

Osmdesát let od objevu a interpretace jaderného štěpení (1938): OTTO HAHN A TRADOVANÁ VERZE PŘÍBĚHU

Filip Grygar

Fakulta filozofická, Univerzita Pardubice, Studentská 84, 532 10 Pardubice; Filip.Grygar@upce.cz

Několik úvodních poznámek

V prosinci 2018 uplynulo nejen 80 let od objevu a interpretace jaderného štěpení, ale také 50 let od úmrtí hlavních aktérů tohoto počínu *Otto Hahna* (1879–1968) a *Lise Meitnerové* (1878–1968). Záměrem tohoto článku je připomenout ikonu německé vědy Hahna, který si – jako jediný – za objev štěpení těžkých jader převzal v roce 1946 Nobelovu cenu za chemii (udělenou za rok 1944). Na úvod je však nutné shrnout několik souvislostí, jež tvoří dějinný kontext převratného (a pro lidstvo fatálního) objevu a připomenout nejnovější historické výzkumy, které se týkají demystifikace desítky let trvající legendy o Hahnovi.

Hahn byl ještě do přelomu 20. a 21. století považován za vzor společenské zodpovědnosti a příklad činného antinacisty a vědce, který nekolaboroval se zločinným režimem. Podle učebnicové či tradované verze – podporované mimo jiné zejména německou vědeckou komunitou a Hahnovými memoáry – se měly jeho vědecké aktivity během druhé světové války týkat pouze čisté vědy, tj. základního výzkumu, jenž nebyl poskrvněn nacistickou politikou nebo aplikacemi ve vojenské mašinerii. Ve své práci tak měl Hahn navazovat pouze na svůj přelomový objev jaderného štěpení, k němuž dospěl v Berlíně v prosinci 1938 spolu s mladým asistentem *Fritzem Strassmannem* (1902–1980) údajně jen na podkladě praktického radiochemického výzkumu, nikoli za pomoci nukleární či teoretické fyziky. Tu prováděla rakouská vědkyně a Hahnova dlouholetá židovská kolegyně – tzv. „spolupracovnice“ (v němčině *Mitarbeiterin* je výrazem pro podřízenější pozici) – *Lise Meitnerová*, která navíc v červenci 1938 musela emigrovat z Německa do Švédska. Jak tradovaný příběh pokračuje, Meitnerová potom přispěla se svým synovcem *Otto R. Frischem* (1904–1979) k interpretaci či vysvětlení Hahnova a Strassmannova objevu.

Hahn spolupracoval s Meitnerovou, jež přesídlila natrvalo z Vídně do Berlína, už od roku 1907 v Chemickém ústavu Univerzity Fridricha Viléma (v suterénní bývalé truhlářské dílně – místnosti na různé zpracovávání



O. Hahn jako doktor filozofie v r. 1901.

dřeva). V roce 1912 přesunuli své laboratorní pomůcky a výzkumy do nedávno ustavené Společnosti císaře Viléma na podporu věd v Berlíně (*Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften*), v níž byl Hahn jmenován vedoucím oddělení radioaktivity v novém Ústavu pro chemii (*Kaiser-Wilhelm-Institute für Chemie*). Během první světové války byl Hahn jako specialista a vývojář zapojen do výroby, vývoje a zavedení zakázaných chemických plynů či zbraní. Jako loajální německý voják a vědec, jak Hahn vzpomíná, se „dal s přesvědčením do práce“¹, což mu Meitnerová, která zase sloužila ve válce jako rentgenoložka a ošetřovatelka, schvalovala. Bezprostředně po prohrané válce Hahn stanul v čele oddělení radiochemie a od roku 1920

1 Viz [6], s. 130.



E. Rutherford a O. Hahn (1908).

do 1934 pracoval samostatně bez Meitnerové, poněvadž ta byla jmenována v témže ústavu vedoucím nově zřízeného fyzikálního oddělení.

Za 13 let spolupráce (1907–1920) objevili kromě jiného metodu radioaktivních reakcí (rozpadů) nebo nový radioaktivní prvek s pořadovým číslem 91 *protaktinium* (resp. jeho izotop; původní název *proto-aktinium*), za což byli několikrát navrhováni na Nobelovu cenu. V letech 1926 až 1928 Hahn působil jako prozatímní ředitel a posléze jako řádný ředitel Ústavu pro chemii (v oně době objevil jadernou izomerii, emanační metodu aj.). Svě síly opětovně spojili až v roce 1934, když začali provádět experimenty, jejichž cílem byla možnost získávání nových chemických prvků, tzv. transuranů, nacházejících se v Mendělejevově tabulce za posledním uranem. Krátce po druhé světové válce se Hahn stal prezidentem celé neblaze zkompromitované Společnosti císaře Viléma a v roce 1948 byl (až do roku 1960) opětovně volen prezidentem její nástupkyně, tj. Společnosti Maxe Plancka (Max Planck Gesellschaft). Hahn zemřel v Göttingenu v červenci 1968 na selhání srdce a Meitnerová, jež se do Německa již nikdy natrvalo nevrátila, přežila svého kolegu jen o tři měsíce, skonala v Cambridgi.

