

DE LA MICROSCOPUL OPTIC LA MICROSCOPUL DE FORȚĂ ATOMICĂ

Stelian BĂRĂITĂREANU¹

doruvet@yahoo.com

ABSTRACT: Today the optical microscope is indispensable in educational process and the electronic or atomic force microscopes are important tools for hi-tech research institutions. However, the first use of the lens has a bit of mystery. The first milestone in microscopy evolution is ancient history of crystal lenses. The second milestone is the optical microscopy period, which has several famous personalities: G. Galilei, R.Hooke, van Leeuwenhoek, J. J. Lister, E. Abbe, R. Zsigmondy, F. Zernike, and M.Minsky. The third milestone is electronic microscopy (EM). L. de Broglie, C. J. Davisson, L. H. Germer, G. P. Thomson, E.Ruska, and M. Knöll played a crucial role in development of ME. The study is ended by scanning probe microscopy. It is presented the most important scanning probe microscopy: scanning tunnelling microscope, near-field scanning optical microscopy and atomic force microscopy.

KEYWORDS: history microscopy, magnifying glasses, electron microscopy, scanning probe microscopy

Începuturile microscopiei

Istoria utilizării lentilelor optice se pierde undeva în ruinele anticei cetăți asiriene Nimrud, locul unde s-au descoperit cele mai vechi lentile confecționate din cristal șlefuit (D.Whitehouse, 1999). Utilizarea lentilelor este descrisă și în hieroglifele Egiptului antic încă din secolul 6 i.h. (M. Bozgan, 2009). Într-o peșteră sacră de pe muntele Ida din Creta au fost găsite lentile ce au fost datate secolul 5 i.h.; acestea

¹ Dr., Medic veterinar, Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară, București; membru al Diviziei de Istoria Științei a CRIFST al Academiei Române

sunt mai puternice și au o calitate mai bună decât lentilele Nimrud (T. Kriss și V.M. Kriss, 1998).

Filozoful grec Aristophanes (448 – 380 i.h.) aminește în comedia sa „Norii” (424 i.h.) despre lupele din sticlă. Acestea erau utilizate la focalizarea luminii soarelui în vederea aprinderii materialelor combustibile, tehnică ce era cunoscută și vikingilor (O. Graydon, 1998).

Plinius cel Bătrân (23–79 d.h.) și Seneca (4 i.h. – 65 d.h.) amintesc în scrierile lor de un gravor din Pompei care utiliza o lentilă, iar Seneca utiliza pentru citit un glob de sticlă umplut cu apă. Împăratul Nero se folosea de un smarald ca și lentilă corectoare pentru a urmării spectacolele de gladiatori (T. Kriss și V.M. Kriss, 1998; M.Bozgan, 2009).

Cu toate acestea, primele lentile utilizate cert în suplinirea deficiențelor de vedere apar mult mai târziu, ele fiind denumite „pietre pentru citit”. Inventatorul acestor pietre nu este cert, dar se cunoaște că Abbas Ibn Firnas (810 – 887 d.h.) șlefuaia asemenea pietre (T.W. Lynn, 1961), iar călugării presbiopici foloseau la citit bucăți sferice de sticlă (R. Power, 2008). Călugării și-au pus bazele acestei invenții pe teoria matematicianului arab Alhazen (965–1039 d.h.), autorul primului tratat de optică, care abordează și noțiuni privind rolul cristalinului ochiului în formarea imaginilor pe retină (R. Power, 2008).

Lentilele au început să se răspândească abia după inventarea ochelarilor, probabil în Italia, la sfârșitul secolului al XIII-lea. Ca inventator al ochelarilor este creditat italianul Salvino D'Armate din Florența (1258–1312); se pare că acesta i-a produs în anul 1284. Venețienii erau celebri în acea perioadă pentru artizanatul din sticlă, iar odată cu deprinderea științei fabricării lentilelor au început să producă lupe și monocluri.

Odată cu răspândirea artei confecționării lentilelor nu a mai fost decât un pas până la inventarea microscopului.

