

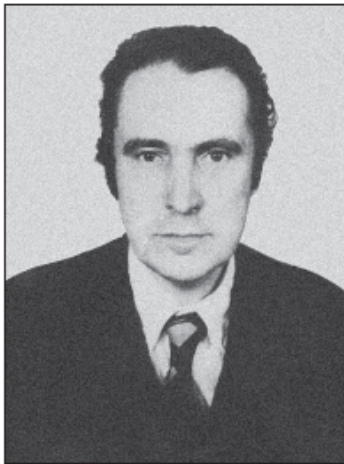
# Moștenirea științifică a Profesorului Aretin Corciovei, fondatorul Școlii de teoria corpului solid în România (Scientific heritage of Professor Aretin Corciovei, the founder of the solid state theory school in Romania)

D. MIHALACHE

*Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară “Horia Hulubei”, POB MG-6, 077125, București-Măgurele, România*

A brief overview is given of some of the scientific results obtained by the Romanian school of solid state theory at the Institute of Atomic Physics, Bucharest-Magurele, under the leadership of its founder, the late Professor Aretin Corciovei.

*Keywords:* Spin-wave theory, Ferromagnetic thin films, Saturation magnetization, Micromagnetism, Mössbauer effect in thin films, One-particle crystal field, Collective excitations, Two-dimensional electron systems, Layered electron gas



*Aretin Corciovei (n. 8 septembrie 1930 – d. 25 ianuarie 1992)*

Aretin Corciovei (n. 8 septembrie 1930, București – d. 25 ianuarie 1992, București) a fost un strălucit fizician teoretician român, având o largă reputație în comunitatea științifică națională și internațională. Licențiat în fizică (1953) și matematică (1954) al Universității din București, și-a susținut teza de doctorat în anul 1958, sub îndrumarea Acad. Șerban Țițeica (n. 1908 – d. 1985), în cadrul Universității din București. În anul 1969 a obținut titlul de doctor docent. A fost profesor asociat la Facultatea de Fizică a Universității din București. În anul 1974, a fost ales Membru Corespondent al Academiei Române. A deținut funcția de șef al

Secției a VI-a din cadrul Institutului de Fizică Atomică (IFA), București-Măgurele, compusă din trei laboratoare distincte: Laboratorul de Fizică Teoretică, Laboratorul de Energii Înalte și Laboratorul de Raze Cosmice. Cele trei laboratoare de cercetare erau conduse de Aureliu Săndulescu, un cercetător cu reputație internațională, creatorul Școlii de fizică nucleară teoretică din România, Ovidiu Balea, un cercetător recunoscut în domeniul fizicii energiilor înalte și Erwin M. Friedlander (1925-2004), un specialist de renume în domeniul razelor cosmice și al particulelor elementare. La mijlocul anilor 70 ai secolului XX, Aretin Corciovei a devenit șeful Departamentului de Fizică Teoretică al Institutului de Fizică și Inginerie Nucleară, pe care l-a condus până în anul 1990. Aretin Corciovei a elaborat o serie de lucrări științifice valoroase, care au fost citate în repetate rânduri în literatura de specialitate, abordând probleme diverse în domeniul teoriei stării condensate a materiei și fizicii corpului solid: studiul proprietăților fizice ale straturilor subțiri feromagnetice de grosimi nanometrice; modificarea proprietăților corpurilor solide sub acțiunea iradierii; fenomene de ordine și dezordine în cristale; studiul benzilor de energie în aliaje binare; problema frecvenței plasmei în gazul de electroni în sisteme fizice parțial finite; descrierea fenomenului de canalare prin cristale a particulelor energetice încărcate electric; studiul efectului Mössbauer în straturi subțiri cu simetrie cubică etc.

Profesorul Aretin Corciovei era foarte mult apreciat de colegii lui de generație și, adesea, era consultat pentru rezolvarea unor probleme concrete din activitatea de cercetare, atât de fizicienii teoreticieni, cât și de fizicienii experimantatori. Având solide cunoștințe ingineresti, era consultat, în mod frecvent, atât de fizicienii experimantatori, cât și de chimiștii și inginerii cercetători de la Institutul de Fizică Atomică, pentru rezolvarea unor probleme practice. Amintesc aici numele unor cunoscuți fizicieni de la Măgurele, care îl apreciau, în mod deosebit, pe Aretin Corciovei și care îi solicitau sfaturile competente pentru soluționarea unor probleme științifice dificile: George Comșa (care a emigrat în Germania Federală în 1972, funcționând în calitate de Profesor de Fizica Vidului la Universitatea din Bonn și în calitate de Director la "Institute for Surface and Vacuum Physics", KFA Julich), Geavit Musa (n. 1931, d. 2010), Nathan Croitoru (în prezent Profesor la Tel Aviv University, Department of Electrical Engineering-Physical Electronics), Adrian Gelberg (n. 1922, d. 2013), Andrei Devenyi, Ion Teodorescu, Alexandru Glodeanu.

