

75 ani de fisiune nucleară (75 years of Nuclear Fission)

DORIN N. POENARU

Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei”, Măgurele-București

The induced Nuclear Fission was discovered by Otto Hahn and Fritz Strassmann in December 1938. It was explained by Lise Meitner and Otto Frisch on the basis of Liquid Drop Model. Since their papers were published in 1939 we may say that officially in 2014 we celebrate the 75th anniversary. After a brief historical account we remind about the 50th anniversary. The International Conference in Mumbai on *75-years of Nuclear Fission* is also presented.

Keywords: Induced fission, Spontaneous fission, Cluster radioactivity, Alpha decay, Fission anniversary in 1989 and 2014

1. Introducere

Fisiunea este procesul nuclear cu cele mai spectaculoase aplicații, începând cu cele militare (Hiroshima și Nagasaki) și continuând, după anul 1953, cu aplicațiile pașnice (mai ales în energie, dar și în medicină, cercetare, industrie și agricultură) promovate de Agenția Internațională de Energie Atomică de la Viena. Aproximativ 11% din producția de energie electrică totală este dată de centralele nucleare. Impactul mare se poate rezuma prin expresia „lumea nu a mai fost aceeași”.

La sfârșitul anului 2013, atât în Germania [1] cât și în SUA [2] s-au aniversat 75 ani de la descoperirea fisiunii nucleare induse. Fisiunea indusă prin bombardare cu neutroni a uraniului a fost descoperită [3] de către Otto Hahn (premiul Nobel pentru Fizică în 1938), directorul Institutului „Kaiser-Wilhelm” pentru Chimie din Berlin împreună cu asistentul său Fritz Strassmann, la data de 17 Decembrie 1938.



Fig. 1. Otto Hahn.

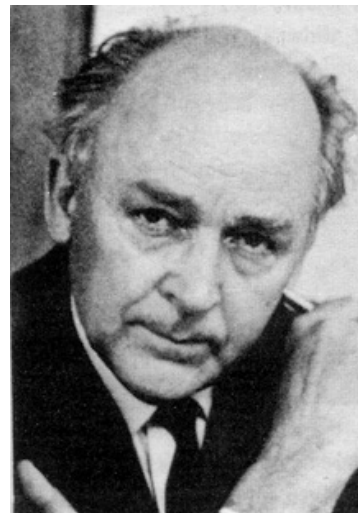


Fig. 2. Fritz Strassmann.

Filmul scurt [2], făcut din inițiativa Laboratorului Național Los Alamos, prezintă fotografiile ale multora dintre savanții care au lucrat la proiectul „Manhattan”, în timpul celui de-al Doilea Război Mondial.

În 19 Decembrie, Otto Hahn s-a adresat fostei sale colaboratoare, Lise Meitner (refugiată în Suedia din cauza faptului că era evreică), cerându-i ajutor pentru înțelegerea corectă a experimentului în care din $Z=92$ bombardat cu neutroni rezultă $Z=56$. Împreună cu nepotul sau, Otto Robert Frisch, Meitner a dat explicația fenomenului [4], pe baza modelului picăturii de lichid (MPL), dezvoltat pentru nuclee de către Niels Bohr (premiul Nobel 1922). Ordinul de mărime (peste 200 MeV) al energiei eliberate se calculează după celebra formulă a lui Einstein

$$E = \Delta m c^2$$

în care Δm este diferența dintre suma maselor fragmentelor și masa nucleului părinte, iar c este viteza luminii.

Denumirea de *fisiune nucleară* a fost dată de către Frisch [5], care a împrumutat un termen consacrat din biologie (diviziunea celulei). Acordarea Premiului Nobel numai lui Otto Hahn a fost considerată o nedreptate de către mulți oameni de știință. O acțiune reparatorie a fost acordată în SUA de către DOE (Department of Energy), în anul 1966, a Premiului și Medaliei Enrico Fermi fiecăruia dintre cei trei: Otto Hahn, Lise Meitner și Fritz Strassmann.



