

Radiochimia în România: trecut, prezent și doar atât? (The Radiochemistry in Romania: past, present and just that?)

KARIN POPA

In Romania, as well as all over the world, nuclear education and training is decreasing down to alarming levels. Our country now finds itself in an absurd situation: it develops routine activities all along the nuclear fuel cycle, but there is no longer hands-on education in radiochemistry. After a short overview and some historical considerations, this paper tries to point out the general and specific reasons for the decrease of this field in Romania and propose a few realistic strategies to solve the radiochemical staffing issues. There are two possible directions to follow in this respect: (1) to reactivate a laboratory of radiations sources in one of the main universities which might deserve all the related departments, or (2) to create a new structure, preferably on an existing nuclear platform and to allow new students from related universities to use the infrastructure. In both cases, an international selection must be undertaken, in order to ensure the best staff in such a sensitive field. Special funds will be needed initially in order to renovate/ build a nuclear unit for the present age and to equip it accordingly. Last but not least, there is a need of vision, including at the governmental level.

1. Ce este radiochimia?

Radiochimia este ramura chimiei care se ocupă de studiul fenomenelor chimice în care sunt implicate substanțe radioactive. Fizica nucleară presupune inducerea de reacții nucleare, deci producerea de noi specii nucleare prin fenomenul de transmutație. Chimia nucleară este asociată ambelor, constând în reacțiile chimice asociate fenomenelor de transmutație. Specialiștii încă dezbat dacă există o suprapunere între radiochimie și chimia nucleară, neajungându-se însă la consens. Independent însă de semantică, ramurile științelor nucleare se întrepătrund de multe ori; rezultatele obținute prin aplicarea tehnicilor nucleare au fost adesea spectaculoase, de la construcția detectorilor de fum pînă la descoperirea de noi elemente în sistemul periodic.

În afară de aplicațiile mai mult sau mai puțin pașnice ale fisiunii nucleare, studiul radioactivității (naturale sau induse) si-a găsit aplicații practice în:

(a) geologie și cosmologie (metode de analiză bazate pe abundența izotopică a elementelor și variații în compoziția izotopică);

(b) istorie și arheologie (datarea radiochimică);

(c) radioanaliză (în special, cea bazată pe activare cu neutroni);

(d) chimie organică și anorganică (studiul mecanismelor reacțiilor chimice în baza radioactivității naturale sau induse);

(e) medicină (radiodiagnostic și tratamentul în cancer);

(f) ecologie (radioactivitatea mediului înconjurător);

(g) industrie (în baza interacțiunii radiațiilor ionizante cu materia);

(h) dozimetrie și protecție împotriva radiațiilor ionizante etc.

După descoperirea fenomenului de radioactivitate (1896), studiul și aplicațiile practice ale acestuia s-au dezvoltat rapid, având în vedere oportunitățile imense. Din păcate, în absența cunoștințelor solide de radioprotecție, efectele nocive ale radiațiilor asupra organismului uman au indus publicului larg *frica de radioactivitate*. Aceasta a fost sporită exponențial de către forța devastatoare a bombelor atomice. Însă nu trebuie să uităm un fapt: însuși Universul este radioactiv, iar noi suntem parte componentă a sa [1].

În prezent, în majoritatea statelor lumii există un control strict asupra producerii, deținerii și utilizării substanțelor radioactive (surse de radiații). România este parte a convențiilor internaționale referitoare la neproliferare, utilizare pașnică a surselor de radiații, control dozimetric a personalului expus profesional, eliberare a surselor de radiații în mediu etc.