Microscopia optică sau fonică

Cel mai probabil microscopia optică ia naștere în anii 1590. Perioadă în care doi producători olandezi de ochelari, Sacharias Janssen (1580–1638) și tatăl său Hans Janssen încep să facă experimente cu mai multe lentile introduse într-un tub. Aceste tuburi sunt considerate precursorile microscopului compus de transmisie și telescopului (T. C. Kriss și V. M. Kriss, 1998). Microscopul compus inventat de Sacharias Janssen în 1595 avea ca ocular o lentilă bi-convexă (bombat

spre exterior pe ambele părți), iar lentila obiectiv era plan-convexă (plată spre interior/bombată spre exterior). Acest microscop avea o putere de mărire de 3–9 ori. Cel mai probabil Hans Janssen la ajutat pe fiul său Sacharias cu construirea microscopului (Zoom Inventors and Inventions, 2010). Nici un exemplar din cele construite de cei doi olandezi nu a supraviețuit, dar o copie ce a aparținut Arhiducelui Albert de Austria a ajuns în posesia inventatorului olandez Cornelius Drebbel (1572–1633), care l-a descris.

În 1610 Galileo Galilei utilizează telescopul ca un microscop pentru a mării părți ale insectelor (S. Drake, 1978), iar în 1624 realizează un microscop cu ajutorul căruia Francesco Stelluti (1577–1652) studiază și publică în 1625 o lucrare ce conține ilustrații cu insecte. Această lucrare pare a fi prima la realizarea căreia s-a utilizat un microscop (S. Drake, 1978). Pentru rolul jucat în acele vremuri Galilei poate fi considerat unul din părinții microscopiei.

Termenul de „microscop” este atribuit lui Giovanni Faber (1574–1629), prieten și coleg cu Galileo la Academia din Lincei, care l-a folosit pentru a denumi invenția celui din urmă. Acest termen este format din cuvintele grecești *μικρόν* (*micron*) care înseamnă „mic” și *σκοπεῖν* (*skopein*) care înseamnă „a privi”, „a vedea”. În realizarea lui s-a ținut cont de alt termen, deja uzitat, „telescop” (grecescul *tele* = „departe” și *skopein* = „a privi”, „a vedea”), care a fost introdus în 1611 de matematicianul grec Demisianus, tot pentru un instrument inventat de Galileo Galilei (Van Helden, 2003).

În 1665 fizicianul englez Robert Hooke (1635–1703), cercetând cu ajutorul unor lentile microscopice secțiuni de plută, nota că în acestea sunt prezenți niște „pori” sau „celule”. Cercetările sale sunt sintetizate în *Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses: with observations and inquiries thereupon* apărută la Londra în anul 1667. Hooke realizează primul microscop compus de interes practic în anul 1675, devenind pionierul observațiilor microscopice de precizie (A. Buzatu, 2009).

În anul 1674 Antonie Philips van Leeuwenhoek (1632–1723), comerciant și om de știință olandez, construiește un microscop simplu cu o singură lentilă (A.S. Payne, 1970). Microscopul lui Anton van Leeuwenhoek avea o lentilă mică, aproape sferică, montată între plăci metalice și un sistem ingenios de focalizare și rotație. Pentru acea perioadă, o astfel de lentilă, destul de greu de produs, avea o putere

de mărire considerabilă (de până la 270 ori). Cu ajutorul acestui microscop van Leeuwenhoek examinează sânge, drojdii, insecte și numeroase obiecte fine. Este prima persoană ce descrie bacteriile și inventează noi metode de polizare și șlefuire a lentilelor. Totuși, van Leeuwenhoek nu este creditat ca inventator al microscopul.

În secolul XVIII inovațiile tehnice au dus la creșterea performanțelor microscopelor optice. Se observă că lentilele care combină două tipuri de sticlă au efectul cromatic redus (deformare optică a imaginii manifestată prin formarea unui spectru de imagini colorate în locul unei singure imagini). În 1830 Joseph Jackson Lister (1786–1869) reduce aberația sferică sau efectul cromatic, arătând că mai multe lentile slabe utilizate împreună, la anumite distanțe, oferă o mărire mult mai bună, fără estomparea imaginii. El construiește un astfel de dispozitiv care va fi prototipul adevăratului microscop compus (C.T.Kriss, V.M.Kriss; 1998).

