

Zneuznaná role Lise Meitnerové na cestě k objevu jaderného štěpení

Filip Grygar

Fakulta filozofická, Univerzita Pardubice, Studentská 84, 532 10 Pardubice; filip.grygar@upce.cz

Úvod

Po objevu průrazných neutronů v roce 1932 vznikla možnost bombardovat a měnit jádra těžkých prvků. Průkopníkem tohoto nukleárního výzkumu byl od roku 1934 Ital Enrico Fermi (1901–1954) a jeho kolegové v Římě, když kromě objevu různých interakcí mezi neutronem a ozařovaným jádrem dospěli k logickému závěru, že po proniknutí neutronu či neutronů do jádra uranu (s 92 protony) vzniknou z nukleárních reakcí nově vytvořené a těžší prvky s 93 a více protony v jádře, tzv. transurany. Tento výzkum uchvátil řadu světových laboratoří včetně berlínského Ústavu pro chemii. Ten byl vybudován v roce 1911 jako jeden z prvních postupně zřizovaných ústavů *Společnosti císaře Viléma pro rozvoj věd*.



Lise Meitnerová v Berlíně v roce 1910.

V chemickém ústavu pracoval na transuranech brilantní interdisciplinární tým, složený z radiochemika Otto Hahna (1879–1968), analytického chemika Fritze Strassmanna (1902–1980) a fyzičky Lise Meitnerové (1878–1968). Vyvrcholením jejich výzkumů v prosinci 1938 bylo neuvěřitelné zjištění, že v řadě laboratoří docházelo po bombardování jader uranu neutrony nikoli k tvorbě předpokládaných těžších prvků v řadě za uranem, nýbrž naopak ke štěpení uranových jader na mnohem lehčí fragmenty, respektive lehká jádra různých prvků. Nobelovu cenu za chemii za revoluční prosincové pokusy však po druhé světové válce obdržel pouze Hahn. Třebaže Meitnerová musela kvůli židovskému původu v červenci 1938 z nacistického Německa emigrovat do Stockholmu (pracovala v *Nobelově ústavu pro experimentální fyziku v Královské švédské akademii věd*), Strassmann prohlásil, že lídrem jejich skupiny byla právě Meitnerová, bez ohledu na to, zda byla přítomna samotnému objevu. To mimo jiné dokumentuje například čilá korespondence mezi Hahnem a Meitnerovou. Hahn však její roli na samotném objevu popřel, neboť poukazoval na to, že to byla čistě jen záležitost chemie a chemických analýz, nikoli fyziky. Nejnovější literatura historiků vědy kritizuje jak jeho postoj, tak nesprávné rozhodování (politické, dilematantské a uspěchané) tehdejšího *Nobelova výboru pro chemii* a *Nobelova výboru pro fyziku*.

V návaznosti na zde publikované články „*Osmdesát let od objevu a interpretace jaderného štěpení (1938–2018): Otto Hahn a tradovaná verze příběhu*“ a „*Lise Meitnerová v kontextu rozvoje nukleárního výzkumu a vzestupu či pádu nacistického Německa*“¹ se toto pojednání zaměří na všestrannou vůdčí a desítky let přehlíženou roli, kterou v jaderném výzkumu a pro onen revoluční objev Meitnerová sehrála. Zejména v Německu byla představována jako pouhá spolupracovnice legendárního Hahna. Ke komplexnějšímu posouzení stěžejních příspěvků k jadernému výzkumu Meitnerové či objevu jaderného štěpení je nutné nejprve se zastavit u samotné spolupráce sice přátelské, nicméně nesoudě dvojice Otty Hahna a Lise Meitnerové, jejichž interdisciplinarita vedla k přelomovým výsledkům v nuk-

1 Viz [1] a [2]. Dále viz [3].



Společné foto fyziků a chemiků v Berlíně roku 1920. Otto Stern, Wilhelm Lenz, James Franck, Rudolf Walter Ladenburg, Paul Knipping, N. Bohr, E. Wagner, Otto von Baeyer, Otto Hahn, Lise Meitner, George de Hevesy, Wilhelm Westphal, Hans Wilhelm Geiger, Gustav Ludwig Hertz, Peter Pringsheim.

leární oblasti – podobně jako spolupráce nesourodé dvojice Tycha Braheho (1546–1601) a Johana Keplera (1571–1630) vedla k přelomovým výsledkům v astronomii. Dále je nutné poukázat na vůdčí roli, již Meitnerová zastávala v Ústavu pro chemii.

Interdisciplinární spolupráce Meitnerové a Hahna v letech 1907 až 1920

Meitnerová s Hahnem pracovali společně v Berlíně od roku 1907 do 1920 na radioaktivním výzkumu – kromě různých radioaktivních substancí objevili i nový prvek protaktinium (91), o němž už řadu let předpokládali, že musí existovat, poněvadž byl mateřskou substancí pro známý prvek aktinium (89). Zásadní pro tento objev byly Meitnerové nové interpretace a pečlivě připravené indikační experimenty, chemické separace, přesná měření atd., jež prováděla po návratu z vojenské služby (sloužila jako rentgenoložka a ošetřovatelka) od září 1917 do začátku roku 1918. V té době trávil Hahn ještě většinu času na frontě jako specialista na vývoj a aplikaci smrtelných chemických plynů. Za objev protaktinia – a později za další vědeckou práci – byli několikrát navrhováni na Nobelovu cenu. Hahn však ve svých biografiích nepíše nebo nepřiznává, že stěžejní experimenty udělala právě ona, navíc „to byla Meitnerová, nikoli Hahn, kdo uměl proniknout do podstaty věci; její interpretace rozpadových křivek „aktivnějšího α záření“ [proud jader hélia – pozn. autora] prokázala přítomnost a radioaktivitu excitující, nové substance“.²