Fig. 3. Lise Meitner.



Fig. 4. Niels Bohr.

Statul israelian i-a acordat lui Strassmann apelativul de „drept între popoare”, care se acorda martirilor și eroilor ne-evrei care, în vremea Holocaustului, în condiții vitrege, când purificarea etnică, jaful, crima și oportunistul deveniseră politică de stat, considerate naționalism și răsplătite cu medalii și onoruri - și-au riscat viața, familia și averea pentru a-și păstra omenia și iubirea aproapelui, ajutându-i și salvându-i pe evreii prizonieri.

Cu toate că MPL, fiind un model macroscopic fenomenologic, nu poate explica decât anumite proprietăți globale ale fenomenului, articolul teoretic amplu scris de N. Bohr și A. Wheeler [6] a fost utilizat mulți ani de către experimenterii și teoreticienii. Una dintre concluziile importante ale Ref. [6] a fost că, dacă s-ar folosi ^{235}U în loc de ^{238}U , fisiunea indusă prin bombardare cu neutroni ar avea loc cu probabilitate mai mare.

Asimetria în distribuția după mase a fragmentelor de fisiune, fenomenul de fisiune dintr-o stare izomeră (descoperit de Serghei Polikanov și alții la IUCN Dubna, în anul 1962) și alte proprietăți, în care efectele păturilor cuantice sunt esențiale, au putut fi explicate doar după anul 1967, când V. M. Strutinski [7] a introdus metoda macroscopică - microscopică adăugând o corecție microscopică la MPL.

Fenomenul de fisiune spontană a fost descoperit în anul 1940 de către G. N. Flerov și K. A. Petrzhak [8]. În acest caz, este important să se calculeze perioada de înjumătățire; metodele clasice nu pot fi aplicate, deoarece avem de-a face cu tunelarea cuantică prin bariera de potențial. Primul care a aplicat mecanică cuantică pentru a explica prin efect tunel dezintegrarea alfa a fost, în anul 1928, tânărul pe atunci, George Gamow [9].



Fig. 5. K. A. Petrjak și G. N. Flerov.

2. Experimente și interpretări preliminare

După ce James Chadwick (Premiul Nobel 1935) a descoperit neutronul, în anul 1932, Enrico Fermi (Premiul Nobel 1938) a reușit să obțină multe substanțe radioactive prin reacții induse de neutroni și a observat că secțiunea de reacție crește, dacă neutronii sunt încetiniți. Împreună cu colegii săi din Roma, printre care și Edoardo Amaldi, au publicat, în anul 1934, un articol în care raportau că prin bombardarea uraniului ($Z=92$) cu neutroni au produs noi elemente („ausonium” și „hesperium”) cu $Z=93$ și respectiv 94. În anul 1984, marele savant Amaldi, unul dintre întemeietorii CERN-ului, a scris un amplu articol de sinteză [10] în care detaliază încercările, uneori nereușite, care au condus la descoperirea fisiunii nucleare. Analizează critic și nepărtinitor inclusiv propriile greșeli, menționând că o chimistă, Ida Noddack, a publicat, în anul 1934, o lucrare în care afirma că Fermi și alții în loc să producă un element mai greu au produs, de fapt, o rupere a nucleului în câteva fragmente. Totuși, Fermi avea o mare autoritate la acea vreme și critica Idei Noddack a fost ignorată.

Astfel, Ida Noddack a fost prima care a prezis, de fapt, ideea de fisiune nucleară. Totuși, nu a dat o dovadă experimentală sau teoretică și în plus, cu toate că descoperise reniul ($Z=75$), s-a discreditat când a publicat o lucrare în care pretindea că a descoperit și un alt element numit de ea „masurium” ($Z=43$).