K zásadnímu posunu pro historiky vědy, kteří se zabývají aktivitami vědců v nacistickém Německu, došlo teprve až od poloviny devadesátých let 20. století – v době, kdy zemřela většina vůdčích osobností anebo vedoucích pracovníků různých soukromých a státních organizací z nacistické éry. Díky nové příznivé atmosféře v Německu se týmům historiků konečně plně otevřely například archivy řady vědeckých, průmyslových a bankovních společností včetně Společnosti Maxe Plancka. Vychází najevo, že její pracovníci včetně Hahna desítky let zamlčovali, ignorovali, zlehčovali nebo falšovali informace o spolupráci vlastní nebo dalších vědců s nacistickým režimem a o větším či menším podílu jednotlivých ústavů na válečném dění či páchaných zverstvech proti lidskosti. Postupně odtajňované a zveřejňované dokumenty, záznamy, deníky či publikace nám tak v poslední době umožňují získat ucelenou představu i o Hahnových aktivitách v době nacistického Německa. Práce historiků nyní probíhá bez zidealizovaného hávu, jímž byla legenda o Hahnovi, který se měl údajně zabývat výhradně čistou vědou. Tato legenda vznikla v poválečném Německu, jež se snažilo světu představit své kladné hrdiny i ve vědecké komunitě.

Nové práce nepopírají, že Hahn byl vynikající vědec, slušný nebo antinacisticky smýšlející člověk, přece

však jej navracejí z piedestalu mezi četné vědce, kteří mnohdy přestali rozlišovat mezi zdravým vlastenectvím a nebezpečným nacionalismem. Tito muži byli natolik fascinováni vlastním výzkumem, že kolabovali se zločinným režimem, aniž by je k tomu někdo nutil – bez ohledu na to, zda byli přesvědčení nacisté, anebo antinacisté. Hahn se tak podobá mnoha svým spoluobčanům, jejichž chování a smýšlení bylo deformováno dlouholetým životem v Hitlerově nacistickém Německu. Hahnovo poválečné mlčení, alibismus a nepochopení obecné situace nebo toho, jakých bezprecedentních zločinů a hrůz se Německo ve světě dopustilo, zasáhly i do celoživotního přátelství s Meitnerovou (i dalšími emigranty) a nepřímě přispěly k rozhodnutí nobelovských výborů, že neobdržela Nobelovu cenu. Bez komentáře zde ponecháváme, že se Hahn v roce 1943 stal zahraničním členem Nobelova chemického výboru v Královské švédské akademii, jejíž výbory rozhodují o laureátech Nobelovy ceny, a vynecháváme další souvislosti spjaté jak s vědeckými či osobními intrikami a motivacemi tehdejších členů chemické nebo fyzikální komise, tak s dlouhodobou vstřícnou švédskou politikou vůči Německu a německým vědcům včetně Hahna.

Zatímco Hahnovou nepřiznanou spoluprací s nacistickým režimem se zabýváme jinde², v tomto článku si připomeneme hlavně Hahnovu de facto učebnicovou podobu příběhu o objevu a interpretaci jaderného štěpení – jeho vzpomínky místy pro přehlednost faktograficky doplníme dalšími informacemi³. Hahn ovšem ve své oficiální verzi opomenul zásadní roli, již nejen při interpretaci, nýbrž také při samotném objevu sehrála Meitnerová, třebaže v té době už žila půl roku v emigraci. Svůj pohled na jaderné štěpení začal (s vědeckou komunitou v Německu) veřejně šířit již bezprostředně po druhé světové válce, což trvalo až do jeho smrti.⁴ Oproti Hahnovým četným prohlášením či memoárům existují sporadicky zveřejněné rozhovory nebo vzpomínky skromné Meitnerové, jež se stavěla vůči Hahnovi vždy velkoryse. Nikdy své zásluhy na objevu jaderného štěpení nezdůrazňovala, avšak v dopisech byla k němu

2 K těmto otázkám a literatuře k tématu viz [7].

3 K dalším historickým souvislostem česky viz [8], kap. 4.

4 Viz [1–6].



O. Hahn s L. Meitnerovou v laboratoři (1908).



O. Hahn s Lise Meitnerovou v laboratoři v roce 1909.

upřímná i nemilosrdná. Velmi kriticky se vymezovala vůči neschopnosti vědecké německé komunity včetně Hahna samotného vyrovnávat se s dobou nacistického režimu. Dále odmítla, že by byla jeho pouhou spolupracovnicí a rovněž i Hahnovu verzi o objevu jaderného štěpení, v němž přisuzoval zásluhy výhradně sobě.⁵

Od přirozených přeměn prvků k uměle vytvořeným

Uran objevený v roce 1789 je v přírodě nejtěžším prvkem z periodické tabulky prvků s pořadovým číslem 92 (jádro uranu obsahuje 92 protonů). Na samém konci 19. století byla objevena a vysvětlena jeho přirozená radioaktivita (samovolný rozpad), dále se podařilo z uranové rudy izolovat další dva aktivní prvky: radium a polonium. Následně se zjistilo, že k rozpadání některých prvků dochází podle stanovených pravidel a určitelné doby (poločas rozpadu) na základě samovolné přeměny atomových jader v jiná nestabilní jádra, tudíž i jiné aktivní prvky, dokud se rozpadová řada nedostane k prvkům stabilním, v případě uranu je to olovo. Při takovýchto proměnách radioaktivní atomy o sobě dávají vědět prostřednictvím tří druhů detekovatelného či měřitelného záření α (jádra prvku hélia tvoří proud alfa částic), β (paprsky beta tvoří proud elektronů) a γ (proud vysokofrekvenčních kvant či fotonů).