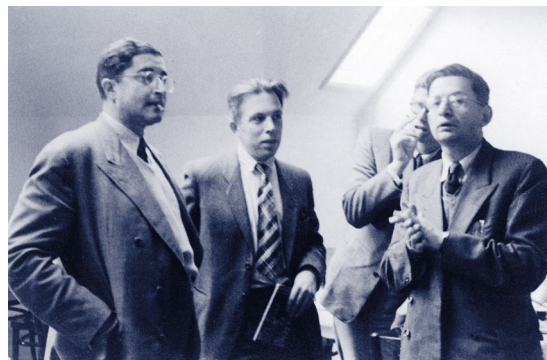
Meitnerová byla k Hahnovi loajální a k jejich spolupráci v zásadě citlivá. Uvědomovala si například, že její závěrečná měření a interpretace byly založeny na dlouholetých interdisciplinárních průnicích, proto nezdůrazňovala své zásluhy. Ačkoliv tedy „udělala téměř veškerou práci, hlavním autorem článku o protaktiniu byl Hahn“³, neboť byl mimo jiné již od roku 1910 profeso-

rem, zatímco Meitnerová zůstávala v té době pouhou asistentkou Maxe Plancka (jako žena se mohla stát řádnou profesorkou až v roce 1926, jako první v Německu). Uvedený publikační muštr platil i u dalších článků, kde udělala nejvíce práce sama Meitnerová. Hahn si byl některých nespravedlností vědom, takže když za své (jejich) vědecké výsledky obdržel od *Asociace německých chemiků* prestižní ocenění, byl na rozpacích, naopak Meitnerovou toto ocenění pro kolegu potěšilo.

Jejich interdisciplinární práce měla pochopitelně zásadní vliv na návrhy či uspořádávání experimentů, vytváření nových metod, rozborů a interpretací výsledků. Když se například Hahnovi podařilo porozumět jevu, při němž docházelo k vypuzení alfa částic z prvku aktinia při současném odrazení aktivního jádra (na základě zákona akce a reakce), Meitnerová byla, jak sám Hahn vzpomíná, okamžitě schopna tento proces teoreticky zevšeobecnit a potom jej aplikovat na odrazy u všech aktivních prvků s tím, že k tomu spolu rozvinuli metodu tzv. radioaktivních reakcí (rozpadů) na identifikování jakýchkoli radioaktivních izotopů.⁴

Podobně jako byl astronom Brahe výjimečně přesným pozorovatelem, byl radiochemik Otto Hahn výji-

4 K tomu viz například [6], kap. 4.4.



Georg P. Placzek, J. Blaton, Rudolf Ernst Peierls, Kodaň 1947.

2 Viz [4], s. 69.

3 Viz [5], s. 70.

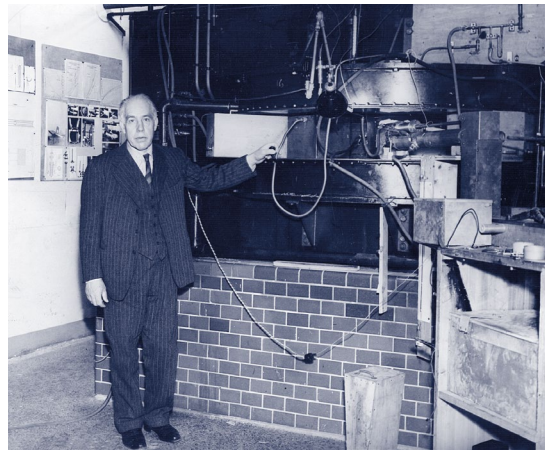
mečně přesným experimentátorem. Stejně tak měli oba celoživotní averzi ke smělým teoretickým nebo matematickým konstrukcím. Lawrence Badash poukazuje na to, že Hahn měl antipatie „k přípravování schémat, hledání hlubších významů nebo udělat krok za danou evidenci“.⁵ Na strategické uvažování, teoretické zevšeobecňování a navrhování dalších kroků byla z legendární dvojice Hahn a Meitnerová odbornice ona, podobně jako jím byl z legendární dvojice Brahe a Kepler posledně jmenovaný. Heisenberg jednou uvedl, že „ona se netázala pouze, jak“ [jak se něco děje nebo funguje – pozn. autora], nýbrž také, proč. Chtěla porozumět [...], chtěla sledovat zákony přírody, které se v této nové oblasti odehrávaly. Proto její síla tkvěla v pokládání otázek a interpretaci experimentů“.⁶ Ovšem oproti Keplerovi byla Meitnerová i zručná experimentátorka, která stejně jako Brahe uměla sestavovat různé přístroje, třebaže nebyla v této oblasti inovátorkou jako on.⁷