2. Necesitatea considerării și menținerii radiochimiei ca disciplină de studiu

După “anii de glorie” ai științelor nucleare, tendința mondială în ultimii 30 de ani este aceea de scădere dramatică a numărului de studenți chimiști și fizicieni care se orientează către radiochimie, respectiv fizica nucleară. Există un număr important de factori care au condus la această stare de fapt, între care:

(a) tendința generală de scădere a numărului tinerilor ce aleg să studieze “științele dure”;

(b) conștientizarea (și uneori hiperbolizarea) de către opinia publică a efectelor pe care radiațiile ionizante le au asupra sănătății umane prin vizualizarea efectelor mineritului uraniului, a utilizării necontrolate a ^{226}Ra în perioada interbelică sau a consecințelor dezastrelor nucleare de la Cernobîl (1986) și Fukushima (2011);

(c) scăderea numărului de locuri de muncă ce necesită educație în domeniul nuclear (iar pe cale de consecință, și oferta de astfel de locuri de muncă) ca urmare a înlocuirii metodelor tehnice și industriale, ce utilizează radioizotopi, cu alte tehnici (atunci când este posibil);

(d) tendința de stagnare a producției de energie electrică de origine nucleară.

Pe lângă componenta benefică (respectiv protecția lucrătorilor, a persoanelor din populație și a mediului înconjurător), apare și un efect pervers: reducerea numărului de persoane ce pot procesa critic informația (corectă sau nu) din domeniul nuclear și capacitatea scăzută de comunicare a forurilor decizionale pot conduce la situații aberante.

Iată un astfel de exemplu: în octombrie 2011, la Punctul de lucru Ștei al Companiei Naționale a Uraniului s-a constatat lipsa a opt surse etalon cu un conținut total declarat de aproximativ 73,5 kg de minereu de uraniu [2]. În presă s-a scris că “[...] din minereu cu pricina pot fi extrase mai mult de 150 grame de uraniu fisionabil” [3]. Un alt articol de presă informează că “73 de kilograme de uraniu în stare pură, dispăruseră!” [4]. O astfel de știre prezentată și interpretată greșit poate avea efecte nebănuite asupra unui public neinformați [5].

Un calcul simplu arată că, la o concentrație maximă de 3 % uraniu în minereu și o compoziție izotopică de 0,72 % ^{235}U în amestecul natural al elementului uraniu, în sursele respective se aflau cel mult 15 g ^{235}U (a se compara cu circa 1 kg ^{235}U conținut în bomba nucleară “Little Boy” care a explodat la 6 august 1945 la Hiroshima) [6].

În altă ordine de idei, utilitatea formării de specialiști în domeniu este evidentă, întrucât:

(a) necesitatea tot mai crescută de energie electrică (ca urmare a *boom*-ului demografic) face ca opinia publică să accepte studii asupra fenomenului de fuziune nucleară și să devină mai tolerantă la producția de energie prin fisiune nucleară;

(b) se poate vorbi și de o “față luminată” a științelor nucleare care conduce la estomparea percepției negative asupra radioactivității: aplicațiile nenucleare ale radioactivității precum medicina nucleară și radiodiagnosticul, studiul radioactivității mediului înconjurător, descoperirea de noi elemente și studiul fenomenelor din fizica subatomică etc.;

(c) există o tendință mondială de îmbătrânire a personalului educat în științe nucleare; la acest fapt a contribuit și reducerea numărului de locuri de muncă și redistribuirea acestora între persoane ce lucrau deja în domeniu în detrimentul angajării de tineri (ca măsură de protecție socială); necesitatea păstrării competențelor pe termen lung a condus, deja, la renunțarea la astfel de practici în țări cu istorie în domeniul nuclear;

(d) “răul a fost deja produs”: din exploatarea reactorilor nucleari energetici de fisiune a rezultat o cantitate deloc neglijabilă de deșeuri radioactive ce conțin radioizotopi cu timp de înjumătățire mare sau foarte mare, ceea ce conduce la necesitatea gestionării lor cu personal calificat.

Devine astfel evident faptul că radiochimia trebuie menținută ca disciplină de studiu în universități [7]. Astfel, țările care au conștientizat riscul pierderii competențelor și a dispariției specialiștilor în domeniu au dezvoltat programe naționale sau internaționale (a se vedea drept exemplu [8,9]).

Astfel, în vederea înțelegerii fenomenelor ce guvernează fenomenul de radioactivitate și aplicațiile practice ale acestuia, toți masteranzii cu profil Chimie de la universitatea Texas, SUA, urmează cinci cursuri: *Chimie nucleară și radiochimie, Fizică nucleară, Dozimetrie și radioprotecție, Ciclul combustibilului nuclear și Managementul deșeurilor radioactive* [10].