Rozmanité výzkumy s uranem, thoriem a jinými radioaktivními látkami spolu později prováděli Hahn s Meitnerovou, přičemž dosáhli významných úspěchů při objevování různých produktů přirozeně se rozpadajících prvků, navrhovali nové experimentální techniky, detekční či analyzační metody apod. a uvedení nový prvek protaktinium objevili na konci první světové války. Pro účely tohoto článku je však třeba se zastavit alespoň u jednoho průkopníka a nositele Nobelovy ceny za výzkum radioaktivity, jímž byl novozélandský fyzik Ernest Rutherford (1871–1937), jehož si Hahn nesmírně vážil. Jako mladý absolvent chemie z Marburku – kromě roční stáže 1904/05 na univerzitě v Londýně – pobýval na zkušenou u Rutherforda v roce 1906 v Montrealu na McGillově univerzitě.⁶ Na obou studijních pobytech již Hahn začal publikovat o svých

výsledcích, jako například objevení několika – v pozdějším názvosloví – izotopů polonia, olova a thoria (izotopy stejného prvku obsahují v jádře atomu stejný počet protonů, ale různý počet neutronů). Rutherford, pro něhož byl Hahn „mnohem více muž činu než myslitel“⁷, se následujícího roku přestěhoval do Evropy a začal působit na univerzitě v Manchesteru.

Kromě vysvětlení přirozené radioaktivity a rozlišení uvedených druhů záření také Rutherford prováděl pokusy s ozařováním či bombardováním různých tenkých fólií (mimo jiné ze zlata) pomocí α částic, které vznikají například při rozpadu prvku rádia. Touto cestou v roce 1911 objevil i nepatrné jádro, v němž je soustředěna prakticky celá hmotnost atomu a pro něj také navrhl svůj prozatímní, nicméně fakticky nefunkční model. Ten byl v následujících letech radikálně vylepšen a začleněn do rodící se kvantové mechaniky. V roce 1919 se Rutherfordovi, který v té době už byl ředitelem Cavendishových laboratoří v Cambridgi, podařilo s kolegy pomocí částic α uměle realizovat dávný sen alchymistů, tj. vyvolat takovou jadernou reakci, při níž došlo k proměně stabilního prvku dusíku (7 protonů) na kyslík (8). Podstata tohoto jevu spočívá v tom, že kladně nabitá jádra lehkých prvků nekladně nabitým α částicím (2 protony) takový odpor jako například jádro těžkého prvku zlata (79), a proto u lehkých prvků byla vyšší pravděpodobnost, že se α částicím podaří projít nejen přes záporně nabitý atomový obal, kde jsou přitahovány elektrony (tyto záporně nabitě částice prvně pojmenoval G. J. Stoney v roce 1891), ale také zasáhnout a proniknout do lehkého jádra. Rutherford rovněž zjistil, že po ozařování dusíku α částicemi zůstávají na laboratorním stínítku stopy jádra nejllehčího prvku vodíku (1 proton). To znamenalo, že jádro vodíku musí být obsaženo nejen v jádru dusíku, ale jak se vzápětí ukázalo, v jádrech všech prvků. V roce 1920 Rutherford toto jádro veřejně pojmenoval jako *to první*, tj. řecké *proton*; počet protonů (protonové či atomové číslo) charakterizuje chemickou povahu prvků.

Počátkem třicátých let došlo ke dvěma stěžejním událostem, jež způsobily zlomový přechod od atomové k nukleární fyzice. V roce 1932 James Chadwick (1891–1974) experimentálně potvrdil novou a pro objev jaderného štěpení zásadní částici *neutron*. Chadwick, nava-

⁷ Viz [9], s. 167.



L. Meitnerová a O. Hahn v laboratoři (1913).

⁵ Těmito souvislostmi a stěžejní rolí Meitnerové se zabýváme v dalším článku.

⁶ Hahn netoužil být akademickým pracovníkem nebo vědcem, rodiči byl vychováván k praktickým cílům, proto se tehdy chtěl především naučit angličtinu potřebnou pro „odborný post organického chemika v německém chemickém průmyslu“. (Viz [3], s. 3997.)

zující na experimenty svých předchůdců, bombardoval α částicemi tenkou fólii z lehkého kovu prvku beryllia (4 protony). U pozorované radiace zjistil, že je složeno z neutrálně nabitých částic (o téměř stejné hmotnosti, jakou mají protony). Proto podle něj jádra musela obsahovat i částice, jež elektrický náboj nenesou. Název *neutron* byl používán už před rokem 1932 a tuto částici již v roce 1920 předvídal Rutherford. Součet protonů a neutronů, tj. nukleonů v jádře atomu (nukleové číslo), potom charakterizuje relativní atomovou hmotnost. Od té doby díky objevu neutronu skončily různé spekulace o tom, zda v jádrech atomů kromě protonů existují i elektrony.

V návaznosti nejen na Rutherfordovy výzkumy se v roce 1934 Irène Joliot-Curie (1897–1956) s jejím manželem J. Frédéricem Joliot-Curie (1900–1958) podařilo vysvětlit obecně proces umělé neboli indukované radioaktivity, při níž se po ozařování jader stabilních prvků vytvářely látky radioaktivní. Manželé Joliot-Curieovi v Paříži ozařovali částicemi α hliníkovou fólii a výsledkem jaderné reakce byla (už bez následného bombardování) nejen emise neutronů, ale také několikaminutové vyzařování částice *pozitron* (tzv. antielektron mající kladný náboj). Toto pojmenování navrhl Paul Dirac (1902–1984) v roce 1928 a experimentálně v roce 1932 částici dokázal Carl D. Anderson (1905–1991). Joliot-Curieovi mimo jiné zjistili, že se jádra boru (5 protonů), hliníku (13) a hořčíku (12) po bombardování α částicemi změnila na tehdy neznámé radioaktivní izotopy dusíku (7), fosforu (15) a křemíku (14) v tomto pořadí. Tyto radioaktivní izotopy se zase mohly následně rozpadat za emise pozitronu.