Jestliže například Wilsonovu mlžnou komoru téměř nikdo od roku 1911 nepoužíval ke strategickým radioaktivním experimentům, byla to Meitnerová se svými studenty a asistenty, kdo vlastnoručně vyrobenou mlžnou komoru začal hojně používat v radioaktivních výzkumech, k čemuž navrhla novou metodu, jak pozorovat a fotografovat neviditelné radioaktivní paprsky na základě stop či drobných kapiček vody vysrážených po průchodu vysoce zpomalených částic měřeného elektromagnetického záření, metodu, již neustále vylepšovala. Jakmile byl dále v roce 1926 sestrojen tzv. Geigerův–Müllerův detektor či počítač, byla to opět ona se svými pracovníky, kdo začal využívat obrovskou citlivost přístroje pro měření zeslabování vysoce energetického záření γ (proud kvant neboli fotonů) při průchodu hmotou (počítač totiž registroval zdroj paprsků z j jiné místnosti). Tato aparatura pak byla jedním ze základních přístrojů používaných v nukleární fyzice, k jejímuž průdkému rozvoji došlo ve třicátých letech.

Vědecké aktivity Meitnerové v Ústavu pro chemii v letech 1920 až 1934

V letech 1920 až 1934 oba berlínští vědci pracovali na vlastních výzkumech ve svých odděleních, jež byla součástí Ústavu pro chemii; Meitnerová v přízémí jako vedoucí fyzikálního oddělení (radiofyziky) a Hahn jako vedoucí oddělení radiochemie v prvním patře (spolu ještě měli privátní pracovnu). Od roku 1926 až do konce druhé světové války byl Hahn navíc ředitelem celého ústavu. Chemici a fyzici společně chodili na obědy, na kávu nebo čaj, probíhala mezi nimi neustálá výměna názorů, chemici fyzikům radili s chemickými rozbory, přípravou vzorků apod., fyzici zase sestavovali vhodné pomocné přístroje či aparatury a radili chemikům s vhodným teoretickým rámcem, interpretačními možnostmi atd. Ačkoliv oba naši vědci „byli známí jako matka a otec Ústavu pro chemii“⁸, vědělo se, že Meitnerová, kterou Albert Einstein (1879–1955) nazýval „naše Marie Curie“⁹, je hlavní vědeckou autoritou zejména v době, kdy kulminovalo dění kolem kvantové teorie, bez níž se nadále neobešly žádné radioaktivní výzkumy.

Jako šéfová vládla na svém pracovišti od časného rána do pozdních večerních hodin pevnou, nicméně nápo-



N. Bohr u cyklotronu, Kodaň 1938.

mocnou a poradní rukou. Hahn tehdejší revoluční fyzice, tj. kvantové teorii, nerozuměl a k tomu byl postupně ještě zatěžován narůstající institucionální administrativou a politikou, neboť *Společnost císaře Viléma* byla financována z velké části průmyslem a po nástupu Hitlera také říšskou vládou, s níž společnost intenzivně spolupracovala. Vynecháme-li napjatou politickou situaci po první světové válce v Německu, obří inflaci (kvůli níž měla hlad a doma – ve studentském pokoji – zimu i Meitnerová) nebo později velkou hospodářskou krizí a vznik nacistického Německa, v ústavu velmi dlouho panovala jak vzájemná solidarita mezi kolegy a jejich žáky, tak velmi dobrá nálada, což umožňovalo pokračovat v práci „celkem nerušeně dokonce i po roce 1933“.¹⁰

O tuto atmosféru se zasloužil i sám přátelský a demokraticky vystupující šéf nebo později ředitel v jedné osobě Hahn, který nikdy nezkažil žádnou legraci a v dobách nejtěžších se snažil hájit proti nacistické ideologii a zlu mimo jiné židovské kolegy i Meitnerovou. Mnohokrát bylo například na chodbách ústavu slyšet, jak si šéfová druhého oddělení – *Meitnerka* – svého přítele dobírá, když jej odháněla se slovy „Háníčku, běž nahoru – víš, že z fyziky ničemu nerozumíš!“¹¹ Nadto to byla ona, nikoli Hahn, komu se vědci nebo studenti svěřovali se svými problémy nebo potřebami, „ona byla skutečným životem a duší ústavu“.¹²

Jako žena se mohla Meitnerová konečně v roce 1922 stát docentkou, což jí, kromě zaslouženého vyššího platu, umožňovalo přednášet na Univerzitě Fridricha Viléma v Berlíně (dnes Humboldtova univerzita), mít své asistenty, studenty či doktorandy apod. (po nástupu nacistické ideologie však musela z univerzity odejít). Účastnila se týdenních univerzitních kolokvií, četných mezioborových konferencí a často také cestovala mezi Berlínem a Mekkou kvantové teorie – tou byl *Fyzikální ústav* v Kodani, kde žáci nebo renomovaní vědci (Meitnerovou nevyjímaje) konzultovali a promýšleli své fyzikální teorie nebo návrhy experimentů s ředitelem ústavu a filozofujícím fyzikem Nielsem Bohrem (1885–1962), s jehož rodinou se Meitnerová spřátelila.