În 1872 Ernst Abbe (1840–1905) propune o formulă matematică denumită „Condiția de sinus a lui Abbe”, cu ajutorul căreia se putea obține, în cifre, rezoluția maximă posibilă a microscopului optic. El afirmă că puterea separatoare a instrumentelor optice este invers proporțională cu lungimea de undă a radiației utilizate, iar microscopul optic nu vor putea da imagini clare ale unor obiecte cu dimensiuni mai mici de 0,15 μm (A.Sella, 2008).

În 1903 Richard Zsigmondy (1865–1929) inventează ultramicroscopul, instrument cu ajutorul căruia se pot studia obiecte extrem de mici. La acesta iluminarea obiectelor se face în direcție perpendiculară direcției axei optice a instrumentului. Ultramicroscopul este utilizat în studierea mișcării browniene sau în măsurarea gradului de încărcare electrică a electronilor. (R. Zsigmondy, 1925). Pentru cercetările sale Zsigmondy a câștigat premiul Nobel în Chimie în 1925.

În 1932 Frits Zernike (1888–1966) inventează microscopul cu contrast de fază. La acesta imaginea este formată pe baza diferenței de fază indusă luminii care traversează medii optice diferite din preparatul microscopic (F.Zernike, 1955). Acest microscop a permis studierea materialelor biologice incolore sau transparente, fiind astfel posibilă analizarea a numeroase caractere morfologice și explicarea unor fenomene fiziologice la organele microscopice. Pentru acest tip de microscop el primește premiul Nobel în fizică în 1953.

Microscopia de fluorescență sau cu epifluorescență este o tehnică de microscopie optică destinată studierii proprietăților substanțelor organice sau anorganice pe baza fenomenului de fluorescență sau fosforescență în loc de, sau suplimentar, reflecției și absorbției (K.R. Spring, 2008). Această microscopie necesită markeri speciali (fluorescenți), iar preparatul este iluminat în UV și emite lumina în domeniul vizibil. Printre primii cercetători ce au studiat fluorescența se înscriu Wilhelm Conrad Roentgen (1845–1923) (W.C.Röntgen, 1901) și Alexander Edmond Becquerel (1820–1891) (The Columbia Encyclopedia, 2008).

Datele furnizate de European Patent Office afirmă că cel mai vechi brevet de invenție al unui sistem de iluminare fluorescent pentru un microscop cu lumină incidentă aparține lui Winfried Kraft care produce pentru Ernst Leitz GmbH un asemenea dispozitiv (European Patent Office, 2010).

Un alt tip de microscopie optică este cea de baleiaj cu fasciculul laser. Această microscopie are două ramuri principale: microscopia confocală și microscopia în câmp apropiat.

Se consideră că microscopia confocală este una din cele mai importante descoperiri în domeniul microscopiei optice. Principiul microscopiei confocale a fost patentat de Marvin Minsky în 1957. Comparativ cu microscopia clasică, microscopia confocală permite controlarea adâncimii câmpului, elimină sau reduce informația de fundal a planului focal (se obține o claritate mai bună a imaginii), și are capacitatea de a colecta secțiuni optice seriale din grosimea probelor de cercetat.

Microscopia electronică

Oportunitatea dezvoltării unor microscopice electronice se naște în 1924, odată cu emiterea, de către fizicianului francez Louis de Broglie (1892–1987), a teoriei că „orice particulă în mișcare are o undă asociată”. Astfel se pun bazele unui nou domeniu al fizicii: mecanica undelor. Datorită lungimi de undă mai scurte a electronilor, microscopul electronic furnizează o rezoluție mult mai bună decât cele optice sau fotonice (L. de Broglie, 1929). În 1927, ipoteza lui de Broglie este verificată experimental de către fizicienii americani Clinton J. Davisson (1881 – February 1, 1958) și Lester H. Germer (1896–1971) și independent de către fizicianul englez George Paget Thomson (1892–1975) (C. Davisson, 1937; G.P. Thomson, 1937). Pentru cercetările

privind mecanica undelor de Broglie primește în 1929 Premiul Nobel în Fizică, iar Davisson și Thomson primesc în 1937 același premiu, pentru descoperirea difracției electronilor.

Ernst Ruska (1906–1988) cercetează în perioada 1927–1931, la Universitatea Tehnică Berlin, și descoperă că microscopul cu electroni, cu lungimi de undă de 1000 de ori mai mici decât cele din spectrul luminii vizibile, pot furniza imagini mai detaliate ale unui obiect decât microscopul cu lumină. În 1931, Ruska reușește să construiască prima lentilă electronică, iar prin folosirea în serie a mai multor asemenea lentile Ernst Ruska și Max Knoll (1897–1969) construiesc în 1933 primul microscop electronic (E. Ruska, 1986).