Do začátku třicátých let se ve světových laboratořích experimentovalo s ostřelováním různých atomů chemických prvků pomocí α částic anebo protonů. Ovšem jakmile byl objeven neutron a vysvětlena umělá radioaktivita, začala se na scéně v roce 1934 výrazně prosazovat římská skupina vědců pod vedením Enrica Fermiho (1901–1954). Totiž nenabíjí neutron má oproti α částicím a protonům výhody v tom, že je mnohem průraznější kvůli absenci elektrického náboje. Má vysokou energii i rychlost (ta se však ukázala být problémem), a tudíž existuje vysoká pravděpodobnost, že se během bombardování snáze střetne i s atomovým jádrem těžkého prvku, neboť neutron nebude jako α částice zpomalen či odkláněn z dráhy velkým množstvím elektronů nebo dokonce zastaven kvůli mocnému elektrostatickému odpuzování těžkého jádra.

Bystří i flexibilní italští vědci se naučili velmi rychle, a nadto v obrovském množství, produkovat (dosud těžko získatelné) neutrony. V USA se v té době sice začaly postupně vyrábět vysokonapěťové generátory



Ústav pro chemii ve Společnosti císaře Viléma v roce 1913.



Flandry 1916, Hahn při testování chemických zbraní.

a cyklotrony, jež dokázaly snadno produkovat obrovská množství různých částic, ovšem takové nesmírně drahé přístroje si některé laboratoře v Evropě mohly dovolit až o několik let později. Fermiho skupina však věděla, že vzácný radioaktivní plyn radon, jenž uvolňuje α částice, vzniká samovolným rozpadem prvku radia. Vědcům se posléze podařilo vtěsnat do malých třicentimetrových zatavených a tenoučkých zkumavek zkapalněný radon a prášek z beryllia. Jakmile vznikla ve zkumavce vysoká hustota α částic, jejich proud dokázal natolik intenzivně ozařovat jádra beryllia, že se začala chovat radioaktivně a uvolňovat velké množství neutronů. Fermi uvedl, že díky tomu „mohl získat více jak 100 000 neutronů za sekundu [...]“.⁸ Pomocí nich potom vědci doslova s nadšením bombardovali jeden prvek z periodické tabulky za druhým, tzn. od prvků lehkých až po nejtěžší thorium nebo uran.

U rozličných nukleárních transmutací objevovali (či vytvářeli) kromě jiného umělé vzniklé stabilní izotopy prvků anebo nestabilní radioizotopy (radio-nuklidy), které rozmanitě zářily různě dlouhou dobu od několika vteřin přes několik minut až po řadu hodin nebo dní. Dále zjistili, že se detekované záření u téhož bombardovaného prvku oslabuje anebo zesiluje podle toho, jakým způsobem a rovněž kde k ozařování docházelo, například zda na dřevěném, anebo na mramorovém stole. Kromě toho byli fascinováni tím, že se radiace mnohonásobně zvýšila, když se atomová jádra různých kovů ozařovala zpomalenými neutrony, tzn. když ztrácely něco ze své energie – třeba při průchodu vodou a parafínem. Zpomalený neutron se (podobně jako pomaleji se pohybující golfový míček) pak lépe zachytil v ozařovaném droboučinkém jádře. Italští vědci tak na základě několikaletých a různě uspořádaných experimentů dospěli k názoru, že z interakcí mezi neutrony a jádry uranu vznikají zřejmě také nově vytvořené radioaktivní prvky za uranem, tzv. transurany s pořadovými čísly 93 a vyššími. Hahn to popisuje tak, že tenkrát vědci „vycházeli z očividného předpokladu, že nejprve jsou produkovány umělé, aktivní, krátkodobé izotopy uranu; jelikož emitují záření β , vyvozoval z toho Fermi produkci tzv. ‚transuranů‘ [...]“.⁹ Jinak řečeno: „Nově zformovaný izotop je nestabilní a při vyzařování β paprsků je přeměněn na další vyšší prvek.“¹⁰

⁸ Viz [10], s. 674. Později se ukázalo, že pro detailnější prozkoumání mnoha radioaktivních produktů bylo nutné nalézt ještě silnější zdroje záření neutronů – to umožňují urychlovače částic.

⁹ Viz [2], s. 55.

¹⁰ Viz [3], s. 4000.

Jejich uvažování mělo svoji oprávněnou logiku, poněvadž vycházeli z mnoha dosavadních experimentů, z analogie s ozařováním lehkých či středně těžkých prvků, kde obvykle po zachycení neutronu jádrem k uvedenému procesu docházelo, a stejně tak to mělo platit i pro těžký uran a vzestupně pro následující řadu ještě těžších transuranů. Původně byl z italských vědců k transuranům dlouho skeptický sám Fermi, nicméně 10. prosince 1938 obdržel za svoji vskutku průkopnickou práci Nobelovu cenu.