Zatímco se Hahn do nástupu Hitlera soustředil na aplikovanou radiochemii (mimo jiné objevil první výskyty procesu tzv. nukleárního izomerismu, za což byl později navrhován na Nobelovu cenu), Meitnerová se v radioaktivním bádání zaměřila na dosud podrobně neprobádané paprsky γ a β (záření fotonů, resp. elektronů)

5 Viz [7], s. 167.

6 Viz [8], s. 834.

7 Více viz [9].

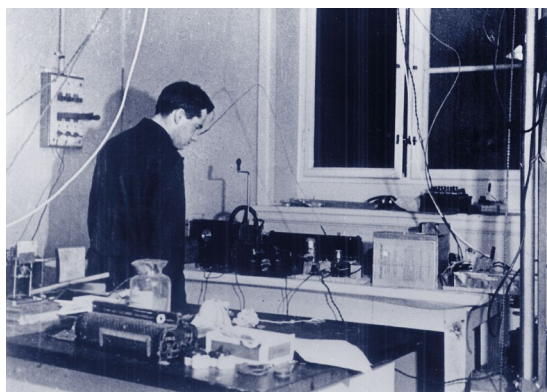
8 Viz [4], s. 88.

9 Viz [10], s. 111.

10 Viz [11], s. 7.

11 Viz [5], s. 178 nebo viz [4], s. 98.

12 Viz [8], s. 833.



O. R. Frisch v laboratoři, Kodaň 1938.

a s tím souvisejícími nukleárními nebo kosmologickými jevy. Vzpomíná, že v jejím oddělení „zkoumali čárové spektrum beta záření a byli schopni potvrdit jeho vztah ke gama záření.“¹³ Na základě měření elektronových stop či čar, například u prvku aktinia, dospěla Meitnerová se svojí skupinou – někdy jí asistoval i Hahn – k několika stěžejním výsledkům. Nicméně k jejich komplexnímu porozumění a k vysvětlení dalších s tím spojených pozorovaných jevů docházelo později, když byla například vyvrácena představa atomového jádra složeného z protonů a elektronů díky objevu neutronů v roce 1932.

Meitnerová kromě jiného zjistila, že emitované elektrony z aktinia jsou vyraženy nikoli z rozpadajících se jader, nýbrž z elektronových obalů (tzv. sekundární β záření). Ukázala rovněž, že záření β se vyskytuje společně se zářením γ a první potvrdila jeho podobnost s rentgenovými paprsky. Kromě toho vysvětlila, že γ záření není spouštěčem radioaktivních přeměn, jak se někteří vědci (například v Cambridgi) domnívali, ale děje se právě během nich, respektive doprovází β rozpad. Dále definovala jev, při němž u přeskoku elektronu z vyšší energetické hladiny atomu na uvolněnou nižší energetickou vrstvu nedochází k vyzáření jeho energie z atomu (v podobě fotonu – kvanta energie – jako u rentgenového záření), nýbrž je tato energie (kinetická) použita k vyrazení jiného elektronu z atomu (později nazváno jako Augerův jev). Nejen za tyto výsledky, jež se později staly podstatnými pro výzkum berlínského týmu na transuranech, byla Meitnerová oceněna v roce 1924 a 1925 medailemi *Berlínské a Vídeňské akademie věd* nebo *Americkou asociací na podporu žen ve vědě*. Jako první se také Meitnerové podařilo v roce 1933 identifikovat pozitrony a pár elektron–pozitron jakožto produkty γ paprsků (pozitron byl potvrzen v mlžné komoře pomocí kosmických paprsků v roce 1932).¹⁴ Jak Hahn, tak Meitnerová byli samostatně nebo společně opětovně navrhováni na Nobelovu cenu.

Vůdčí role Meitnerové při objevu jaderného štěpení (1934–1938)

O transuranových experimentech v letech 1934 až 1938 jsem psal podrobněji z hlediska Hahnových reflexí v článku „*Osmdesát let od objevu* [...]“. V této podkapitole kromě stručného shrnutí přidáme ještě několik poznámek, jež Hahn ve svých zveřejněných textech nezmiňuje. Sama Meitnerová se ke svému vědeckému životu a transuranovému výzkumu vyslovuje, jak bylo uvedeno v textu „*Lise Meitnerová v kontextu* [...]“, velmi

poskrovnu, nicméně je zachována rozsáhlá korespondence a další dokumenty, které její práci velmi dobře mapují. Hahn například nikde nepřiznává, že to byla ona, která jej dlouho přemlouvala, aby začali opětovně spolupracovat a zaměřili se na novátorské výzkumy Fermiho skupiny v Římě, kde pomocí neutronů vědci systematicky ozařovali jádra nejlehčích prvků až po nejtěžší.

Meitnerovou tyto pokusy fascinovaly natolik, že je chtěla překontrolovat a posléze na ně navázat vlastním výzkumem. K tomu uvádí toto: „*Přesvědčila jsem Hahna k obnovení naší přímé spolupráce, jež byla na několik let přerušena*,“ k čemuž „*jsem potřebovala mnoho týdnů, než se o problematiku začal Otto zajímat*.“¹⁵ Počátkem roku 1935 se k nim ještě připojil analytický chemik a Hahnův výtečný asistent Strassmann. Nejprovokativnější se Meitnerové jevila Fermiho představa o tom, že při tzv. rozpadu β^- se zachycený neutron v jádru uranu rozpadne (přeskupí se v něm kvarky – zavedené v roce 1964) na proton při vyzáření elektronu (a elektronového antineutrina – objevené v roce 1956). Jaderný náboj se zvýší o jednu jednotku, a tak vznikne prvek 93. Proces pronikání neutronu do uranového jádra je doprovázen značným rezonančním vrcholem u neutronových energií kolem 25 eV. Uměle vytvořené prvky za uranem mělo být možné po proběhlých jaderných reakcích identifikovat ve vzniklých sraženinách či produktech.