Și în Franța s-au făcut experimente similare cu ale lui Fermi, în anul 1938, de către Irène Joliot-Curie (Premiul Nobel 1935) și sârbul Pavle Savić. Deși în loc de presupusul element transuranian, conform interpretării greșite a lui Fermi, ei au constatat că produsele aveau proprietăți de pământuri rare (elemente mai ușoare) și au invocat „dificultăți de interpretare”.

Doar în decembrie 1938 Otto Hahn și Fritz Strassmann au dat dovada chimică a existenței unor izotopi ai bariului ($Z=56$). Când s-au adresat Lisei Meitner, ei vedeau procesul ca pe o explozie a nucleului în fragmente.

3. Emisia spontană de particule grele ca fisiune suprasimetrică

Asimetria în fenomene de fuziune și fisiune a fost subiectul tezei mele de doctorat în fizică, susținută în anul 1980. Împreună cu Marin Ivăscu și Aurel Săndulescu arătasem, în anul 1979, că dezintegrarea alfa poate fi interpretată ca un proces de fisiune spontană suprasimetrică. Astfel, a părut

normal să ne gândim, în 1980, că trebuie să existe un fenomen intermediar între fisiune și dezintegrarea alfa [11]. După efectuarea primului experiment de confirmare la Universitatea din Oxford, în anul 1984 [12], suntem creditați cu predicția teoretică a unui nou fenomen [13].

Modelul analitic al fisiunii suprasimetrice (ASAF) dezvoltat de noi a dat rezultate bune. Toate experimentele reușite privind emisia spontană de ^{14}C , ^{20}O , ^{23}F , $^{22,24-26}\text{Ne}$, $^{28,30}\text{Mg}$ și $^{32,34}\text{Si}$ din nuclee cu $Z=87-96$ au confirmat duratele de viață calculate cu acest model. În felul acesta, teoria fisiunii nucleare a fost aplicată cu succes într-un domeniu nou al cercetării științifice. După calculele noastre [14], este posibil că la elemente supragrele cu $Z>122$, noile tipuri de radioactivități, observate până în prezent ca fenomene foarte rare (raport de ramificare maximum 10^{-9}), în prezența unui fond imens de particule alfa, să fie comparabile sau chiar mai intense decât dezintegrarea alfa.

Interesul pentru această abordare s-a manifestat și prin invitațiile de a face prezentări plenare la importante manifestări științifice internaționale (Conferințe, Simpozioane, Workshop-uri, Școli de vară). Din 1980 până în 2014, am fost prezent cu astfel de prezentări la 70 conferințe din 22 țări (Africa de Sud, Anglia, Bahamas, Bulgaria, China, Croația, Finlanda, Franța, Germania, Grecia, Guadelupa, Italia, India, Japonia, Polonia, România, Rusia, Slovacia, SUA, Turcia, Ucraina și Ungaria).

Desigur, când s-au făcut aceste invitații au fost luate în seamă și cele 12 cărți scrise sau editate de noi, care au apărut în SUA, Anglia, Germania, Olanda, Singapore și România.

4. Jubileurile din 1989

În Decembrie 1988 și în cursul anului 1989, au avut loc patru Conferințe Internaționale pentru aniversarea a 50 ani de fisiune: în Gaussig lângă Dresda (Physics and Chemistry of Fission), în Berlinul de West (Fifty Years Research in Nuclear Fission), în Gaithersburg, Maryland, SUA (50 Years with Nuclear Fission) și în Leningrad, Uniunea Sovietică (50th Anniversary of Nuclear Fission). Am avut șansa să particip la trei dintre ele cu prezentări invitate, dar la toate ni s-au publicat lucrările trimise [15-18].