Cu toate că, din punct de vedere constructiv, microscopul electronic este mai complex decât cel optic, părțile principale ale microscopului electronic îndeplinesc aceleași funcții ca și lentilele microscopului optic (E. Ruska, 1986)

Reinhold Rüdenberg (1883–1961), directorul de cercetări al companiei Siemens, a patentat pentru această companie în 1931 lentilele electrostatice și principiile de bază ale microscopului electronic (T. Mulvey, 1962).

În 1937 Siemens a început să-i finanțeze pe Ruska și Bodo von Borries (1905–1956) pentru dezvoltarea de microscop electronice; până în 1945 cei doi sunt implicați în producerea a circa 35 modele diferite de microscop electronice de cercetare (E. Ruska 1986; D.H. Kruger et al. 2000).

În 1938 Manfred von Ardenne (1907–1997) construiește microscopul electronic de transmisie cu baleiaj sau Scanning TEM (STEM) și ulterior un microscop electronic universal (M von Ardenne and D Beischer, 1940). STEM este un tip de microscop de transmisie în care un fascicul foarte subțire de electroni baleiază proba de cercetat, iar imaginea este formată cu ajutorul electronilor împrăștiați la unghiuri mari. Acest sistem a fost îmbunătățit progresiv, rezoluția crescând de la 50 nm, în 1942 la 0,79 Å la microscopul actual. Acest tip de microscop electronic este potrivit pentru analiza chimică a probei întrucât fasciculul incident, în urma interacției cu proba, generează radiații X și o sumă de alte semnale (electroni retroîmprăștiați, catodoluminiscentă și electroni Auger) care pot fi colectate și analizate. Un asemenea microscop permite, în principiu, analiza unui singur atom sau a unei coloane de atomi din materialul de analizat.

Microscopie cu sondă locală

Microscopul electronic de baleiaj cu efect tunel (STM), microscopul optic de de baleiaj în câmp apropiat (SNOM) și microscopul de forță atomică (AFM) sunt cunoscute sub denumire generală de microscopie cu sondă locală. Un microscop cu sondă de scanare folosește o sondă cu vârful extrem de fin (uneori terminându-se în doar câțiva atomi), care trece peste o suprafață atingându-i contururile și formele.

Microscopul optic de baleiaj în câmp apropiat (SNOM)

Microscopia în câmp apropiat este o tehnică a microscopiei optice destinată investigațiilor nanostructurale, care are la bază proprietățile undelor evanescente, a căror existență a fost demonstrată de matematicianul francez Augustin Louis Cauchy (1789–1857) (unde evanescente ale unui corp au o lungime de undă foarte mică și de obicei nu părăsesc suprafața corpurilor; datorită acestei lungimii de undă mici ele conțin informația cea mai detaliată despre corp). Ideea construirii microscopului SNOM s-a emis în 1928 și aparține lui E.H. Syngé (E.H. Syngé, 1928). În acest tip de microscopie distanța dintre preparat și obiectiv este mai mică decât lungimea de undă a radiației laser utilizate. Prin această metodă nu mai apar artefacte de difracție și este posibilă obținerea unor rezoluții la nivel molecular. În particular, rezoluția laterală este de 20 nm și cea verticală de 2–5 nm (Y. Oshikane et al., 2007).

Microscopul electronic de baleiaj cu efect tunel (STM)

În 1981 Gerd Binnig (1947-) și Heinrich Rohrer (1933-) inventează la IBM Zurich Research Laboratory microscopul electronic de baleiaj cu efect tunel (STM). Originea STM-ului se pare că este în profilometrul non-contact sau topografierul conceput încă din 1971 de Russell Young (Young R. et al, 1972). STM permite furnizarea unor imagini tridimensionale ale suprafețelor până la nivel atomic. STM-ul le aduce celor doi premiul Nobel în fizică în anul 1986 (G. Binnig, 1986; H. Rohrer, 1986). Utilizând acest microscop, Binnig devine prima persoană care observă un virus ieșind dintr-o celulă vie. Importanța deosebită a STM-ului rezidă din multiplele sale aplicații în cercetarea fundamentală a fenomenelor fizice, chimice, biologice precum și pentru cercetarea aplicată în fizica semiconductorilor, microelectronică, metalurgie și bioinginerie (G. Binnig, 1986; H. Rohrer, 1986).

