

## Descoperirea astatinului de Horia Hulubei

Nicolae Sfetcu<sup>1</sup>

[contact@indexacademic.ro](mailto:contact@indexacademic.ro)

16.11.2023

Sesiunea de comunicări a Diviziei de Istoria Științei (DIS), Comitetul Român de Istoria și  
Filosofia Științei și Tehnicii (CRIFST) a Academiei Române



Articol în Acces Deschis (Open Access) distribuit în conformitate cu termenii licenței de atribuire Creative Commons CC BY SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

---

<sup>1</sup> Cercetător - Divizia de Istoria Științei (DIS), - Comitetul Român de Istoria și Filosofia Științei și Tehnicii (CRIFST) al Academiei Române

### **Abstract**

The search for new chemical elements was a prominent scientific endeavor in the late 19th and early 20th centuries. This era saw the discovery of several elements such as radium, polonium and radon by prominent scientists such as Marie Curie and Ernest Rutherford. Astatine was one of the missing elements from the periodic table, and its existence was predicted due to the periodicity of the elements, with iodine as its nearest stable neighbor. Scientists sought to confirm its existence and properties. The discovery of astatine by Horia Hulubei and his collaborator Yvette Cauchois at the beginning of the 20th century is recognized by many scientists, although the authorship of this discovery was ignored by the Austrian radiochemist Friedrich Paneth, who was responsible for setting priorities in the discovery of new chemical elements. This essay will delve into the historical background and scientific endeavors that led to the discovery of astatine by Horia Hulubei.

**Keywords:** astatine, Horia Hulubei, Friedrich Paneth, Yvette Cauchois, periodic table, halogens

### **Rezumat**

Căutarea de noi elemente chimice a fost un efort științific proeminent la sfârșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea. Această epocă a văzut descoperirea mai multor elemente, cum ar fi radiul, poloniul și radonul, de către oameni de știință proeminenți precum Marie Curie și Ernest Rutherford. Astatinul a fost unul dintre elementele lipsă din tabelul periodic, iar existența lui a fost precisă datorită periodicității elementelor, cu iodul ca cel mai apropiat vecin stabil. Oamenii de știință au căutat să-i confirme existența și proprietățile. Descoperirea astatinului de Horia Hulubei și colaboratorului său Yvette Cauchois la începutul secolului al XX-lea este recunoscută de mulți oameni de știință, deși paternitatea acestei descoperiri a fost ignorată de

radiochimistul austriac Friedrich Paneth, responsabil cu stabilirea priorităților în descoperirea noilor elemente chimice. Acest eseu va aprofunda contextul istoric și eforturile științifice care au dus la descoperirea astatinului de către Horia Hulubei.

**Cuvinte cheie:** astatin, Horia Hulubei, Friedrich Paneth, Yvette Cauchois, tabelul periodic, halogeni

## Introducere

Căutarea de noi elemente chimice a fost un efort științific proeminent la sfârșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea. Această epocă a văzut descoperirea mai multor elemente, cum ar fi radiul, poloniul și radonul, de către oameni de știință proeminenți precum Marie Curie și Ernest Rutherford. Astatinul a fost unul dintre elementele lipsă din tabelul periodic, iar existența lui a fost prezisă datorită periodicității elementelor, cu iodul ca cel mai apropiat vecin stabil. Oamenii de știință au căutat să-i confirme existența și proprietățile.

Peste cincizeci de elemente au fost descoperite în această perioadă, pe măsură ce progresele tehnologice au permis confirmarea predicțiilor lui Mendeleev<sup>2</sup>. Măsurătorile lui H. G. J. Moseley (1887-1915) au stabilit că doar șapte elemente — 43, 61, 72, 75, 85, 87, 91 — dintre hidrogen și uraniu au rămas necunoscute la începutul secolului al XX-lea<sup>34</sup>. Au apărut astfel descoperiri concurente pentru toate elementele „lipsă” ale lui Moseley, iar validitatea unor afirmații a rămas controversată timp de decenii.