Během několika málo týdnů se ovšem mělo ukázat, že slibná honba mnoha vědců z několika světových laboratoří včetně těch německých za transurany byla v letech 1934 až 1938 falešná, ačkoli v mnohém novátorská. Totiž poslední experimenty z prosince 1938, jež prováděl skvělý radiochemický praktik Hahn se svým vynikajícím asistentem a analytickým chemikem Strassmannem v berlínské laboratoři, stávající předpoklady či omyl potvrdily, resp. ukázaly, že při bombardování uranu docházelo k jeho rozbití na menší odštěpky či jaderné produkty. Hahn v roce 1958 píše, že „*všechny radioaktivní substance detekované v těchto raných experimentech byly štěpnými produkty, nikoli transurany*“.¹¹ Ve vědecké biografii z roku 1962 zdůrazňuje, že revidování či zopakování si mylných předpokladů a tehdejších zdůvodnění, s nimiž sami pracovali, je nejen zajímavé, ale rovněž poučné, poněvadž to kromě jiného vysvětluje, proč došlo ke čtyřletému zpoždění, než se konečně dospělo ke správným výsledkům.¹²

Cesta k objevu a interpretaci jaderného štěpení

Závěry římské skupiny o transuranech nebyly přijímány mezi vědci nijak jednoznačně. Například německá chemička *Ida Noddacková* (1896–1978) protestovala – zřejmě nejvíce a marně – proti transuranům. Velmi skeptickým byl dále německý nukleární chemik *Aris-*

¹¹ Viz [4], s. 78.

¹² Viz [5], s. 115.



O. Hahn jako poručík v 1. sv. válce (kresba H. Boden-Heim z roku 1917).



Edith Junghans (1887–1968), od roku 1913 Hahnova manželka (autoportrét z roku 1909).

tid von Grosse (1905–1985) či v Dánsku atomový fyzik *Niels Bohr* (1885–1962) se svými kolegy. Mimo jiné se podle Hahna u jednoho dobře identifikovaného materiálu s poločasem rozpadu 13 minut mohlo jednat o izotop prvku s pořadovým číslem 91, tj. protaktinium. Proto se, jak Hahn všude uvádí, s Meitnerovou v roce 1934 rozhodli Fermiho experimenty ještě jednou důkladně prověřit a dokázat chemické vlastnosti daného prvku.¹³ Pomocí detailně připravených pokusů a jemné indikační metody opravdu zjistili, že nový prvek nebyl ani izotop aktinia (89), thoria (90) či protaktinia (91), ani izotop uranu (92) – z toho usoudili, že římský produkt musel být prvkem 93, to znamená skutečně prvním transuranem.

Představy o nukleárních procesech byly do přelomu roku 1938 a 1939 založeny na mylných předpokladech: totiž že jaderné změny, jak to popisuje Hahn, k nimž dochází po bombardování neutrony, nemohou být radikální a že získávané jaderné produkty mohly být buď a) izotopy týchž ozařovaných prvků, anebo b) jejich sousedních prvků s maximálním rozdílem plus minus 1 (ve vzácných případech 2) pořadové místo v periodické tabulce prvků. Když to ještě rozlišíme, tak nukleární fyzika zastávala chybnou domněnku, že nukleární změny budou vždy malé, a omyl radiochemie zase spočíval v tom, že transurany se musejí pokaždé chemicky podobat přechodným prvkům (v periodické tabulce prvků sdílí stejné vlastnosti jak ve skupinách, tak periodách). Hahn nerad připouštěl, že chybné předpoklady zastávali vedle nukleárních fyziků i nukleární chemici.¹⁴

Tudíž co se nakonec objevilo, tj. štěpení jader uranu na různé odštěpky či atomy výrazně lehčích a různých prvků, to bylo v polovině třicátých let naprosto nemy-

¹³ Hahn nikde nepíše, že to byla právě Meitnerová, která jej musela několik týdnů přemlouvat, aby se spolu zaměřili na tuto neprobádanou výzkumnou cestu.

¹⁴ Hahn nikdy řádně nepřiznal, že veškeré pokusy probíhaly na základě interdisciplinárních představ, resp. že za čtyřleté zpoždění objevu jaderného štěpení nemůže pouze teoretická fyzika.

slitelné. Z uvedeného důvodu toto paradigma tvořilo předporozumění, s nímž vědci v řadě světových laboratoří i v Berlíně přistupovali ke všem tehdejšími pokusům a teoretickým výkladům jaderných transmutací, nových substancí včetně nastalých problémů nebo anomálií. Zcela jisté však bylo, jak Hahn poznamenává, že „výchozím stavem byl vždy umělý uranový izotop“.¹⁵

V roce 1935 se k Hahnovi a Meitnerové připojil Strassmann, jenž pracoval v ústavu od roku 1929 (za velmi malou mzdu, trpěl kvůli tomu i podvýživou a během války s manželkou ukrývali doma židovského kamaráda). Nový berlínský tým od roku 1935 neúnavně opakoval, prokazoval nebo vyvracel některé římské a pařížské rozličně uspořádané experimenty s ozařováním uranu nebo thoria pomocí různě rychlých neutronů. Tyto pokusy přinášely mnoho nesnadno vysvětlitelných výsledků, u nichž byly detekce (například oproti ověřitelné 13minutové substanci) méně průkazné, a tudíž hůře anebo vůbec chemicky definovatelné, hlavně u produktů s velmi krátkým poločasem rozpadu do jedné minuty.