Mai aproape de noi, la Universitatea Ege din Izmir, Turcia, se predau trei discipline de chimie nucleară la studenții din ciclul I de studii, iar absolvenții pot opta pentru un program de masterat ce include lucrări practice în domeniu [11].

Pe lângă problemele menționate, în România există și alte aspecte ce influențează dezvoltarea domeniului, care vor fi evidențiate în cele ce urmează.

3. Începuturile radiochimiei în România

Se poate spune că bazele radiochimiei în România au fost puse de către un fizician: Horia Hulubei. Ulterior obținerii titlului de Doctor la Universitatea Sorbona (1933), dar cu mult înainte ca acesta să devină fondatorul Institutului de Fizică Atomică (IFA), Horia Hulubei a fost în mijlocul unei controversate științifice, și anume, paternitatea elementului 87, *Franciu (Fr)*.

În 1936, Horia Hulubei și Yvette Cauchois anunță descoperirea elementului *Moldaviu (Ml)* în baza spectrului de radiații X a mineralului zeolitic polucit [12]. Iată chimia care a stat la baza studiului său: după fracționarea mai multor probe de polucit, acestea au fost supuse dezagregării acide în acid clorhidric și etanol, când s-ar fi obținut microcantități de clorură, *MlCl*. Acestea au fost supuse analizei spectrale cu radiații X, descoperindu-se existența unor linii spectrale pe care autorii le-au asociat acestui nou element. Chiar dacă aceste linii au fost atribuite de către alți cercetători din epocă unor impurități, ce conțin mercur și bismut, s-a dovedit ulterior că ^{223}Fr ($t_{1/2} = 21,8$ minute) există în natură în microcantități.

Cu puțin timp înainte de cel de-al doilea Război Mondial, Horia Hulubei a revenit în țară, ca profesor la Universitatea "Alexandru Ioan Cuza" din Iași (1938-1940), iar ulterior la Universitatea București (unde a ocupat inclusiv funcția de Rector între 1941-1944). În 1949 a fondat Institutul de Fizică al Academiei, filiala Cluj, iar în 1956 a devenit cofondator al Institutului de Fizică Atomică (IFA) de la Măgurele, care în prezent îi poartă numele: Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară "Horia Hulubei" [13]. La activități, precum producerea de radioizotopi, dezvoltarea metodelor radioanalitice, etc., au fost cooptați chimiști valoroși ce au contribuit, ulterior, la dezvoltarea radiochimiei în România.

4. Școlile de Radiochimie din principalele centre universitare din România

4.1 Radiochimia la București

Laboratoarele de Radiochimie de la Universitatea București au fost dezvoltate de către doi profesori: Ion Mihalcea și Corneliu Podină. Datorită acestora, în subsolul clădirii din Bulevardul Regina Elisabeta funcționează, încă, două laboratoare de lucru cu radioizotopi, unul pentru surse închise și altul pentru surse deschise de radiații. În această universitate este

acreditată singura specializare de licență în Radiochimie din țară, care se desprinde din trunchiul comun, după trei semestre de studii. În programa analitică se află următoarele discipline de studii: *Radioactivitate, Materiale nucleare, Chimia radiațiilor ionizante, Radiochimie, Fizică nucleară* (semestrul IV), *Izotopi, Radiometrie și dozimetrie, Compuși organici marcați și radiofarmaceutici, Metoda atomilor marcați în studiul compușilor anorganici, Acțiunea radiațiilor ionizante asupra catalizatorilor solizi* (semestrul V), respectiv *Aplicațiile chimiei coordinative în radiochimie, Poluarea radiochimică, Compuși organici radio-protectori, Managementul deșeurilor radioactive, Cinetica reacțiilor radiochimice, Metode spectrale aplicate în radiochimie, Caracterizarea catalizatorilor cu specii marcate izotopic, Reacții catalitice pe catalizatori activați prin iradiere, Tehnici nucleare în medicină și științele vieții* (semestrul VI). Din păcate, acest program nu a funcționat niciodată din motive de neofertare inițială, atât pentru că începea la mijlocul anului universitar, cât și din cauza numărului insuficient de studenți (competiție cu specializarile Chimie și Biochimie tehnologică).