---

<sup>2</sup> B. Thornton și S. Burdette, „Finding eka-iodine: discovery priority in modern times”, 2010, <https://www.semanticscholar.org/paper/Finding-eka-iodine%3A-discovery-priority-in-modern-Thornton-Burdette/e8b8f49b2d5b1d38211a502d7026fa7d2adfa126>.

<sup>3</sup> H.G.J. Moseley, „XCIII. The high-frequency spectra of the elements”, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 26, nr. 156 (1 decembrie 1913): 1024–34, <https://doi.org/10.1080/14786441308635052>.

<sup>4</sup> H.G.J. Moseley, „LXXX. The high-frequency spectra of the elements. Part II”, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 27, nr. 160 (1 aprilie 1914): 703–13, <https://doi.org/10.1080/14786440408635141>.

Astatinul, elementul rar și foarte radioactiv cu simbolul chimic „At” și numărul atomic 85, este unul dintre cele mai puțin înțelese și mai enigmatice elemente din tabelul periodic. Raritatea și radioactivitatea sa au făcut din acesta un subiect de studiu provocator. Cursa pentru a caracteriza acest element oferă o perspectivă asupra modului în care istoria influențează adesea cursul și meritul pentru descoperirea științifică.

Acest eseu va aprofunda contextul istoric și eforturile științifice care au dus la descoperirea astatinului de către Horia Hulubei.

### **Horia Hulubei**

Horia Hulubei (15 noiembrie 1896 – 22 noiembrie 1972) este cunoscut pentru contribuțiile sale la dezvoltarea spectroscopiei cu raze X. S-a înscris la Facultatea de Științe a Universității din Iași, dar a întrerupt studiile înrolându-se în armată când România a intrat în Primul Război Mondial, ca sublocotenent. Generalul Henri Mathias Berthelot, șeful misiunii militare franceze în România, l-a trimis în Franța la o școală de aviație; la finalizarea instruirii, Hulubei a luptat ca pilot în Serviciul Aerian Francez pe Frontul de Vest, fiind grav rănit. A fost distins cu Legiunea de Onoare<sup>56</sup>.

În 1922 și-a reluat studiile de fizică și chimie, absolvind în 1926 cu magna cum laude<sup>7</sup>. La Paris a obținut doctoratul la Universitatea Paris - Sorbonne, sub îndrumarea laureatului Nobel, Jean Baptiste Perrin (1870-1942)<sup>8</sup> cu teza „Contribuția la studiul difuziei cuantice a razelor X”

---

<sup>5</sup> Petre T. Frangopol, „Horia Hulubei”, *Revista de Politica Științei și Scientometrie*, Serie Nouă (in Romanian), 1, nr. 3 (2012): 178–83.

<sup>6</sup> Sorin Golea, „VIDEO/Tumultuoasa viață a lui Horia Hulubei, părintele fizicii nucleare românești. A fost pilot de vânătoare, spion, arestat de comuniști, apoi numit director de institut”, *Libertatea*, 27 martie 2018, <https://www.libertatea.ro/stiri/horia-hulubei-parintele-fizicii-nucleare-romanesti-a-luptat-la-marasesti-2193979>.

<sup>7</sup> Frangopol, „Horia Hulubei”.

<sup>8</sup> Bogdan Constantinescu și Roxana Bugoi, „Romanian University Physics Teaching and Research (1860–1940)”, *Science & Education* 7, nr. 3 (1 mai 1998): 307–11, <https://doi.org/10.1023/A:1008657521233>.

(1933) președintele comisiei fiind Marie Curie<sup>9</sup>. Și-a continuat cercetările la Universitatea din Paris, rămânând în contact cu oameni de știință precum Frédéric Joliot-Curie, Paul Langevin și Albert Einstein<sup>10</sup>.

În 1926 a lucrat cu Jean Perrin la construirea unui laborator de raze X la Universitatea Sorbona. În 1928, li s-a alăturat Yvette Cauchois, cu care a examinat radioactivitatea radonului în speranța de a observa dovezi ale prezenței elementului 85<sup>11</sup>.