Mravenčí práce berlínské skupiny přinesla i velký počet vlastních zjištění, například 23minutovou aktivní substanci (později se ukázalo, že to byla směsice produktů včetně jaderných odštěpků), již jednoduše identifikovali jako izotop uranu. Vzhledem k tomu, že „emitoval částici β , bylo evidentní, že tento izotop se musí stát izotopem prvku 93 [...], nebyli jsme však schopni to detekovat“.¹⁶ Hahn dále popisuje, že v té době ještě nedokázali například kvůli slabým radiačním zdrojům zjistit další transformační produkty 23minutové substance, proto fakticky neobjevili onen skutečný a vytoužený transuran.¹⁷ Přesto dospěli po několikaleťte neúnavné práci ke značnému počtu „umělých a aktivních druhů atomů, jež se všechny zdály být vytvořeny přímo nebo nepřímo β zářením z předpokládaných krátkodobých izotopů uranu“.¹⁸

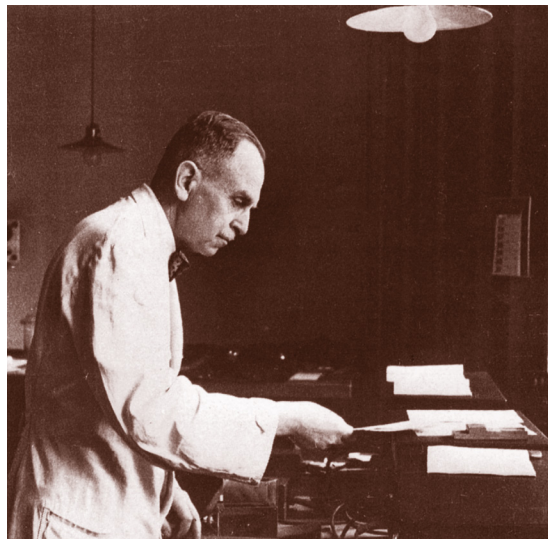
Proto podle nich muselo jít o transurany a takové produkty bylo možné uspořádat z hlediska chemic-

15 Viz [5], s. 118.

16 Viz [4], s. 78.

17 V roce 1940 vědci v USA díky zdokonaleným separačním metodám a urychlovačům částic (produkují mimo jiné zdroj silného neutronového záření) objevili prvek 93 a 94 (neptunium a plutonium).

18 Viz [2], s. 56.



O. Hahn v laboratoři – třicátá léta.



O. Hahn s korunním princem G. Adolfem při převzetí Nobelovy ceny v roce 1946.

kých vlastností do třech různých skupin podle postupných rozpadových řad či schémat až k transuranovému prvku s pořadovým číslem 96. V jiném textu to Hahn shrnuje následovně: „Izolovali jsme velký počet uměle vytvořených aktivních atomů, jež vznikaly jeden z druhého při β záření a byly považovány za transuranové prvky se vzrůstajícími čísly. Věřili jsme, že jsme dosáhli až k číslu 96.“¹⁹ Postupně však berlínský tým začal zjišťovat, že právě při ozařování těch nejtěžších prvků dochází k mnohem komplikovanějším procesům, než tomu bylo v případě lehkých prvků a než si vědci počátkem třicátých let dokázali vůbec představit.

Po přezkoumávaných výsledcích římských vědců navázal berlínský tým také na vybrané problematice experimenty s thoriem a uranem, jež v roce 1937 prováděli vědci v Paříži, kromě jiných Irène Joliot-Curie a srbský fyzik Pavel Savič (Pavle Savić 1909–1994, anglickým přepisem Paul Savitch). Kupříkladu po bombardování uranu pomalými neutrony a při vysílání paprsků β získali Curie se Savičem problematickou substanci s poločasem rozpadu 3,5 hodiny, jejíž chemické vlastnosti po různých úpravách a váháních definovali ve svém článku z roku 1938. V něm svoji substanci popisovali jako podobnou lanthanu (57). Hahn zpětně v roce 1958 vzpomíná, že „jejich substance byla nepochybně samotným lanthanem“.²⁰ Pařížští vědci ještě nedokázali udělat revoluční krok, jimž by se zaměřili na to, že právě takový atom lehkého prvku může vzniknout po ozařování jádra uranu. Proto se svůj produkt podle stávajícího přesvědčení snažili nějak začlenit mezi již dříve berlínskou skupinou navržené transuranové rozpadové řady, avšak s tím rozdílem, že pařížský produkt měl mít jiné vlastnosti než ostatní známé „transurany“, k čemuž Curie a Savič poskytl tři problematické hypotézy.

Než článek v září 1938 vyšel, musela 13. července Meitnerová emigrovat. Hahn v roce 1956 tuto událost na přednášce v Nottinghamu obecně komentoval tak, že kvůli Hitlerovým rasovým zákonům „naše

19 Viz [3], s. 4001.

20 Viz [4], s. 78.

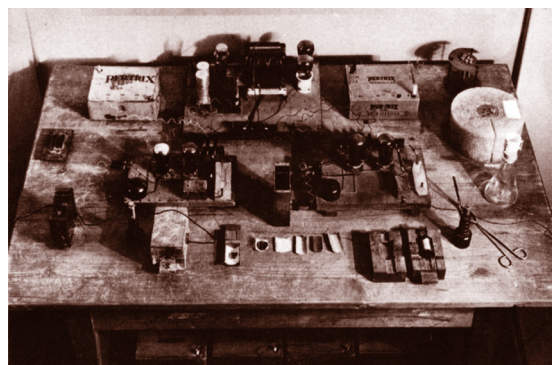
spolupráce dospěla do vynuceného konce, nicméně naše přátelství vydrželo do dnešních dnů²¹. Hahn se Strassmannem potom v listopadu publikovali článek, v němž po pečlivě připravených experimentech a rozborech rozpadových sérií všechny pařížské závěry odmítli.