La Conferința din SUA au participat (fiind încă în viață) o serie de pionieri ai tehnologiilor nucleare, cum sunt: Alvin Weinberg, Pavle Savić, Glenn Seaborg, Edward Teller, John Wheeler, Chauncey Starr, Walter Zinn ș.a. Acesta este motivul pentru care Societatea Nucleară Americană (ANS) a marcat

„aniversarea de diamant” [19] prin retipărirea Proceeding-ului „50 Years with Nuclear Fission”, ISBN 978-0-89448-578-7, care are 976 pagini. ANS a serbat cea de-a 75-a aniversare în timpul „2013 Winter Meeting, Washington, D.C.” [20]. S-a subliniat contribuția lui Enrico Fermi, care a construit la Chicago primul reactor nuclear. Se utilizează reacția de *fisiune în lanț* care se poate autoîntreține: neutronii produși la fiecare fisiune indusă de neutroni sunt suficient de mulți pentru a produce un nou proces de fisiune.

Donald R. Hoffman, președintele ANS, declară că „În cei 75 ani de când Enrico Fermi, Otto Hahn și Fritz Strassmann ne-au deschis ochii către fisiunea nucleară nu s-a schimbat foarte mult în ceea ce privește înțelegerea fisiunii”. „Ce s-a schimbat este numărul aparent nelimitat al aplicațiilor și cât de mult suntem capabili să le utilizăm pentru a servi omenirea”. „Pentru marea majoritate a persoanelor de pe glob, știința nucleară le-a îmbunătățit calitatea vieții. Aplicațiile folosite datorită descoperirii fisiunii le includ pe cele din agricultură și s-au extins în industrie, cum este mineritul. Totuși, mărturisesc că marea majoritate a publicului se gândește la fisiune ca la o armă sau energie și nu la importanța sa pentru inovații în medicină.”

5. Conferința Internațională, Mumbai 2014

Conferința „75-years of Nuclear Fission: Present status and future perspectives” a avut loc între 8 și 10 mai 2014, în campusul BARC (Bhabha Atomic Research Centre), Departamentul Energiei Atomice, la periferia metropolei Mumbai.



Fig. 6. Deschidere festivă.

Datorită participării numeroase cu prezentări orale în sesiuni plenare și poster, în doar 3 zile, organizatorii au acordat doar 20+5 sau 15+5 minute de fiecare prezentare, urmată de discuții.

La sesiunea inaugurală au participat înalți demnitari și foști directori de institute printre care Dr. Ratan Kumar Sinha, Chairman of the Atomic Energy Commission și, desigur, principalul organizator, Dr. Dipak Biswas.

După cum era de așteptat, mare parte dintre vorbitori erau indieni, dar au participat și cunoscuți oameni de știință din străinătate, ca de exemplu: W. Udo Schroeder, B. B. Back, B. V. John, R. G. Thomas, R. Leguillon, E. Vardaci, K. Hirose, M. Thoennessen, J. Billowes, V. L. Truesdale, A. Nasirov, G. de France, A. Staszczak, T.K. Hauschild, P. Huber, G. Viesti, T. Wright, A. Jhingan etc.

Într-o sesiune specială de Amintiri, au luat cuvântul mai mulți oameni de știință indieni, care au jucat un rol important în începuturile fizicii nucleare în India.

Prezentarea mea s-a intitulat „Fission approach to cluster radioactivity”. Nu doar la cele 5 minute de discuții după prezentare, ci mai ales în pauze am avut prilejul să discut cu Prof. W. U. Schroeder, B. B. Back, R. K. Gupta, M. Balasubramaniam, E. Vardaci, M. Saha Sarkar, B. K. Nayak, K. P. Santosh, Dr. S. K. Tandel, Dr. A. Staszczak etc.

Printre oaspeții invitați, au mai fost încă doi cercetători din România. Fiul și colaboratorul meu, Radu Alexandru Gherghescu a prezentat „Fisiunea spontană a nucleelor supragrele”. Dr. D. Balabanski a vorbit despre marele proiect european de la Măgurele, Extreme Light Infrastructure.