Între 1927 și 1938 a înființat primul laborator de structură a materiei din România, la Iași<sup>12</sup>.

A fost ales membru corespondent al Academiei Române în 1937, și membru titular în 1946<sup>13</sup>. În 1948 a fost depozat de titlul de academician<sup>14</sup>, acuzat că ar fi sprijinit guvernul român aliat cu Germania în timpul războiului. A fost necesară intervenția laureatului Nobel francez Jean-Frederic Joliot-Curie pentru a se renunța la acuzații<sup>15</sup>, fiind reabilitat în 1955<sup>17</sup>.

Între 1960 și 1970, Hulubei a fost profesor de fizică atomică în cadrul Departamentului de fizică atomică și nucleară a Facultății de Fizică a Universității din București. A fost fondatorul și primul director al Institutului de Fizică Atomică (IFA) din Măgurele în 1949<sup>18</sup>.

---

<sup>9</sup> Agata Olariu, Kristina Stenström, și Ragnar Hellborg, *Proceedings of the International Conference on Applications of High Precision Atomic and Nuclear Methods* (București: Editura Academiei Române, 2005), <https://books.google.ro/books?id=wv4lVJYySiwC>.

<sup>10</sup> Facultatea de Fizică Iași, „Horia Hulubei (1896-1972)”, 2021, <https://www.phys.uaic.ro/index.php/prezentare/personalitati-facultate/horia-hulubei-1896-1972/>.

<sup>11</sup> Eric Scerri, „A Tale of 7 Elements: Element 85—Astatine [Excerpt]”, *Scientific American*, 2013, <https://www.scientificamerican.com/article/a-tale-of-7-elements-astatine-excerpt/>.

<sup>12</sup> Facultatea de Fizică Iași, „Horia Hulubei (1896-1972)”.

<sup>13</sup> Academia Romana, „Academia Romana (membri)”, 2023, <https://acad.ro/bdar/armembriLit.php?vidT=H>.

<sup>14</sup> G. Stratan, „Horia Hulubei, Father Founder of the Institute of Atomic Physics”, 1 iulie 1999, <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20048714>.

<sup>15</sup> Constantinescu și Bugoi, „Romanian University Physics Teaching and Research (1860–1940)”.

<sup>16</sup> Thornton și Burdette, „Finding eka-iodine”.

<sup>17</sup> Dan Berindei, „Academia Română și revoluția din decembrie 1989”, *Memoriile Secției de Științe Istorice* 33, nr. 157 (2008).

<sup>18</sup> Florin-Dorian Buzatu, „Institutul de Fizică Atomică”, 1 mai 2010, [https://web.archive.org/web/20100501083928/http://www.ifa-mg.ro/despre\\_en.php](https://web.archive.org/web/20100501083928/http://www.ifa-mg.ro/despre_en.php).

În prezent Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară din România a fost numit după el, ca „Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei” (IFIN HH)<sup>19</sup>.

## Astatin 85

### Primele încercări de descoperire

Când chimistul rus Dmitri Mendeleev a publicat pentru prima dată tabelul periodic al elementelor în 1869, a lăsat un spațiu gol sub elementul iod. Niels Bohr a desemnat acel spațiu gol drept al cincilea element halogen, ajungându-se la denumirea acestuia ca „eka-iod” („un spațiu sub iod”, în sanscrită)<sup>20</sup>. De atunci, mulți oameni de știință au susținut că sunt primii care au descoperit astatinul - una din cele mai complexe și fascinante istorii privind descoperirea elementelor chimice. Printre aceștia se numără Frederick Loring în 1922,<sup>21,22</sup> Fred Allison în 1931<sup>23,24</sup>, și Rajendralal De în 1937<sup>25</sup>.

