma pokusného zařízení je na obraze 1. Svazek iontů kyslíku 4 dopadá na vrstvu plutonia 3, silnou 100–300 mikrogramů na  $1 \text{ cm}^2$ . Plutonium bylo nanášeno elektrolyticky na velmi tenkou niklovou folii. Srážkami rychlých iontů kyslíku s jádry plutonia vznikají složená jádra o velké kinetické energii, což má za následek, že tato jádra z terče vylétují, procházejí ochrannou vrstvou 6 a dopadají do speciálního tenkého hliníkového sběrače 2. Sběrač se periodicky (každé dvě vteřiny) přemísťuje k nukleární fotografické desce 7, citlivé na částice alfa. Fotografická deska byla ve vzdálenosti 2 m od místa ostřelování. Ve spektru částic alfa takto získaném se vyskytovala vedle částic alfa, emitovaných fermiem a californiem, také skupiny částic alfa o energii  $8,8 \pm 0,5 \text{ MeV}$ . Ke konci srpna 1958 bylo zaznamenáno 87 emisí takových částic.

Z teorie rozpadu alfa plyne, že takové částice alfa mohly být emitovány jen isotopy prvku o atomovém čísle 102. Z isotopů prvků bližších plutoniu by mohly částice alfa o uvedené energii emitovat jen isotopy nejlhčší, jejichž vznik však zase není možný při ostřelování ionty kyslíku o energii 100 MeV. Bylo proto možno vyvodit závěr, že tyto částice alfa jsou produktem rozpadu isotopu prvku č. 102 o hmotovém čísle 253 nebo 254 (reakce  $\text{Pu}^{241}(\text{O}^{16}, 3-4n) 102^{253(254)}$ ).

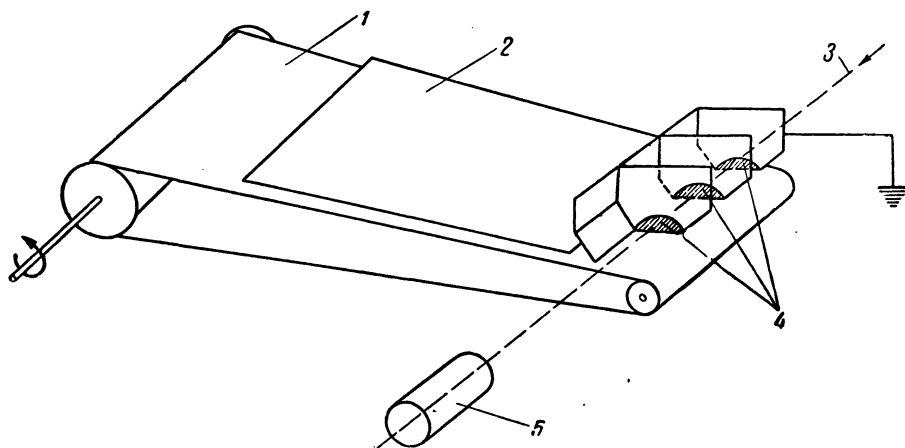
Údaj štokholmské skupiny o energii částic alfa, které nový prvek emituje, se tak potvrdil. Nepotvrdily se však údaje o poločasů. Moskevská skupina konala v tomto směru na jaře a v létě 1958 pokusy, v nichž se měnila rychlost přemísťování sběrače od terče k fotografické desce. Poločas nově objeveného isotopu se ukázal při nejmenším o řád nižší než 10 minut (menší než 4 minuty).

První zprávu o výsledcích moskevských výzkumů podal S. M. Polikanov na symposiu, které se konalo v únoru 1958 v Kodani. V téže době vyšla zpráva tiskem<sup>7)</sup>. Tehdy nebylo však ještě jisté, nejsou-li zmíněné částice alfa pozadím, vzniklým v nějakých vedlejších nukleárních reakcích. Bylo ovšem snadno vyloučit jako zdroj takového pozadí takové částice, jaké jsou na příklad v kosmickém záření, kdy emise částic alfa nezávisí na přemísťování sběrače od svazku ostřelujících částic k fotografické desce. Měněním rychlosti tohoto přemísťování se snadno dokázalo, že pozadí tohoto původu je zcela zanedbatelné. Obtížnější bylo zjistit, není-li zdroj emise částic alfa v příměsích vizmutu, talia, olova a rtuti v plutoniu terče. Při ostřelování těchto prvků ionty kyslíku vznikají totiž neznámé isotopy, které emitují částice alfa o energii 8–9 MeV, přičemž i velmi nepatrné množství těchto příměsí dává znatelný efekt. Byla proto v dubnu až srpnu 1958 vypracována velmi citlivá metoda, již bylo možno zjistit až stomiliontinu gramu zmíněných prvků.

<sup>7)</sup> Г. М. Флеров, С. М. Поликанов, А. С. Карамян, А. С. Пасюк, Д. М. Парфанович, Н. И. Тарантин, В. А. Карнаухов, В. А. Друин, В. В. Волков, А. М. Семчинова, Ю. Ц. Оганесян, В. И. Хализев, Г. И. Хлебников, Доклады АН СSSR, sv. 120, č. 1, str. 73, (1958).

Skutečně se podařilo pomocí této metody dokázat, že příměsi nemohou být jediným zdrojem emise zmíněných částic alfa, že tedy závěr z konce roku 1957 o synthese desátého transuranu je správný.