15 Viz [13], s. 6, a dále viz např. [14], s. 67.



Manželky fyziků, zprava Sofie Hellmann, Mrs Kramers, Margrethe Bohr a vpravo Lise Meitner, 1936. V pozadí Victor Frederick Weisskopf.

Ve třicátých letech však bylo ještě nemyslitelné, že když například k takovéto neutronové rezonanci nedochází, že by se dělo něco, co by odporovalo: 1) dosavadním fyzikálním předpokladům – u nukleárních transmutací se nemohou vyskytovat radikální změny (například k rozpadu jádra na mnohem lehčí produkty, respektive jádra lehkých prvků) – a 2) dosavadním chemickým předpokladům – u postupných rozpadových řad ozařovaných těžkých prvků na četné produkty dochází ke změnám, na jejichž počátku stojí nejprve uměle vytvořené aktivní izotopy bombardovaných prvků. Následné proměny postupně se rozpadajících prvků pak probíhají v rámci plus minus jednoho (výjimečně dvou) pořadových míst v periodické tabulce prvků. Jinak řečeno o možných transuranech se předpokládalo, že musejí nabývat podobných chemických vlastností jako tzv. přechodné prvky, jež v Mendělejevově tabulce reprezentují stejné vlastnosti jak v periodách, tak ve skupinách. Tyto předpoklady nebo jejich kombinace se postupně ukázaly být od přelomu roku 1938 a 1939 mylné.

Meitnerová byla na základě svého nukleárního výzkumu k produkci transuranů skeptická. Berlínský

13 Viz [11], s. 6.

14 Viz [12], s. 409; dále viz [4], s. 98, a detailně viz [5], kap. 4 a 5.

tým proto nejprve zopakoval některé pokusy z Říma či Paříže, při nichž bombardovali pomalými i rychlými neutrony thorium nebo uran. Nalezli další rozpadové substance s různými poločasy rozpadu od několika sekund po řadu hodin a dní, avšak produkty s velmi krátkým poločasem rozpadu bylo tehdy nemožné identifikovat. Oproti Meitnerové, kterou silně znepokojoval u bombardovaného uranu „*dlouhý řetězec postupných β rozpadů, tj. kontinuálně se zvyšující nukleární náboje* [protonové číslo – pozn. autora] *s nezměněnými hmotnostmi* [nukleové číslo, tj. součet neutronů a protonů – pozn. autora]¹⁶, byl Hahn, jako mnoho dalších vědců, přesvědčen, že mezi takovými četnými produkty existují transurany, jež bylo možné chemicky izolovat. K lepší orientaci a identifikaci rozmanitých substancí posléze berlínský tým vytvořil, z hlediska chemických vlastností, tři schematické skupiny rozpadových řad až k domnělému transuranu s 96 protony v jádře.

U jednoho experimentu, který Meitnerovou zvláště zajímal, ozařovali vzorek uranu-238 (238 nukleonů) pomalými neutrony. Při zachycení neutronu vzniklo při emisi β záření (rezonanční proces kolem 25 eV) aktivní složené jádro izotopu uranu-239 s poločasem rozpadu 23 minut. V této situaci byli všichni tři oprávněně přesvědčeni, že následným rozpadem vznikne transuran 93, ale jejich možnosti a prostředky tenkrát ještě takový detailní výzkum neumožňovaly.¹⁷ Meitnerová dále vzpomíná na zásadní chybu, které se nejen oni dopouštěli ve svých laboratořích. Když ozařovali své vzorky rychlými neutrony, snažili se vždy zajistit, aby po jaderných reakcích uran nebo thorium zůstávaly ve filtrátech (v roztocích) a oni se mohli soustředit již jen na rozbor ostatních vzniklých usazenin či produktů, v nichž hledali transurany. „*Z tohoto důvodu – a zde byla naše chyba – jsme zpočátku nikdy nezkoumali filtráty* [kam se dostávaly štěpné produkty – pozn. autora] *našich sraženin, a to ani v experimentech s pomalými neutrony.*“ Teprve až v roce 1938, když opakovali pokusy pařížských vědců Irène Joliot-Curieové (1897–1956)

16 Viz [13], s. 6.

17 Prvek 93 – neptunium – bylo možné syntetizovat až v roce 1940 pomocí novějších metod a silných zdrojů neutronového záření z cyklického urychlovače částic. Vědci v Berkeley zjistili, že po ostřelování uranového vzorku neutrony docházelo: a) ke štěpení jader (většina různých odštěpků odletěla pryč) a b) k produkci dvou radioaktivních substancí, které zůstaly na štítku či tenké fólii: uvedený izotop uranu-239 a nová substance s poločasem rozpadu 2,3 dne, tj. prvek, jenž byl po komplikovaných chemických rozbořech separován a definován jako prvek 93.



Slavná posluchárna v Kodani v roce 1947. V první řadě: N. Bohr, Leon Rosenfeld, Wolfgang Pauli, Ralph de Laer Kronig, Georg P. Placzek, B. Ferretti, John Archibald Wheeler, Lise Meitner, Otto Robert Frisch.