### Descoperirea elementului Astatin 85

Atât Horia Hulubei, cât și Yvette Cauchois (1908-1999) au studiat cu Jean Perrin, Hulubei în plus și cu la Marie Curie. Folosind spectroscopia cu raze X, au bombardat radonul cu radiații și au găsit o linie de emisie acolo unde era de așteptat să fie eka-iodul. Au publicat lucrări despre această lucrare în 1936, extinzând lucrarea în 1939, iar un fost student de-al lor a putut a reușit să

---

<sup>19</sup> IFIN-HH, „IFIN-HH Homepage Horia Hulubei National Institute for R&D in Physics and Nuclear Engineering (IFIN-HH)”, 2023, <https://www.nipne.ro/index.php>.

<sup>20</sup> Philip Ball, *The Ingredients: A Guided Tour of the Elements* (Oxford University Press, 2002).

<sup>21</sup> F. H. Loring și J. G. F. Druce, „Eka-caesium and ekaiodine”, *Chem. News J. Ind. Sci.*, nr. 131 (1925): 305.

<sup>22</sup> Keith Simeon Kostecka, „Astatine - The Elusive One”, *Substantia* 4, nr. 1 (13 ianuarie 2020): 63–70, <https://doi.org/10.13128/Substantia-586>.

<sup>23</sup> Scerri, „A Tale of 7 Elements”.

<sup>24</sup> Fred Allison et al., „Evidence of the Detection of Element 85 in Certain Substances”, *Physical Review* 37, nr. 9 (1 mai 1931): 1178–80, <https://doi.org/10.1103/PhysRev.37.1178>.

<sup>25</sup> Allison et al.

reproducă rezultatele<sup>2627</sup>. Hulubei a sugerat numele „dor” sau „dorium”, ca o prescurtare pentru „dor de pace” în limba română<sup>28</sup>. În 1941, Manuel Valadares (1904-1982) a repetat lucrarea lui Hulubei la Universitatea din Lisabona din Portugalia, confirmând prezența eka-iodului<sup>29</sup>.

În cadrul unei conferințe din 1946 de la Nisa, Hulubei a prezentat un rezumat al lucrării sale privind elementul 85<sup>30</sup>.

### Alte încercări de descoperire a astatinului

În 1938, Walter Minder (1905-1992) a fost convins că a descoperit eka-iodul<sup>31</sup>. În 1940, grupul de cercetători de la Universitatea din California, Berkeley, format din Dale R. Corson (1914-2012), Kenneth R. MacKenzie (1912-2002) și Emilio Gino Segrè (1905-1989), a sintetizat elementul <sup>32</sup>, citând lucrările lui Hulubei și Cauchois<sup>33</sup>.

În 1942, Berta Karlik și Gertrud Cless-Bernert au susținut că au găsit singurul izotop natural al elementului 85<sup>3435</sup>.

---

<sup>26</sup> Stratan, „Horia Hulubei, Father Founder of the Institute of Atomic Physics”.

<sup>27</sup> Horia Hulubei și Yvette Cauchois, „Spectres de l'émission propre ondulatoire du radon et de ses dérivés. Raies attribuables a l'élément 85”, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, nr. 209 (1939): 39–42.

<sup>28</sup> Scerri, „A Tale of 7 Elements”.

<sup>29</sup> Marco Valadares, „Gli spettro y and X dei derivati del radon nella regione UX 700 to 1300”, *Atti accad. Italia, Rend. classe sci. fis. mat. nat.*, nr. 7 (1941): 1049–56.

<sup>30</sup> Horia Hulubei, „Sur L'Element 85”, *Bull. Section Scientifique de l'Academie Roumaine*, nr. 27 (1944): 124–34.

<sup>31</sup> Marco Fontani et al., „A feminine task: Karlik's and Bernert's discovery of the last natural occurring element”, *Chimica oggi* 33 (1 noiembrie 2015): 67–70.

<sup>32</sup> D. R. Corson, K. R. MacKenzie, și E. Segrè, „Artificially Radioactive Element 85”, *Physical Review* 58, nr. 8 (15 octombrie 1940): 672–78, <https://doi.org/10.1103/PhysRev.58.672>.