În programa analitică a secțiilor funcționale apar discipline facultative, precum *Radiochimie și fotochimie și Izotopi și compuși marcați izotopic/Radiochimia polimerilor și a copolimerilor* (ciclul I de studii, Chimie, semestrul VI). De asemenea, în modulul de Masterat „Poluarea chimică a mediului” există disciplina de studii *Poluarea radiochimică: risc și protecție*.

Se pare că există dorința, ca din anul academic următor, să se activeze specializarea Radiochimie prin ofertare direct din admitere. Din păcate, însă, a avut loc un declin față de proiectul inițial, prin pensionarea celor doi profesori anterior menționați și prin expirarea autorizației CNCAN (Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare) și închiderea iminentă a laboratorului de surse închise de radiații. În prezent, există o singură persoană care continuă activitatea în domeniu, respectiv Conf. Valentin Munteanu.

Un alt centru de educație ce cuprinde aspectele referitoare la utilizarea surselor de radiații este constituit de către *Cursurile de pregătire și specializare în domeniul nuclear*. Această din urmă structură își are originea în programul postuniversitar de specializare CUIR (*Cursuri pentru utilizarea izotopilor radioactivi*) și are drept obiectiv formarea și perfecționarea personalului implicat în practici cu surse de radiații și tehnici de fizică avansată. În prezent, această structură este condusă de către Dr. Camelia Avădanei, din echipa de lectori făcând parte

personalități remarcabile precum: Dr. Eric Leon Grigorescu, Dr. Maria Sahagia (ambii fizicieni) și Mihai Popescu (geochimist). Tot pe platformă funcționează Institutul pentru Metale și Resurse Radioactive, cu vizibilitate internațională în teme, precum mineritul resurselor radioactive și managementul deșeurilor nucleare.

În fapt, aplicațiile radiochimiei în cercetare și industrie au explodat în 1957, odată cu înființarea IFA la Măgurele, prin punerea în funcțiune a Reactorului nuclear, când a luat ființă laboratorul de preparare de radioizotopi. Ulterior, au fost înființate alte două laboratoare, unul de cercetări fundamentale în radiochimie, iar al doilea de sinteză de compuși organici marcați cu ^{14}C , ^3H sau cu izotopi stabili. În cadrul acestor laboratoare, s-a dus muncă de pionierat în ceea ce privește dezvoltarea și introducerea tehnicilor radiochimice și a aplicațiilor acestora în România.

La reorganizarea IFA din 1976, laboratoarele cu profil radiochimic au fost comasate în nou înființatul Centru de Producție Radiochimică (CPR) și Stația de Tratare a Deșeurilor Radiochimice, ambele proiectate și construite de către personalul IFA în colaborare cu General Electric (Anglia), care funcționează și astăzi. Activitatea acestor laboratoare, desfășurată pe parcursul a zeci de ani, va face obiectul unui articol separat pentru RPSS, întrucât autorul nu a avut timpul necesar să contacteze cercetătorii de ieri și de azi ai domeniului și să caute literatura unde au apărut numeroase articole de radiochimie ale cercetătorilor de la Măgurele, pionieri în domeniul radiochimic din România.

4.2 Radiochimia la Cluj

Disciplina de Radiochimie din Cluj-Napoca este legată de un singur nume, acela al profesorului Gheorghe Marcu. Acesta este autorul celei mai importante cărți în domeniu în limba română [14]. Din păcate, după pensionarea acestuia (cu 22 de ani în urmă), în lipsa unor discipoli consacrați, laboratorul a pierdut din faima avută înainte de 1989. Întrucât autorizația CNCAN de funcționare este încă valabilă, conducerea facultății ar dori să-l revigoreze.