O sesiune foarte interesantă a fost dedicată programului nuclear indian în care au vorbit specialiști cum sunt: S. G. Ghadge, P. Chellapandi, P. K. Vijayan și D. Das despre: „Indian nuclear power programme”, „Fast reactor programme in India”, „Conceptual design of Indian molten salt Breeder reactor” și respectiv „Nuclear fission in reactor instrumentation”.

Proceeding-ul Conferinței este în curs de publicare în revista indiană (ISI) *Pramana*.

Bibliografie

- [1] http://www.kernenergie.de/kernenergie-en/press/p_ressmitteilungen/2013/2013-12-17_75th-anniversary-of-the-discovery-of-nuclear-fission-a-milestone-in-scientific-history.php
- [2] <http://www.youtube.com/watch?v=TeWBzQSJGMY>

- [3] O. Hahn, F. Strassmann, Ueber den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle, *Naturwissenschaften*, **27**, 11 (1939).
- [4] L. Meitner, O. R. Frisch, Disintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction, *Nature*, **143**, 143 (1939).
- [5] O. R. Frisch, Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment, *Nature*, **143**, 276 (1939).
- [6] N. Bohr, J. Wheeler, The mechanism of nuclear fission, *Physical Review*, **56**, 426 (1939).
- [7] V. M. Strutinsky, Shell effects in nuclear masses and deformation energies, *Nuclear Physics, A* **95**, 420 (1967).
- [8] G. N. Flerov, K. A. Petrjak, Spontaneous fission of uranium, *Physical Review*, **58**, 89 (1940).
- [9] G. Gamow, Zur Quantentheorie des Atomkernes, *Zeitschrift fuer Physik*, **51**, 204 (1928).
- [10] E. Amaldi, From the discovery of the neutron to the discovery of nuclear fission, *Physics Reports*, **111**, 1 (1984).
- [11] A. Sandulescu, D. N. Poenaru, W. Greiner, New type of decay of heavy nuclei intermediate between fission and alpha-decay, *Soviet Journal Particles and Nuclei*, **11**, 528 (1980).
- [12] H. J. Rose, G. A. Jones, A new kind of natural radioactivity, *Nature*, **307**, 245 (1984).
- [13] <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/465998/>
- [14] D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Heavy-Particle Radioactivity of Superheavy Nuclei, *Physical Review Letters*, **107**, 062503 (2011).
- [15] D. N. Poenaru, W. Greiner, M. Ivascu, I. Ivascu, Spontaneous fission in a wide range of mass asymmetry including heavy ion radioactivities, *Proc. International Symposium on Physics and Chemistry of Fission, Gaussig, 1988, Preprint Zfk-732, Rossendorf, 1990, Eds. H. Maerten, D. Seeliger*, p. 212.
- [16] D. N. Poenaru, W. Greiner, M. Ivascu, Predicted halfives for cluster radioactivities, *Proc. Internat. Conf. Fifty Years Research in Nuclear Fission, Berlin 1989, Eds. D. Hilscher, H.J. Krappe, W. von Oertzen, Nuclear Physics, A* **502**, 59c (1989).
- [17] D. N. Poenaru, M. Ivascu, I. Ivascu, M. Mirea, W. Greiner, K. Depta, W. Renner, *Proc. Internat. Conf. 50 Years with Nuclear Fission, Gaithersburg, MA, ANS, La Grange Park, 1989, Eds. J. W. Behrens, A. Carlson*, p. 617.
- [18] D. N. Poenaru, M. Ivascu, I. Cata, W. Greiner, Cluster radioactivities of nuclei far off the beta-stability, *Proc. Internat. Conf. 50th Anniversary of Nuclear Fission, Leningrad, 1989, Vol. 1, (V. G. Khlopin Radium Institute, St. Petersburg, 1992), Ed. R. Drapchinski*, p. 395.
- [19] http://www.ans.org/store/i_690091/r_f
- [20] http://www.huffingtonpost.com/erik-rancatore/75-years-nuclear-fission_b_4138057

Autor corespondent: poenaru@nipne.ro