<sup>33</sup> Scerri, „A Tale of 7 Elements”.

<sup>34</sup> Fontani et al., „A feminine task”.

<sup>35</sup> Annette Lykknes și Brigitte Van Tiggelen, *Women In Their Element: Selected Women's Contributions To The Periodic System* (World Scientific, 2019).

### Confirmarea și denumirea astatinului

Tulburările din cel de-al Doilea Război Mondial și întrebarea fundamentală a elementelor artificiale versus naturale, duc la amânarea confirmării descoperirii și numirii elementul 85 până în 1947.

Friedrich Adolph Paneth (1887-1958), un radiochimist austriac și membru al Uniunii Internaționale de Chimie Pură și Aplicată (IUPAC), a contribuit la stabilirea unei noi ordini în nomenclatura chimică. La 4 ianuarie 1947, Paneth a publicat un editorial despre procesul de numire a elementelor noi în *Nature*<sup>36</sup>, în care a descris o procedură pentru a decide numele elementelor în situațiile în care au fost propuse mai multe nume. Ulterior, Friedrich Paneth avea să prezideze comitetul IUPAC responsabil de recunoașterea noilor elemente.

Paneth a insistat ca pentru descoperirea elementului 85 să fie creditat grupul de cercetători de la Berkeley, respectiv cu numele de astatin, din cuvântul grecesc *astatos* pentru ”instabil”<sup>3738</sup>.

Thornton și Bourdette afirmă că negarea lui Paneth a contribuțiilor lui Karlik și Bernert s-ar fi putut datora faptului că ”știa că lui Karlik nu-i plăcea foarte mult politicile de război germane”<sup>39</sup>. Paneth a influențat toate disputele de descoperire ale elementelor, deși unii din cei refuzați inițial de acesta sunt creditați azi ca adevărații descoperitori, precum Georges Urbain și von Welsbach pentru descoperirea elementului 71. În prezent, numele propus de Urbain, de ”lutetium”, este cel adoptat<sup>40</sup>.

---

<sup>36</sup> F. A. Paneth, „The Making of the Missing Chemical Elements\*”, *Nature* 159, nr. 4027 (ianuarie 1947): 8–10, <https://doi.org/10.1038/159008a0>.

<sup>37</sup> D. R. Corson, K. R. Mackenzie, și E. Segrè, „Astatine : The Element of Atomic Number 85”, *Nature* 159, nr. 4027 (ianuarie 1947): 24–24, <https://doi.org/10.1038/159024b0>.

<sup>38</sup> Dale R. Corson, „Astatine”, *Chemical & Engineering News Archive* 81, nr. 36 (8 septembrie 2003): 158, <https://doi.org/10.1021/cen-v081n036.p158>.

<sup>39</sup> Thornton și Burdette, „Finding eka-iodine”.

<sup>40</sup> Thornton și Burdette.

De remarcat că Paneth nu a făcut inițial nicio remarcă despre studiile lui Hulubei și Cauchois<sup>41</sup>. Paneth a afirmat că ceea ce el a numit „pretenții anterioare”, fără a numi niciun cercetător anume, au fost infirmate de munca lui Karlik și Bernert. Această ”declarație a fost destul de crucială, deoarece a servit la discreditarea lucrării lui Hulubei și Cauchois, chiar dacă Karlik și Bernert nu au abordat de fapt aceste afirmații, în timp ce declarația lui Paneth a sugerat că au făcut-o”<sup>42</sup>.

Karlik, conform lui Paneth, ar fi considerat că dimensiunea eșantionului lui Hulubei și Cauchois era prea mică și că au existat interferențe din partea altor elemente, deși lucrarea lui Hulubei și Cauchois nu fusese respinsă. Paneth a remarcat ulterior că lucrările lui Hulubei și Cauchois nu aveau mijloace suficiente pentru a caracteriza descoperirea elementului 85, și a primit doar confirmare experimentală prin Valadares în Italia<sup>43</sup>.