În 1988 Tomita Eisuke, Sakuhara Toshihiko și Itaya Kingo brevetează microscopul electronic de *baleiaj* cu efect tunel electrochimic. Prin acest tip de microscopie cei trei inventatori propun detectarea atât a reacției electrochimice cât și a curentului care trece între suprafață și electrod fără barieră de potențial (*curent tunnel*).

Microscopul cu forță atomică (AFM)

În 1986 același Gerd Binnig, laureatul cu premiului Nobel pentru STM, alături de Christoph Gerber de la IBM Zurich și Calvin Quate de la Universitatea Stanford California produc prototipul unui nou tip de scanner, microscopul cu forță atomică (AFM), dând astfel naștere unei noi ramuri a microscopiei. Cu ajutorul AFM a fost posibilă, pentru prima dată, vizualizarea materiilor care nu sunt bune conductoare de electricitate. Față de alte sisteme de microscopie, AFM face posibilă vizualizarea imaginilor cu un contrast topografic foarte bun și măsurarea precisă a suprafețelor. Imaginile tridimensionale în AFM sunt obținute fără o preparare costisitoare a probelor ce urmează a fi studiate și oferă informații mult mai complete decât pozele bidimensionale obținute din probele tăiate transversal.

În 1988 Alfred Cerezo, Terence Godfrey și George Smith aplică un sensor de detecție a poziției la un microscop cu forță atomică, făcând astfel posibilă vizualizarea 3D la nivel atomic. În 1991 M. Nonnenmacher propune o nouă variantă a microscopului cu forță atomică, denumit KPFM (Kelvin probe force microscope) sau microscopul de potențial de suprafață. Acesta permite nu doar obținerea de imagini topografice, ci și de imagini ale potențialului (M. Nonnenmacher et al., 1991).

Pentru a îmbunătăți performanțele AFM acesta a fost combinat cu alte tipuri de microscopie cum sunt STM, SNOM și MFM.

Bibliografie

- [1] Bozgan M. *Istoria Ochelarilor*, în Revista. Istorie și Civilizație, Nr. 2, Noiembrie 2009, p. 62., <http://www.isciv.ro/revista/arhiva/67-istoria-ochelarilor.html>.
- [2] Buzatu A. Robert Hooke, părintele microscopiei: cartea *Micrographia* (1665)” www.StiintaAzi.ro. Actualizat 10 August 2009. Accesat 13 iunie 2010.
- [3] Davisson C. Nobel Lecture”. Nobelprize.org. http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1937/davisson-lecture.html. Accesat 17 iunie 2010
- [4] de Broglie L. Nobel Lecture”. Nobelprize.org. http://nobelprize.org/nobel_