Sami ovšem po dalších detailních rozborech 3,5 hodiny se rozpadající substance zjistili, že se také podobala lanthanu, přece však šlo o směs více produktů, k jejichž detailnějšímu určení zvolili vlastní postupy a charakteristiky. Vedle již dříve berlínským týmem předpokládaných a z roztoku vysrážených či oddělených transuranů Hahn se Strassmannem použili pro analýzu dalších produktů jako tzv. nosič (separátor či přísadu pro uskutečňování separačních technik) prvek baryum (56). Přesněji řečeno, po návrhu Strassmanna se postupně z hlediska chemických vlastností a vybrané strategie ukázalo, že bylo nejvýhodnější použít chlorid barnatý, jenž dobře krystalizuje a není v procesech srážení nijak kontaminován jinými substancemi nebo nečistotami. Pomocí tohoto postupu se pak z roztoku podařilo získat několik radioaktivních produktů s různou dobou poločasu rozpadu (od několika desítek sekund, desítek minut až po několik dnů). Výsledek byl pro ně pozoruhodný, neboť se týkal tří (β) aktivních izotopů prvku radia (88), jež se dále měnily na umělé (β) aktivní izotopy aktinia (89).

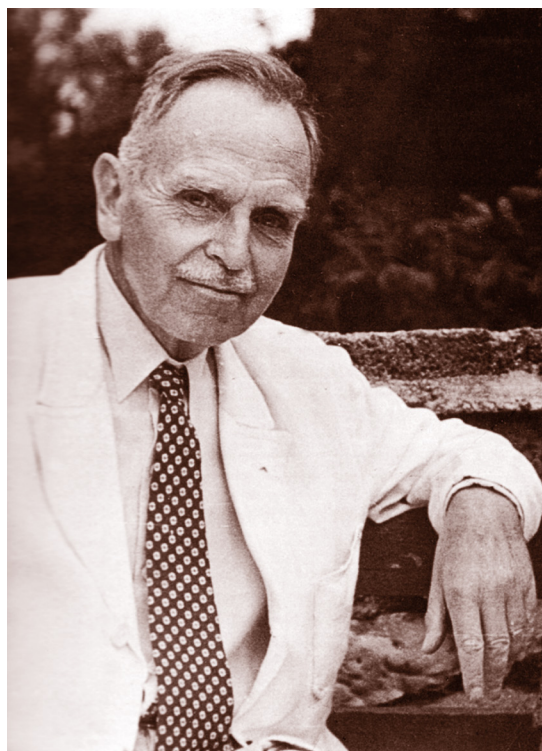
Hahn upozorňuje, že rozpadový proces pro získání radia probíhal s využitím jednak pomalých (nízkoenergetických, termálních) neutronů a poté ve dvou postupných emisích částice α , přičemž vzniklá transmutace při takovéto kombinaci byla do té doby něco naprosto nevídaného. Z pohledu chemie bylo možné uvažovat o tom, že získané produkty či sraženiny byly buď navržené izotopy radia, anebo mnohem lehčí baryum (které je chemicky podobné radiu). Zatímco na straně jedné byl radiový výsledek veskrze podivný, na straně druhé bylo zase baryum ihned vyloučeno, poněvadž z hlediska fyziky k tak velké nukleární změně po ozařování jader uranu neutrony nemohlo dojít. V roce 1956 Hahn prohlašuje, že „dokonce fyzici [tudíž i Meitnerová – pozn. autora] odmítali diskutovat o jakékoli jiné možnosti“²².

21 Viz [3], s. 4001. Tímto prohlášením vyřadil Meitnerovou z objevu jaderného štěpení, což je silně zavádějící, poněvadž spolu od července do začátku roku 1939 vedli velmi čilou vědeckou korespondenci. V roce 1958 pro časopis *Scientific American* se zase Hahn vyjadřuje tak, že jejich spolupráce trvala více jak 30 let, než byla kvůli nacistickému režimu ukončena v létě 1938 (viz [4]). I v tomto případě je jeho tvrzení zavádějící, neboť Hahn nebral v potaz, že Meitnerová od roku 1920 do roku 1934 vedla své oddělení, v němž dělala vlastní výzkumnou a objevnou práci.

22 Viz [3], s. 4001.



Pracovní stůl, na němž došlo k objevu jaderného štěpení (Německé muzeum v Mnichově 1953).



O. Hahn 1950.

V kontrastu k tomuto vyjádření zde poznamenejme, že později ve vědecké biografii Hahn naznačil, že „nikomu nelze nic vyčítat“²³. A v posledním svém životopisném textu Hahn ještě přiznává, že byl před závěrečnými experimenty pozván na přednášku do Kodaně (13. a 14. listopadu 1938) a že Bohr byl – právě jako fyzik – velmi obezřetný k dosavadním berlínským pokusům: a) vůči v té době kuriózně produkovaným transuranům (nepopíral však vznik další řady nových prvků) a b) vůči berlínským závěrům o produkci radia z uranu na základě jeho ozařování pomalými neutrony a při uvolnění dvou α částic.²⁴