Hulubei a replicat la editorialul lui Paneth atribuind omisiunea lui Paneth dificultăților de comunicare din timpul războiului. El a negat că Karlik și Bernert au respins cercetările sale asupra elementului 85, „contrar a ceea ce s-ar crede după ce a citit expunerea domnului Paneth”<sup>44</sup>. La prezentarea sa din 1946 a adăugat un scurt apendice înainte de publicare, în care a atribuit omisiunea de către Paneth a lucrării sale cu raze X pe elementul 85 ”dificultăților cauzate de război, o declarație diplomatică, deoarece atât Karlik, cât și cercetătorii din Berkeley au citat pe Hulubei și Cauchois<sup>45</sup>. ”Hulubei și Cauchois păreau să fi fost neglijați pe nedrept, deoarece Karlik nu a

---

<sup>41</sup> T. R. Appleton, „85. Astatine: Pathological Science | The Episodic Table of Elements”, 2 august 2021, <https://episodictable.com/astatine/>.

<sup>42</sup> Scerri, „A Tale of 7 Elements”.

<sup>43</sup> Kostecka, „Astatine - The Elusive One”.

<sup>44</sup> Scerri, „A Tale of 7 Elements”.

<sup>45</sup> Horia Hulubei, „Etat Actuel des Informations Sur Les Isotopes de Numero Atomique 85”, *J. Chim. Phys. Phys.-Chim. Biol*, nr. 44 (1947): 225–29.

efectuat nici un studiu cu raze X, dar formularea lui Paneth și lipsa citărilor au făcut să pară că munca lui Hulubei și Cauchois a fost definitiv eronată<sup>46</sup>.”

Thornton și Burdette afirmă că, ”spre deosebire de alte studii eronate cu spectroscopie cu raze X, Hulubei și Cauchois au avut indiscutabil elementul 85 în probele lor. Singura incertitudine este dacă instrumentul lor a fost suficient de sensibil pentru a distinge liniile spectrale ale elementului 85. Un argument suplimentar este că, în anii 1930, Hulubei și Cauchois au fost capabili să detecteze clar linia  $L\alpha$  pentru elementul poloniu, care are o intensitate de tranziție de 500 de ori mai mică decât liniile pe care susțineau că le-au văzut în cazul elementului 85<sup>47,48</sup>.”

Scerri afirmă că Horia Hulubei ar fi putut foarte bine să fi fost considerat descoperitorul astatinului, ”așa cum a fost numit mai târziu de către fizicienii care au sintetizat elementul în mod artificial. Acești fizicieni sunt, în general, de acord cu descoperirea elementului de către Horia Hilubei<sup>49</sup>.”

### Concluzie

Corson, MacKenzie și Segre au reușit să sintetizeze astatinul în 1940 și să efectueze teste chimice asupra elementului, lucru pe care Hulubei și Cauchois nu l-au putut pretinde. Hulubei a recunoscut această deficiență în munca sa, ceea ce explică probabil lipsa sa de proteste semnificative după 1947. Dar, spre deosebire de alte studii eronate, Hulubei și Cauchois au avut indiscutabil astatin în probele lor. ”De-a lungul istoriei, singura constantă pentru a fi creditat cu descoperirea elementelor a fost capacitatea de a-ți convinge colegii științifici de succesul tău. În unele epoci, munca lui Hulubei și Cauchois ar fi putut fi acceptată, dar la momentul în care și-au

---

<sup>46</sup> Thornton și Burdette, „Finding eka-iodine”.

<sup>47</sup> Thornton și Burdette.

<sup>48</sup> Scerri, „A Tale of 7 Elements”, 7.

<sup>49</sup> Scerri, 7.

raportat datele, metodele lor nu erau acceptate pe scară largă. Convingerea colegilor științifici de validitatea unui experiment este adesea mai ușor cu un om de știință influent ca avocat<sup>50</sup>.” Din păcate laureatul Jean Baptiste Perrin, susținătorul descoperirii elementului 85 de Horia Hulubei, murise în 1942.