Slavná posluchárna v Kodani, uprostřed Meitnerová, 1936.

a Paula Savitche (Pavle Savić 1909–1994), kteří došli k závěru, že našli nový izotop thoria, berlínská skupina nakonec prozkoumala i vzniklý filtrát, naneštěstí však výhradně „*do té míry, že jsme hledali jen izotop thoria* [a nic jiného – pozn. autora]¹⁸, který tam nebyl. Meitnerová nadále přesvědčovala své kolegy, ať kontrolují i filtráty, bohužel na ni nedali a ona jejich radiochemické práci naprosto důvěřovala.¹⁹

Pařížští vědci však přišli s dalším zajímavým výsledkem – se substancí s 3,5hodinovým poločasem rozpadu, která se chovala jako prvek lanthan (57 protonů v jádře), přesto výsledný produkt opětovně považovali za jeden z transuranů. Dnes již víme, že jejich substance byla opravdu lanthan, respektive mix lanthanu a barya (56), nikoli transuran. Meitnerová rovněž vzpomíná, že se Joliot-Curieová v roce 1938 občas začala domnívat, že se „*v jejich bombardovaných uranech nacházely všechny chemické prvky,*“²⁰ ale naučené předpoklady byly silnější než odvaha učinit krok neznámým, leč správným směrem.

Výzkumná práce berlínského týmu po emigraci Meitnerové

Z 12. na 13. července 1938 přespala Meitnerová u Hahnů a ráno odcestovala vlakem do Holandska s nadějí, že její naplánovanou emigraci, do níž byli zapojeni Hahn, Bohr a další vědci, neodhalí pohraniční pasová kontrola. Poté, co se Meitnerová dostala do Švédska, diskuze o návrzích, rozbořech a interpretacích experimentů probíhaly alespoň jedenkrát týdně prostřednictvím dopisů, jež neustále kolovaly mezi Stockholmem a Berlínem (pošta tehdy byla velmi rychlá).

V Hahnových biografiích a veřejných přednáškách se o neúnavné korespondenci mezi ním a Meitnerovou nic nedozvíme (výjimku tvoří v jedné autobiografii tři zčásti citované dopisy z prosince 1938). Jejich pokračující spolupráci hodnotil Hahn po válce i v přednáškách tak, že Meitnerová byla nucena emigrovat kvůli rasovým zákonům, a tím byla podle něj jejich mnohaletá součinnost ukončena. Takovýmito prohlášeními své přítelkyni a kolegyni odňal před čtenáři nebo posluchači podíl na objevu jaderného štěpení. Je velká škoda, že se Hahn nezachoval stejně jako Meitnerová u objevu protaktinia. Ačkoliv byl Hahn během závěrečných pokusů na frontě, Meitnerová si jejich letitou práci nepřivlastnila.²¹

18 Viz [13], s. 7.

19 Viz [15], s. 19 a 20.

20 Viz [13], s. 7.

21 Dále viz [1, 2, 3]. Meitnerová byla po celý život natolik velkorysá, že Hahnův příběh (nejen) o objevu jaderného štěpení veřejně nekritizovala.



O. R. Frisch, Kodaň 1936.

Hahn se Strassmannem následně opakovali pařížské pokusy s pomalými neutrony a kromě odmítnutí pařížských závěrů konstatovali, že 3,5hodinový produkt není v žádném případě stejnorodý, nýbrž jde o směsici v roztoku vysrážených transuranů a dalších substancí, jež měly různé poločasy rozpadu. Byl to Strassmann, který vymyslel, že nevhodnější pro jejich identifikaci bude použit jako nosič či separátor dobře krystalizující baryum (56, respektive chlorid barnatý), u něhož navíc v získaných výsledcích nehrozila jakákoliv kontaminace jinými produkty nebo nečistotami. Strassmann jednou upozornil na to, že „Hahn měl odborné vzdělání radiochemické, analytické ovšem pouze obvyklé – u mne to bylo naopak, a právě analytické znalosti byly v tomto ohledu směrodatné!“²². To, co se oběma vědcům následně podařilo zjistit, bylo pozoruhodné. Nalezli (β) radioaktivní izotopy radia (88) s následně vytvořenými (β) aktivními izotopy prvku aktinia (89). Avšak v tomto případě rozpadový proces u izotopů radia probíhal s využitím pomalých neutronů a zároveň při vyzáření dvou částic α , což bylo něco dosud zcela mimořádného. Zdálo se jim, že existují pouze dvě možnosti vysvětlení – buď šlo skutečně o radium, anebo o chemicky podobné a výrazně lehčí baryum. Avšak takovýto lehký produkt zase „vylučovaly“ dosavadní předpoklady neumožňující velké transmutační změny.

Hahn dále nikde nepíše, že měl možnost dlouze diskutovat o výsledcích těchto experimentů s Meitnerovou na utajované schůzce v Kodani (o jeho cestě nevěděl ani Strassmann), která se konala tři dny po hrůzné Křišťálové noci ve dnech 13. a 14. listopadu – nejdříve spolu hovořili dopoledne v hotelu po Hahnově příjezdu. Návštěvu zprostředkoval Bohr. Ten byl se svými kolegy včetně Otto R. Frische (1904–1979; synovec Meitnerové) na základě kodaňských teoretických hledisek k produkci transuranových prvků a k poslednímu pokusu s radiem po emisi dvou α částic snad nejskeptičtější ze všech. Nejinak tomu bylo u Meitnerové, která na tajnou schůzku přijela vlakem už 10. listopadu

ze Stockholmu. Hahnovy diskuze s Bohrem, Meitnerovou a Frischem potom ovlivnily strategii dalších a ještě detailnějších berlínských experimentů (Strassmann se domníval, že kritiku a návrhy jejich pokusů obdržel Hahn jako obvykle v jednom z dopisů). Na jistém místě Hahn přeci jen o této zásadní návštěvě píše, avšak zmíní pouze to, že přijel do Kodaně přednést svůj příspěvek a že si vyslechl Bohrovy skeptické poznámky ke dvěma emisím α částic.²³