Poslední prosincové pokusy

Hahn se Strassmannem se potom snažili vylepšovat stávající experimentální přístupy a separační metody anebo použít například i třicet let starou frakční krystalizaci k tomu, aby si ověřili kupříkladu uvedené nesrovnalosti s radiem. Nalezli nejprve, jak se tenkrát domnívali, ve sraženinách sice další izotop radia vyprodukovaného z uranu, ale jinak nic nového nezjistili. Až ve druhé polovině prosince 1938 se jim podařilo dospět k něčemu, co předčilo jakékoli dosavadní představy. Opětovně ozařovali v jedné řadě experimentů dvanáct hodin pomalými neutrony (procházející skrze parafinový váleček) uranová jádra (jejich vzorek vážil 15 gramů). Poslední výsledky ovšem odhalily, že domnělé izotopy radia se ukázaly být umělými izotopy mnohem lehčího prvku barya. Detailními a přepečlivými rozbory identifikovali lanthan jakožto rozpadový produkt jednoho z „radiových“ izotopů, což znamenalo, že mateřským prvkem nemohlo být radium, nýbrž, k jejich velkému zděšení, baryum. Výsledek byl

23 Viz [5], s. 123.

24 Viz [6], s. 150. Hahn však nepřiznává, že tajnou schůzku zorganizoval Bohr tak, aby se v Kodani mohli sejit Hahn s velmi skeptickými fyziky Bohrem, Meitnerovou a Frischem. Tyto rozhovory ovlivnily strategii dalších berlínských pokusů.

opravdu šokující – jádra uranu po bombardování neutrony z nějakých dosud neznámých příčin asi musela nějak pukat na lehčí jádra. „Krátce a dobře, naše umělé ,radium‘ nemohlo být separováno od barya z prostého důvodu – samo bylo baryem!“²⁵ A ony zmíněné izotopy aktinia, identifikované také již několik let v jiných laboratořích, byly de facto izotopy lanthanu. Kdyby, jak Hahn konstatuje, napadlo vědce zaměřit se už dříve čistě jen na danou „separaci“ radia od nosiče barya, aktinia od nosiče lanthanu atd., „byl by býval fakt nukleárního štěpení odhalen o několik let dříve“.²⁶

Hahn před vánočními svátky 1938 nejprve poslal ve dvou dopisech berlínské výsledky Meitnerové a poté je se Strassmannem publikovali 6. ledna 1939.²⁷ V jejich slavném článku (spíše rutinním reportu k rychlému vydání) se však jednak ještě nevyskytují slova jako štěpení uranu (*Uranspaltung*), rozbití, puknutí, prasknutí a jednak tam jsou některé zavádějící informace (opravené a doplněné o nová zjištění v následujícím článku), které zmatly vědce včetně *Alberta Einsteina* natolik, že se domnívali, že němečtí vědci ne zcela dobře rozumí své práci. Ke správně spočítaným a interpretovaným výsledkům štěpení dospěla až Meitnerová se svým synovcem Frischem. Ten posléze v lednu 1939 Kodani vše experimentálně potvrdil a zavedl termín *jaderné štěpení*.

Vzhledem k tomu, že nacistické Německo zakazovalo svým vědcům přijímat Nobelovy ceny, byla Hahnovi tato cena, o níž se rozhodlo tajně v roce 1944, rezervována až na dobu po ukončení druhé světové války. Hahn však byl (s dalšími německými fyziky) od konce války do začátku ledna 1946 internován Spojenci mimo Německo (od července v anglickém sídle Farm Hall), a proto si mohl Nobelovu cenu převzít až v prosinci téhož roku.²⁸

25 Viz [4], s. 82.

26 Viz [5], s. 126.

27 Viz [11].

28 Více viz [7].

Literatura

- [1] O. Hahn: „Erinnerungen 1901–1945“, v: *Otto Hahn. Erlebnisse und Erkenntnisse*. Ed. Dietrich Hahn. Econ Verlag, München 1975, s. 15–73.
- [2] O. Hahn: „From the natural Transmutations of Uranium to its artificial Fission“, v: *Nobel Lecture – December 13, 1946*, navštíveno 10. 10. 2018, https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1944/hahn-lecture.pdf.
- [3] O. Hahn: „Personal Reminiscences of a Radiochemist“, *J. Chem. Soc.* **0**, 3997 (1956).
- [4] O. Hahn: „The Discovery of Fission“, *Scientific American* **198**, 76 (1958).
- [5] O. Hahn: *Vom Radiothor zur Uranspaltung*. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1962. (O. Hahn: *Otto Hahn: A Scientific Autobiography*. Charles Scribner's sons, New York 1966).
- [6] O. Hahn: *Mein Leben – Die Erinnerungen des Grossen Atomforschers und Humanisten*. R. Piper GmbH & Co. KG, München 1986 (původní nerozšířená verze: *Mein Leben*. F. Bruckmann, München 1968; O. Hahn: *My Life*. MacDonald, London 1970).
- [7] F. Grygar: „Odvračená strana legendy: Otto Hahn v kontextu nacistického Německa“, *Teorie vědy* (1/2019), v tisku.
- [8] F. Grygar: *Komplementární myšlení Nielse Bohra v kontextu fyziky, filosofie a biologie*. Červený Kostelec, Pavel Mertvart 2014.
- [9] L. Badash: „Otto Hahn, Science, and Social Responsibility“, v: *Otto Hahn and the Rise of nuclear Physics*. Ed. William R. Shea., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht – Boston – Lancaster 1983, s. 167–180.
- [10] E. Fermi: „Radioactivity Induced by Neutron Bombardment I“, v: *Collected Papers (Note E Memorie) – Volume 1, Italy 1921–1938*. The University of Chicago Press, Chicago – London – Rome 1962.
- [11] O. Hahn, F. Strassmann: „Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle“, *Die Naturwissenschaften* **27**, 11 (1939).

Poděkování náleží Ing. Patriku Čermákovi za přečtení a kontrolu úseků, jež se týkají chemické či fyzikální terminologie.