Lucrările despre elementul 85 publicate în alte limbi decât engleza, și traducerea greșită în engleză de către recenzori a unora dintre aceste articole, a condus la o slabă diseminare a cercetărilor respective<sup>51</sup>. În majoritatea surselor în limba engleză, Corson, Segre și MacKenzie sunt creditați exclusiv ca descoperitorii astatinului. Textele în limba germană o menționează și pe Karlik, iar autorii din Franța și din Europa de Est recunosc adesea contribuțiile lui Hulubei și Cauchois la descoperirea elementului 85<sup>52</sup>.

Povestea astatinului a arătat că prejudecățile naționaliste au influențat puternic creditarea pentru descoperirea și confirmarea acestui element al tabelului periodic.

### Bibliografie

- Academia Romana. „Academia Romana (membri)”, 2023. <https://acad.ro/bdar/armembriLit.php?vidT=H>.
- Allison, Fred, Edgar J. Murphy, Edna R. Bishop, și Anna L. Sommer. „Evidence of the Detection of Element 85 in Certain Substances”. *Physical Review* 37, nr. 9 (1 mai 1931): 1178–80. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.37.1178>.
- Appleton, T. R. „85. Astatine: Pathological Science | The Episodic Table of Elements”, 2 august 2021. <https://episodictable.com/astatine/>.
- Ball, Philip. *The Ingredients: A Guided Tour of the Elements*. Oxford University Press, 2002.
- Berindei, Dan. „Academia Română și revoluția din decembrie 1989”. *Memoriile Secției de Științe Istorice* 33, nr. 157 (2008).
- Buzatu, Florin-Dorian. „Institutul de Fizica Atomica”, 1 mai 2010. [https://web.archive.org/web/20100501083928/http://www.ifa-mg.ro/despre\\_en.php](https://web.archive.org/web/20100501083928/http://www.ifa-mg.ro/despre_en.php).
- Constantinescu, Bogdan, și Roxana Bugoi. „Romanian University Physics Teaching and Research (1860–1940)”. *Science & Education* 7, nr. 3 (1 mai 1998): 307–11. <https://doi.org/10.1023/A:1008657521233>.

<sup>50</sup> Thornton și Burdette, „Finding eka-iodine”.

<sup>51</sup> V. D. Nefedov et al., „Astatine”, *Russian Chemical Reviews* 37, nr. 2 (28 februarie 1968): 87, <https://doi.org/10.1070/RC1968v037n02ABEH001603>.

<sup>52</sup> Thornton și Burdette, „Finding eka-iodine”.