I kdyby Hahn nebyl v Kodani, Meitnerová jej opakovaně v dopisech přesvědčovala, že radiový výsledek s pomalými neutrony a emisí α částice (natož dvou) nedává podle jejích propočtů smysl, a proto bylo nutné najít jinou analyzační strategii. Berlínští vědci se posléze snažili své experimenty, metody a rozborů ještě detailněji připravit, vylepšit a zjemnit natolik, aby se jim například i pomocí třicet let staré frakční metody podařilo dešifrovat záhadu například s vytvořenými izotopy radia. K jejich úžasu našli ve druhé polovině prosince v rozpadové řadě mnohem lehčí lanthan (57) jako jeden z produktů izotopu radia, ale tak tomu z chemického hlediska nemohlo být, protože mateřským prvkem lanthanu musel být nutně prvek barya (56), nikoli radium (88). Zde byl důvod, proč se berlínským vědcům dlouho nedařilo separovat radium od nosiče barya, poněvadž domnělé izotopy radia se nakonec ukázaly být samotným baryem a domnělé izotopy aktinia byly zase izotopy nosiče lanthanu.

Pokud by se, jak zase vzpomíná Hahn, vědci v různých laboratořích zaměřili právě na separace prvků od svých separátorů, došli by mnohem dříve k tehdy šokujícímu závěru, že po bombardování jader uranu dochází k jejich rozpadání na lehčí produkty.²⁴ Meitnerová později zdůraznila, že „z hlediska extrémně nízké hmotnosti (intensity; intensität) identifikovaného preparátu uskutečnění takovéhoto důkazu bylo opravdu mistrovským kouskem radiochemie, jehož mohlo být v té době těžko dosaženo někým jiným než Hahnem a Strassmannem.“²⁵

Hahn o posledních berlínských pokusech neinformoval vědce či fyziky ve svém ústavu, což mu bylo dlouho vyčítáno, ale pouze svoji kolegyni prostřednictvím dopisů z 19. 12. a 21. 12. 1938. Mimo jiné ji v prvním dopise požádal o nějaké fantastické vysvětlení toho, jak by se mohlo vůbec dospět k tak děsivému (schrecklich) výsledku, jakým by bylo rozpuštění (zerplatzen) jádra uranu na baryum, když se jeví, že nalezené izotopy radia se nechovají jako radium, nýbrž jako baryum. Ve své autobiografii však už necituje další část, v níž zdůrazňuje, že by to byla společná práce všech tří. Meitnerová Hahna v dopise z 21. 12. upozornila, že „jsme zažili v nukleární fyzice už tak hodně překvapení, že člověk dnes již nemůže tvrdit, že je to nemožné.“²⁶ Ve druhém dopise uvedl, že z chemického hlediska jsou výsledky opravdu nepochybné, a proto je nutné jejich závěry zveřejnit, ačkoliv jsou z fyzikálního hlediska absurdní.

Hahn již nečekal na odpověď na svůj druhý dopis, stačilo mu zřejmě Meitnerové ujištění, že ono prasknutí nakonec možné je, a sepsal (bez Strassmanna) o posledních pokusech krátký článek – spíše laboratorní report – do časopisu *Naturwissenschaften*. Ten zaslal v rukopise 22. 12. do redakce a zároveň také své kole-

22 Viz [16], s. 35.

23 Více viz [1, 2, 3].

24 Viz [6, 17].

25 Viz [13], s. 7.

26 Viz [19], s. 151; plně citováno viz [5], s. 233 a 234.



W. Heisenberg a L. Meitnerová v Kodaňi při vzpomínkovém setkání v roce 1963.

gyni. Posléze ještě 27. 12. telefonoval do redakce časopisu, aby do textu doplnil další odstavec. Ačkoliv nevysvětlený, včetně dalších interpretačních nedostatků, vyšel Hahnův a Strassmannův slavný článek 6. 1. 1939. O proslulé teoretické vysvětlení rozpadu uranových jader, experimentální potvrzení a pojmenování tohoto procesu jako jaderné štěpení, se zasloužila na přelomu roku 1938 a 1939 Meitnerová s Frischem. (Pozn. Bohr, vedle jiných, navrhol v letech 1946–1948 Meitnerovou a Frische neúspěšně na Nobelovu cenu. Hahn jednou a to až v roce 1948.)²⁷