- prizes/ physics/ laureates/ 1929/ broglie- lecture.html. Accesat 17 iunie 2010
- [5] Drake S (1978). *Galileo At Work*. Chicago: University of Chicago Press. pp. 163–286.
- [6] Graydon O. Medieval lenses exhibit modern performances. Featured in *Opto & Laser Europe*, Issue 56. November 1998. <http://www.frojel.com/Documents/Document03.html>
- [7] Kriss, TC.; Kriss VM (1998), „History of the Operating Microscope: From Magnifying Glass to Microneurosurgery”, *Neurosurgery* 42 (4): 899–907,
- [8] Kruger DH, P Schneck and HR Gelderblom (2000). Helmut Ruska and the visualisation of viruses. *The Lancet* 355 (9216): 1713–1717.
- [9] Lynn TW, Jr. (1961). Eilmer of Malmesbury, an Eleventh Century Aviator: A Case Study of Technological Innovation, Its Context and Tradition, *Technology and Culture* 2 (2), p. 97–111
- [10] Nonnenmacher M., M. P. O’Boyle and H. K. Wickramasinghe (1991) Kelvin probe force microscopy, *Appl. Phys. Lett.* 58, 2921
- [11] Mulvey T. (1962) Origins and Historical Development of the Electron Microscope, *Br. J. Appl. Phys.* 13: 197
- [12] Oshikane Y. et al. (2007). Observation of nanostructure by scanning near-field optical microscope with small sphere probe. *Sci. Technol. Adv. Mater.* 8: 181.
- [13] Payne AS. (1970) *The Cleere Observer: A biography of Antoni van Leeuwenhoek*, Macmillan, London,
- [14] Power R (1999), „Best Idea; Eyes Wide Open”, *New York Times*
- [15] Zsigmondy R. (1925) Biography. [nobelprize.org](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1925/zsigmondy-bio.html). [http:// nobelprize. org /nobel_ prizes/ chemistry/ laureates/ 1925/ zsigmondy-bio. html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1925/zsigmondy-bio.html). Accesat 16 iunie 2010
- [16] Ruska E. (1986) Nobel Lecture. [nobelprize.org](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/ruska-lecture.html). [http://nobelprize.org/nobel_ prizes/physics/laureates/1986/ ruska-lecture. html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/ruska-lecture.html). Accesat 17 iunie 2010
- [17] Sella, A. (2008). Abbé’s refractometer. *Chemistry World*: 67. [http:// www. rsc. org/ chemistryworld/ Issues/2008/ November/ AbbesRefractometer.asp](http://www.rsc.org/chemistryworld/Issues/2008/November/AbbesRefractometer.asp).
- [18] Spring KR, Davidson MW. (2008) Introduction to Fluorescence Microscopy”. *Nikon MicroscopyU*. [http:// www. microscopyu. com/articles/fluorescence/ fluorescenceintro. html](http://www.microscopyu.com/articles/fluorescence/fluorescenceintro.html).
- [19] Syngé E.H. (1928). A suggested method for extending the microscopic resolution into the ultramicroscopic region. *Phil. Mag.* 6: 356.
- [20] Thomson G.P. (1937) Nobel Lecture. [nobelprize.org](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1937/thomson-lecture.html). http:// nobelprize.org/ nobel_ prizes/ physics/ laureates/ 1937/thomson-lecture.html. Accesat 17 iunie 2010
- [21] Van Helden, Al. *Galileo Timeline* (2003), The Galileo Project. Accesat 13 iunie 2010
- [22] von Ardenne M and D Beischer (1940). „Untersuchung von metalloxidrauchen mit dem universal-elektronenmikroskop” (in German). *Zeitschrift Electrochemie* 46: 270–277.
- [23] Whitehouse D. (1999) World’s oldest telescope?. in *BBC News, Sci/Tech*. [http:// news.bbc.co.uk /2/hi/science/ nature/ 380186. stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/380186.stm). Accesat 17 iunie 2010.
- [24] Young R., J. Ward, and F. Scire (1972) The Topografiner: An Instrument for Measuring Surface Microtopography, *Rev. Sci. Instrum.* 43, 999–1011

- [25] Zernike, F. (1955) How I discovered phase contrast., *Science*: 121, 345–349 .
- [26] Röntgen WC. Biography. Nobelprize.org. 8 Jun 2010 [http:// nobelprize.org / nobel_ prizes / physics/ laureates/ 1901/ rontgen. html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1901/rontgen.html)
- [27] Binnig G. Nobel Lecture?. Nobelprize.org. 17 Jun 2010 [http://nobelprize.org/ nobel_ prizes/ physics/laureates/1986/binnig-lecture.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/binnig-lecture.html). Accesat 17 iunie 2010
- [28] Rohrer H. (1986) Nobel Lecture. Nobelprize.org. 17 Jun 2010 [http:// nobelprize. org / nobel_ prizes / physics/laureates / 1986/ rohrer- lecture. html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/rohrer-lecture.html). Accesat 17 iunie 2010.
- [29] *** European Patent Office. <http://ep.espacenet.com/> Accesat 17 iunie 2010.
- [30] *** The Columbia Encyclopedia. Becquerel., Sixth Edition. 2008. Encyclopedia. com. (June 8, 2010). [http:// www . encyclopedia. com/doc/1E1-Becquere.html](http://www.encyclopedia.com/doc/1E1-Becquere.html)
- [31] *** Zoom Inventors and Inventions. Inventors and Inventions from the 1500's – the Sixteenth Century. [http:// www. enchantedlearning. com/inventors/1500. shtml](http://www.enchantedlearning.com/inventors/1500.shtml)