- Corson, D. R., K. R. MacKenzie, și E. Segrè. „Artificially Radioactive Element 85”. *Physical Review* 58, nr. 8 (15 octombrie 1940): 672–78. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.58.672>.
- Corson, D. R., K. R. Mackenzie, și E. Segrè. „Astatine: The Element of Atomic Number 85”. *Nature* 159, nr. 4027 (ianuarie 1947): 24–24. <https://doi.org/10.1038/159024b0>.
- Corson, Dale R. „Astatine”. *Chemical & Engineering News Archive* 81, nr. 36 (8 septembrie 2003): 158. <https://doi.org/10.1021/cen-v081n036.p158>.
- Facultatea de Fizica Iași. „Horia Hulubei (1896-1972)”, 2021. <https://www.phys.uaic.ro/index.php/prezentare/personalitati-facultate/horia-hulubei-1896-1972/>.
- Fontani, Marco, Mary Orna, Silvia Selleri, și Cecilia Bartoli. „A feminine task: Karlik’s and Bernert’s discovery of the last natural occurring element”. *Chimica oggi* 33 (1 noiembrie 2015): 67–70.
- Frangopol, Petre T. „Horia Hulubei”. *Revista de Politica Științei și Scientometrie*, Serie Nouă (in Romanian), 1, nr. 3 (2012): 178–83.
- Golea, Sorin. „VIDEO/Tumultuoasa viață a lui Horia Hulubei, părintele fizicii nucleare românești. A fost pilot de vânătoare, spion, arestat de comuniști, apoi numit director de institut”. *Libertatea*, 27 martie 2018. <https://www.libertatea.ro/stiri/horia-hulubei-parintele-fizicii-nucleare-romanesti-a-luptat-la-marasesti-2193979>.
- Hulubei, Horia. „Etat Actuel des Informations Sur Les Isotopes de Numero Atomique 85”. *J. Chim. Phys. Phys.-Chim. Biol*, nr. 44 (1947): 225–29.
- . „Sur L’Element 85”. *Bull. Section Scientifique de l’Academie Roumaine*, nr. 27 (1944): 124–34.
- Hulubei, Horia, și Yvette Cauchois. „Spectres de l’émission propre ondulatoire du radon et de ses dérivés. Raies attribuables a l’élément 85”. *Comptes rendus de l’Académie des Sciences*, nr. 209 (1939): 39–42.
- IFIN-HH. „IFIN-HH Homepage Horia Hulubei National Institute for R&D in Physics and Nuclear Engineering (IFIN-HH)”, 2023. <https://www.nipne.ro/index.php>.
- Kostecka, Keith Simeon. „Astatine - The Elusive One”. *Substantia* 4, nr. 1 (13 ianuarie 2020): 63–70. <https://doi.org/10.13128/Substantia-586>.
- Loring, F. H., și J. G. F. Druce. „Eka-cesium and ekaiodine”. *Chem. News J. Ind. Sci*, nr. 131 (1925): 305.
- Lykknes, Annette, și Brigitte Van Tiggelen. *Women In Their Element: Selected Women’s Contributions To The Periodic System*. World Scientific, 2019.
- Moseley, H.G.J. „LXXX. The high-frequency spectra of the elements. Part II”. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 27, nr. 160 (1 aprilie 1914): 703–13. <https://doi.org/10.1080/14786440408635141>.
- . „XCIII. The high-frequency spectra of the elements”. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 26, nr. 156 (1 decembrie 1913): 1024–34. <https://doi.org/10.1080/14786441308635052>.
- Nefedov, V. D., Yu V. Norseev, M. A. Toropova, și Vladimir A. Khalkin. „Astatine”. *Russian Chemical Reviews* 37, nr. 2 (28 februarie 1968): 87. <https://doi.org/10.1070/RC1968v037n02ABEH001603>.
- Olariu, Agata, Kristina Stenström, și Ragnar Hellborg. *Proceedings of the International Conference on Applications of High Precision Atomic and Nuclear Methods*. București: Editura Academiei Române, 2005. <https://books.google.ro/books?id=ww4lVJYySiwC>.

- Paneth, F. A. „The Making of the Missing Chemical Elements\*”. *Nature* 159, nr. 4027 (ianuarie 1947): 8–10. <https://doi.org/10.1038/159008a0>.
- Scerri, Eric. „A Tale of 7 Elements: Element 85—Astatine [Excerpt]”. *Scientific American*, 2013. <https://www.scientificamerican.com/article/a-tale-of-7-elements-astatine-excerpt/>.
- Stratan, G. „Horia Hulubei, Father Founder of the Institute of Atomic Physics”, 1 iulie 1999. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20048714>.
- Thornton, B., și S. Burdette. „Finding eka-iodine: discovery priority in modern times”, 2010. <https://www.semanticscholar.org/paper/Finding-eka-iodine%3A-discovery-priority-in-modern-Thornton-Burdette/e8b8f49b2d5b1d38211a502d7026fa7d2adfa126>.
- Valadares, Marco. „Gli spettro y and X dei derivati del radon nella regione UX 700 to 1300”. *Atti accad. Italia, Rend. classe sci. fis. mat. nat.*, nr. 7 (1941): 1049–56.