În prezent, cercetări de radioecologie, radioactivitatea mediului și de datare radiochimică sunt realizate la Facultatea de Știința și Ingineria Mediului din cadrul Universității Babeș-Bolyai din Cluj-Napoca. Aici activează un mic grup de chimiști și fizicieni condus de către Profesorul Constantin Cosma, conducător de doctorat în domeniu. Din păcate, acest nucleu nu dispune de facilitățile unei unități nucleare acreditate CNCAN. Există însă o colaborare foarte strânsă între acest grup și cel

condus de către Prof. Tibor Kovacs, Institutul de Radiochimie și Radioecologie, Universitatea Pannonia, Veszprem/ Ungaria, unde masteranzii și doctoranzii pot dezvolta partea aplicativă "activă" a cercetărilor lor.

4.3 Radiochimia la Iași

Fondatorul Școlii de Radiochimie din Iași este, în mod cert, profesorul Radu Ralea. După ce a obținut titlul de Doctor în Chimie în 1937 sub conducerea lui Radu Cernătescu, Radu Ralea a plecat la Paris pentru studii postdoctorale. A revenit la catedră în 1946, inițial la Institutul Politehnic „Gheorghe Asachi” iar apoi la Universitatea „Alexandru Ioan Cuza”, în cadrul Catedrei de Chimie Anorganică și Analitică condusă, la acea dată, de către Margareta Poni. Pe lângă cercetările în domeniile polarografiei și a chimiei structurale a compușilor de coordinație, Radu Ralea s-a preocupat de amenajarea primului laborator de radiochimie din Iași în cadrul Universității „Alexandru Ioan Cuza”. Acest demers a avut la bază stagiul de specializare efectuat în 1960 în laboratorul academicianului An.N. Nesmeyanov, la Universitatea Lomonosov din Moscova. În 1964, Profesorul Radu Ralea devine șef al Catedrei de Chimie Anorganică și Analitică, funcție pe care a ocupat-o până în 1966. În acești ultimi ani, a contribuit la formarea profesională a unor specialiști în domeniu, care au fost absolvenți ai cursurilor de utilizare a izotopilor radioactivi, precum Gabriela Agrigoroaiei, Raluca Mocanu sau Candiano Leonte. În paralel, a dezvoltat un sector de cercetare polarografică la Institutul „Petru Poni” din Iași. Cam în același timp, la Institutul „Petru Poni” a fost înființat un laborator de izotopi radioactivi de către Profesorul Radu Vasiliu și Dr. Florin Modreanu, care a funcționat până în 1984 [15]; în 1983 s-a detectat contaminarea radioactivă a căminului de apă, iar în anul următor a fost dezafectat depozitul de deșeuri radioactive.

În 1963, a sosit la Iași, prin repartiziune guvernamentală, Alexandru Cecal, absolvent al Facultății de Chimie din cadrul Universității București. Cu toate că intenția acestuia a fost să se transfere cât mai repede cu putință la IFA, în urma discuțiilor purtate cu Profesorul Radu Ralea, acesta a rămas la Iași, activând aici până în prezent (acum profesor consultant - *emeritus*). Din 1967, a devenit șeful unității nucleare menționate. A fost Decan al Facultății de Chimie între 1990-1996 și 2000-2004, iar între 2004-2005 - Prorector pentru strategia universitară.

După unificarea învățământului chimic din Iași (1974), Facultatea de Chimie a fost încorporată ca secție a Facultății de Chimie industrială în cadrul

Universității Tehnice “Gheorghe Asachi”. Din cauza dificultăților de acreditare, laboratorul de radiochimie a mai funcționat, însă, în corpul principal al Universității “Alexandru Ioan Cuza” până în 1979. Cu toate că Facultatea de Chimie a revenit la Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” încă din 1990, laboratorul de radiochimie a rămas situat în clădirea Facultății de Chimie Industrială și Protecția Mediului a Universității Tehnice “Gheorghe Asachi” până în ziua de azi (când se află în conservare). În prezent, la Facultatea de Chimie se mai predă disciplina doar “pe hârtie”, fără ca studenții să aibă posibilitatea de a lucra în mod legal cu surse închise sau deschise de radiații în cadrul lucrărilor de laborator.