V USA se syntesou umělého prvku č. 102 zabývala skupina vědců, vedená G. Seaborgem a A. Ghiorsoem. Pokusy se konaly na lineárním urychlovači Kalifornské university v Berkeley, který byl uveden do provozu v roce 1957. Z počátku se skupina snažila potvrdit štokholmské výsledky. Přes velmi mnoho pečlivých pokusů se to nepodařilo. Seaborg přešel proto se svými spolupracovníky k radikálně nové, velmi důmyslné metodice, která umožnila začátkem roku 1958 identifikovat isotop  $102^{264}$  nového prvku, vznikajícího ostřelováním curia  $\text{Cm}^{246}$  ionty uhlíku  $\text{C}^{12}$ . Hlavní myšlenkou této nové metodiky<sup>8)</sup> bylo



Obr. 2: Schéma pokusů berkeleyské skupiny. 1 — pásový sběrač, 2 — foliový sběrač, 3 — svazek uhlíkových iontů, 4 — curiový terč, 5 — sběrač iontů.

neustále zachycovat atomy isotopu fermia  $\text{Fm}^{260}$ , které vznikají jako vedlejší produkt při rozpadu alfa nového prvku. Poločas isotopu  $\text{Fm}^{260}$ , jak bylo zjištěno již dříve, je 30 minut, energie emitovaných částic alfa je 7,43 MeV.

Experimentální práce proběhly ve dvou etapách (obr. 2). Curiový terč 4 obsahoval 5% curia  $\text{Cm}^{246}$  a 95% curia  $\text{Cm}^{244}$ . Uhlíkové ionty, jimiž byl curiový terč ostřelován, byly urychleny na energii 60–100 MeV.

V první fázi pokusů se atomy prvku 102, které při ostřelování vyletovaly, brzdily v heliové atmosféře a byly přitahovány kovovým pásovým sběračem 1, záporně nabitým, který neustále běžel pod terčem 4.

Již v tomto pásu docházelo k rozpadu alfa nového prvku. Vedlejším produktem tohoto rozpadu byly atomy fermia  $\text{Fm}^{260}$ :

Druhá fáze pokusů spočívala v tom, že asi polovina těchto atomů fermia z pásu vyletovala a byla zachycována záporně nabitým foliovým sběračem 2, umístěným nad

<sup>8)</sup> A. Ghiorso, T. Sikkeland, J. Walton, G. Seaborg, Phys. Rev. Letters, sv. 1, str. 18 (1958).

pásem 1. Výsledkem každého pokusu bylo až 40 atomů  $\text{Fm}^{250}$ , identifikovaných ve sběrači 2, přičemž tento sběrač sám nebyl vůbec ionty uhlíku ostřelován.

Poločas rozpadu isotopu nového prvku  $102^{254}$  se stanovil tak, že foliový sběrač 2 byl rozdělen příčně ke směru pohybu pásového sběrače 1 na pět částí, jejichž aktivita se současně registrovala. Příslušné údaje se srovnávaly s přihlédnutím k známé rychlosti sběrače 1. Zjistilo se tak, že hledaný poločas isotopu  $102^{254}$  je blízko době 3 vteřin.

Necháme-li stranou — pro výše uvedený rozpor mezi poločasem nového prvku a energií emitovaných částic alfa — závěry štokholmské skupiny, docházíme k výsledku, že ve dvou vědeckých střediscích, v Moskvě a v Berkeley, byl dvěma vědeckými kolektivy identifikován nový, desátý transuran o atomovém čísle 102. Přes znamenitý souhlas výsledků obou těchto vzájemně zcela nezávislých bádání, nelze ještě mluvit o stoprocentní jistotě závěrů. Moskevské výzkumy se totiž opírají o systematiku rozpadu alfa, čímž ztrácejí poněkud na přesvědčivosti, v pokusech kalifornských pak není zcela jisté, že atomy fermia  $\text{Fm}^{250}$ , zjištěné ve foliovém sběrači, jsou produktem rozpadu alfa isotopu  $102^{254}$ . Je možné — i když velmi nepravděpodobné — že fermium  $\text{Fm}^{250}$  vzniká isomérním rozpadem hypotetického isoméru  $\text{Fm}^{250}$  nebo záchytem  $K$  elektronu jádrem dosud neznámého isotopu mendělejevia  $\text{Md}^{250}$  <sup>9)</sup>.

Moskevské závěry by se mohly stát jistými zjištěním hmotového čísla a životní doby pozorovaného nového isotopu, kalifornské výsledky by pak bezpečně potvrdila na příklad demonstrace, že energie jader  $\text{Fm}^{250}$  je řádově rovna desítkám KeV, to jest že tato jádra se dostanou do foliového sběrače i přes tenká stínítka, která částice s malou energií pohltní.

Pokusy o syntesu desátého transuranu pokračují dnes v různých zemích. Lze se nadít, že vyjasní i otázku jeho vzniku i vlastností jeho isotopů.

#### Použitá literatura:

Professor В. И. Гольданский, *О десятом заурановом элементе*, Vestnik Akademii nauk SSSR, č. 1, (1959).

A. K. Лаврухина, *Успехи ядерной химии*, Izd. Akademii nauk SSSR, Moskva 1959.

A. K. Лаврухина, *Трансурановые элементы*, Priroda, č. 12, (1955); česky A. K. Lavruchina, *Transuranové prvky*, v tomto časopise, I (1956), č. 3.

Dr Josef Veselka

<sup>9)</sup> „Isomérně“ by  $\text{Fm}^{250}$  mohlo na příklad vzniknout myslitelnou reakcí  $\text{Cm}^{244}$  ( $\text{C}^{12}$ ,  $\alpha$  2n)  $\text{Fm}^{250}$  z ouria  $\text{Cm}^{244}$ , jehož je v curiovém terči 95%.