Závěr

Je zbytečné připomínat, že kdyby Meitnerová emigrovala bezprostředně po nástupu Hitlera k moci, k objevu jaderného štěpení by se Hahn zřejmě nikdy nepropracoval – pokud by vůbec začal v této oblasti bádát. Totiž velká výhoda berlínského týmu (oproti laboratořím v Římě, Paříži nebo Berkeley) spočívala v tom, že byl interdisciplinární, což si Hahn zřejmě málo uvědomoval, když od roku 1939 nepřiznával Meitnerové zásluhu na objevu jaderného štěpení. Navíc Strassmann, který byl rovněž desítky let (i v Německu) neoprávněně ve stínu svého staršího a ikonického kolegy,²⁸ poukázal v roce 1974 na to, že duchovním a kritickým vůdcem celého týmu byla od počátku do konce, třebaže několik měsíců jen prostřednictvím korespondence, Meitnerová.²⁹ Její autorita byla dokonce tak velká, že když se někdy v roce 1936 Strassmann začal domnívat, že ve svých produktech našel místo radia baryum, své výsledky vyhodil do koše, jakmile mu skepticky šéfová naznačila, že to je nesmysl. I pro ni byly výchozí předpoklady chemie a fyziky dlouhou dobu „svaté“.³⁰

Je evidentní, že Meitnerová nebyla v žádném případě pouhou spolupracovnicí Hahna, jak se po desítky let zejména v Německu tradovalo, nýbrž naopak: byla stále více vůdčí osobností v nukleárním výzkumu. Naproti tomu Hahn byl zatěžován administrativou a vtažen do soukolí s průmyslovou či nacistickou politikou a nakonec do válečné mašinerie Německa.³¹

Poděkování náleží Ing. Patriku Čermákovi za přečtení a kontrolu úseků, jež se týkají chemické či fyzikální terminologie. Zvláštní poděkování pak náleží Archivu Nielse Bohra v Kodani za souhlas se zveřejněním fotografií.

Literatura

- [1] F. Grygar: „Osmdesát let od objevu a interpretace jaderného štěpení (1938–2018): Otto Hahn a tradovaná verze příběhu“, Čs. čas. fyz. **69**, 49 (2019).
- [2] F. Grygar: „Lise Meitnerová v kontextu rozvoje nukleárního výzkumu a vzestupu i pádu nacistického Německa“, Čs. čas. fyz. **69**, 203 (2019).
- [3] F. Grygar: „Odvračená strana legendy: Otto Hahn v kontextu nacistického Německa“, Teorie vědy **41**, 59 (2019).
- [4] P. Rife: *Lise Meitner and the Dawn of the Nuclear Age*. Birkhäuser, Boston – Berlín 2007.
- [5] R. L. Sime: *Lise Meitner. A Life in Physics*. University of California Press, Berkeley – London 1996.
- [6] O. Hahn: *Vom Radiothor zur Uranspaltung*. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1962.
- [7] L. Badash: „Otto Hahn, Science, and Social Responsibility“, in: *Otto Hahn and the Rise of nuclear Physics*. Ed. William R. Shea. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht – Boston – Lancaster 1983, s. 167–180.
- [8] F. Krafft: „Lise Meitner: Her Life and Times – On the Centenary of the Great Scientist's Birth“, *Angewandte Chemie (International Edition)* **17**, 826 (1978).
- [9] K. Fergusonová: *Tycho a Kepler: Nesourodá dvojice, jež jednou provždy změnila náš pohled na vesmír*. Academia, Praha 2009.
- [10] P. Frank: *Einstein, His Life and Time*. Alfred A. Knopf, New York 1947.
- [11] L. Meitner: „Looking Back“, *Bulletin of the Atomic Scientists* **20**, 2 (1964).
- [12] O. R. Frisch: „Lise Meitner, 1878–1968“, *Biogr. Mem. Fell. R. Soc.* **16**, 405 (1970).
- [13] L. Meitner: „Right and Wrong Roads to the Discovery of nuclear Energy“, *Advancement of Science* **364**, 6 (1963).
- [14] Ch. Kernerová: *Lise Meitnerová. Životní příběh atomové fyziky*. Academia, Praha 2009.
- [15] L. Meitner: „Interview with Lise Meitner by Thomas Kuhn and O. R. Frisch in Cambridge, England, 12 May 1963“, in: *American Institute of Physics (AIP), New York, Oral History Project*. Tape 65a, transcript s. 1–21. On-line navštíveno 20. 12. 2018, <https://repository.aip.org/islandora/object/nbla:270959#page/1/mode/2up>.
- [16] F. Krafft: „Lise Meitner – eine Physikerin des 20. Jahrhunderts (7. XI. 1878 – 27. X. 1968)“, in: W. Schmidt, Ch. J. Scriba (Hg.): *Frauen in den exakten Naturwissenschaften. Festkolloquium zum 100. Geburtstag von Frau Dr. Margarethe Schimank (1890–1983)*. Franz Steiner, Stuttgart 1990, s. 33–70.
- [17] O. Hahn: „The Discovery of Fission“, *Scientific American* **198**, 76 (1958).
- [18] F. Krafft: *Im Schatten der Sensation. Leben und Wirken von Fritz Strassmann*. Verlag Chemie, Weinheim 1981.
- [19] O. Hahn: *Mein Leben – Die Erinnerungen des Grossen Atomforschers und Humanisten*. R. Piper GmbH & Co. KG, München 1986.
- [20] F. Grygar: *Komplementární myšlení Nielse Bohra v kontextu fyziky, filosofie a biologie*. Pavel Mervart, Červený Kostelec 2014.



Wolfgang Pauli, N. Bohr, Erwin Schrödinger, Lise Meitner, Brusel 1933.

27 Viz <https://www.nobelprize.org/nomination/>.

28 Viz [18].

29 Viz [16], s. 35.

30 Viz [8], s. 834.

31 Více viz [2, 3].