În ceea ce privește activitatea didactică, peste 40 de generații de chimiști au beneficiat de cursuri și lucrări practice de *Radiochimie*, *Chimia izotopilor radioactivi*, *Combustibili nucleari*, *Metode radiochimice de analiză*. Treisprezece chimiști au obținut titlul de Doctor în Chimie, specializarea *Radiochimie*, *Chimie nucleară*, *Combustibili nucleari*. Surprinzător însă, doar unul dintre aceștia activează în domeniu.

În Iași au existat și alte laboratoare de izotopi radioactivi, marea majoritate afiliate instituțiilor de învățământ superior. Astfel, laboratorul de radiobiologie în cadrul Facultății de Biologie a Universității “Alexandru Ioan Cuza”, a fost înființat în 1964 de către Profesorul Petre Jitaru și ulterior dezvoltat de către Profesorul Mihail Isac; acest laborator a fost închis în 1999, ca urmare a decesului celui din urmă. O altă unitate nucleară, în cadrul căreia s-au utilizat doar surse închise de radiații, este cea din cadrul Facultății de Fizică a Universității “Alexandru Ioan Cuza” în care și-au desfășurat activitatea Dr. Țibu, Dr. Ioniță, Dr. Gorbănescu, Dr. Ilie Rusu etc. Pentru aproximativ 20 de ani (1970-1990), la Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară “Ion Ionescu de la Brad” a existat un laborator dedicat utilizării izotopilor radioactivi (în special, ^{32}P) în cercetări agronomice, condus de către Dr. Maria Opriș-Văcaru. La spitalul „Sfântul Spiridon” din Iași a existat un laborator de radiodiagnostic condus de către Profesorii Baran și Rusu.

5. Perspectivele disciplinei

Având în vedere cele menționate anterior, se poate observa decăderea accentuată a școlilor de radiochimie din România. “Radiochimiștii” care apar actualmente în literatura de specialitate cu afiliere la o instituție din România sunt, de fapt, fizicieni.

Alături de cauzele identificate la nivel internațional, există un număr de factori locali care au condus la decăderea din zilele noastre:

(a) nerealizarea unei mase critice în oricare din centrele universitare menționate, capabile să impună radiochimia ca laborator de excelență;

(b) lipsa circulației personalului la nivel național;

(c) comunicarea redusă între cerere (legiuitori, industria nucleară, laboratoare de igiena radiațiilor etc.) și ofertă (universități);

(d) suprareglementarea și supracontrolul din partea organismelor abilitate (CNCAN, laboratoarele de igiena radiațiilor din cadrul Institutelor de Sănătate Publică);

(e) costurile crescute de întreținere a unei unități nucleare (costuri legate de educația permanentă - reciclare, dozimetrie și radioprotecție, de gestiunea surselor și a deșeurilor radioactive, control de garanții etc.).

Intenții bune au existat și există la nivelul tuturor celor trei mari universități din România (București, Cluj și Iași). Este însă nevoie de mult mai mult decât atât, având în vedere specificul domeniului și costurile aferente.

Există, practic, două abordări majore pentru revigorarea domeniului:

(a) implementarea unei structuri de tip “surse de radiații” în oricare din universitățile mari din România. Aceasta ar trebui să concentreze toate resursele umane (chimiști, fizicieni, medici, dozimetriști etc.) și materiale (generatori de radiații, surse închise și deschise de radiații, aparatură de măsură a radiațiilor, alte echipamente de caracterizare a materialelor). O astfel de structură ar limita costurile de utilizare și funcționare și ar putea deservi, prin resursa umană și acces la infrastructură, facultăți precum fizică, chimie, biologie, geografie, istorie, protecția mediului, știința materialelor etc.;

Această abordare pare mai fezabilă în universitățile din Cluj și Iași, în principal datorită faptului că facultățile de științe s-au dezvoltat în mod relativ omogen. Avantajul acesteia ar consta în faptul că ar depinde, mai curând, de voința locală a conducerii universității. Dezavantajul major ar consta în eterogenitatea de formare, iar riscul ar fi ca un grup cu pregătire dată să preia controlul și să deturneze un astfel de proiect de la scopul propus inițial. Astfel, la București, un grup de radiochimiști ar fi, cel mai probabil, “înghițit” rapid de masa de fizicieni atomiști;

(b) dezvoltarea unei secții de radiochimie, începând de la nivelul de licență, în una din universitățile mici din România (specializare pe subdomeniu). La

momentul actual, cea mai recomandată ar fi Universitatea din Pitești, aflată în vecinătatea Sucursalei de Cercetări Nucleare din Mioveni. Aici sunt concentrate importante resurse în domeniu, incluzând un reactor nuclear de cercetare. Practic, competențele studenților ar spori, exponențial, prin acordarea accesului acestora pentru efectuarea practicii, după modelul KIT (Das Karlsruher Institut für Technologie). În plus, prin prezența Fabricii de Combustibil Nuclear din cadrul Nuclearelectrica, va exista contactul permanent cu potențialii angajatori. În ceea ce privește resursele pentru predare, o astfel de universitate poate apela la profesori (part-time) specializați în domeniu din alte universități din țară sau din străinătate.

Pentru implementarea oricăreia dintre aceste variante este însă nevoie de resursă umană și materială de calitate și, mai ales, de viziune (inclusiv la nivel guvernamental).

Mulțumiri

Autorul mulțumește Domnilor Profesori Alexandru Cecal (Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași), Constantin Cosma (Universitatea “Babeș-Bolyai” din Cluj), Petre T. Frangopol (IFIN-HH Măgurele) și Valentin Munteanu (Universitatea București) pentru informațiile referitoare la starea de fapt din instituțiile de care aparțin.

Referințe bibliografice

- [1] J. Hala, J. Navratil, Radioactivity, Ionizing Radiation, and Nuclear Energy, Konvoj, 2003.
- [2] <http://www.cncan.ro/informatii-publice/documente-de-presa/informari/>
- [3] <http://www.curierulnational.ro/Eveniment/2011-11-02/Ne+lasam+uraniul+la+indemana+oricui!>
- [4] <http://www.romanialibera.ro/actualitate/eveniment/buncar-de-uraniu-pradat-de-hotinimeni-nu-stie-cand-243090.html>
- [5] <http://www.mail-archive.com/nuclear-romania@yahooogroups.com/maillist.html#00396>
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Little_Boy
- [7] R. W. Grimes, R. J. M. Konings, L. Edwards, *Greater tolerance for nuclear materials*, *Nature Materials* **7**, 683 (2008).
- [8] M. B. A. Vasconcellos, M. Saiki, *Survey of the teaching and applications in radiochemistry in Latin American countries*, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **263**, 127 (2005).
- [9] N. A. Wogman, L. J. Bond, A. E. Walter, R. E. Leber, *The nuclear education and staffing challenge: rebuilding critical skills in nuclear science and technology*, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **263**, 137 (2005).
- [10] S. Landsberger, D. J. O'Kelly, S. Biegalski, S. O. O'Kelly, K. Foltz Biegalski, L. Welch, L. Katz, *Development of a graduate curriculum in nuclear and radiochemistry and the research interactions with US Department of Energy national laboratories*, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **270**, 253 (2006).
- [11] T. Ünak, *An ideal teaching program of nuclear chemistry in the undergraduate chemistry curriculum*, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **280**, 223 (2009).
- [12] M. Fontani, *The twilight of the naturally-occurring elements: Moldavium (Ml), Sequanium (Sq) and Dor (Do)*, International Conference on the History of Chemistry, 2006, Lisabona.
- [13] http://www.fhh.org.ro/horia_hulubei.htm
- [14] Gh. Marcu, *Chimia elementelor radioactive*, ed. Didactică și Pedagogică, București, 1962.
- [15] www.nipne.ro/research/departments/radprot

Autor corespondent: kpopa@uaic.ro