Un prim grup de contribuții importante au fost aduse de Aretin Corciovei, în anii 50 și 60 ai secolului XX, în studiul câtorva probleme din fizica stării condensate a materiei. Una dintre primele lucrări publicate de Aretin Corciovei, în reviste prestigioase din străinătate (*Nuovo Cimento*, 1959), se referă la studiul efectelor ordinii de scurtă și lungă distanță asupra rezistivității reziduale în aliaje binare [1]. Acel articol științific a fost caracterizat drept o lucrare de referință, în domeniul respectiv, în monografia "Insulators, Semiconductors, and Metals - Quantum Theory of Molecules and Solids", volumul 3, publicată în editura Mc-Graw-Hill, de către celebrul fizician teoretician de la Massachusetts Institute of Technology (MIT) SUA, John C. Slater [2]. Menționez, de asemenea, lucrările publicate de Aretin Corciovei împreună cu Dan Grecu la începutul anilor 60 ai secolului trecut, despre efectele ordinii de lungă distanță asupra benzilor de energie în aliaje binare [3]-[4]. Aceste articole științifice au fost caracterizate drept lucrări de referință în volumul al doilea al monumentalului tratat "Quantum Theory of Molecules and Solids – Symmetry and Energy Bands in Crystals", autor John C. Slater [5]. În această ordine de idei, menționez și lucrările publicate în anii 60 ai secolului trecut, despre rezistivitatea reziduală a metalelor (în colaborare cu A. Babenco) [6], despre căldura specifică a straturilor subțiri [7] (în colaborare cu Prof. Cornelia Moțoc, care a creat ulterior o școală proprie de cercetare în domeniul fizicii corpului solid), despre efectul Mössbauer în

straturi subțiri, în colaborare cu Alexandru Berinde [8], respectiv cu Dan Grecu și Eugen Rădescu (n. 1942, d. 2007) [9], precum și despre problema distorsiunilor rețelei cristaline, în apropierea unei suprafețe libere (în colaborare cu Marianne Croitoru și Dan Grecu) [10].

Un al doilea grup de contribuții științifice relevante ale lui Aretin Corciovei și ale colaboratorilor săi din Laboratorul de Fizică Teoretică, Institutul de Fizică Atomică (ulterior din Secția de Fizică Teoretică, Institutul de Fizică și Inginerie Nucleară) au fost publicate în anii 70 și 80 ai secolului XX. Aretin Corciovei a fost inițiatorul lucrărilor teoretice din domeniul interacției radiației cu materia, în cadrul Institutului de Fizică Atomică. La începutul anilor 70 ai secolului trecut, a publicat o serie de lucrări importante în domeniul descrierii fenomenului de canalare (de tip planar sau axial) în cristale a particulelor energetice încărcate electric, în colaborare cu Marian Apostol, Dumitru Mihalache și Anca Vișinescu [11]-[14]. Lucrările au fost citate în monografia "Interaction of radiation with solids and elementary defect production", publicată de Chr. Lehmann, în anul 1977, la Editura North-Holland [15]. Menționez aici și alte direcții fertile de cercetare dezvoltate de Aretin Corciovei, în colaborare cu Marian Apostol: problema frecvenței plasmei în gazul de electroni în sisteme parțial finite, studiul sistemelor bidimensionale de electroni, precum și studiul excitațiilor colective în sisteme de electroni [16]-[19]. În plus, Aretin Corciovei a publicat, în anul 1989, în colaborare cu Marian Apostol, Victor Bârsan, C. Mantea și doi cercetători din Italia (R. Fazio și G. Giaguinta) o lucrare teoretică relevantă privind modelul unidimensional bifermionic [20]. În această lucrare, publicată în revista *Physica Scripta*, se face legătura dintre modelul unidimensional bifermionic și modelele de gaz Coulombian bidimensional și de gaz Fermi [20]. Este de remarcat faptul că acest domeniu fertil de cercetare privind studiul oscilațiilor colective ale gazelor de electroni, în sisteme fizice stratificate (sisteme parțial finite) a fost dezvoltat, cu succes, independent, de Dan Grecu și Marian Apostol, colaboratori de seamă ai Profesorului Aretin Corciovei, într-o serie de lucrări publicate în anii 70 ai secolului XX, care au fost citate, în repetate rânduri, în literatura de specialitate; a se vedea lucrările de pionierat [21]-[22] publicate în reviste de specialitate de mare impact: *Physical Review B* și *Zeitschrift für Physik B*. Demn de remarcat este faptul că Marian Apostol, unul dintre cei mai străluciți elevi ai profesorului Aretin Corciovei, a creat o școală proprie de cercetare în domeniul teoriei stării condensate a materiei, în cadrul Departamentului de Fizică Teoretică al

Institutului Național de Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei”.

De asemenea, menționez și lucrările efectuate în anii 80 ai secolului trecut, de către Aretin Corciovei, în colaborare cu Sanda Adam și Gheorghe Adam, în domeniul studiului Hamiltonianului câmpului cristalin uniparticulă. Acele lucrări remarcabile au condus la obținerea coeficienților câmpului cristalin, care sunt necesari pentru determinarea forțelor interatomice efective în cristale [23,24]. În plus, Aretin Corciovei a colaborat, în anii 70 și 80 ai secolului trecut, cu remarcabilii cercetători Nicolae Angelescu (n. 1942, d. 2012) [25], Vladimir Protopopescu [26], Cecil Pompiliu Grünfeld [27], Gheorghe Adam și Liviu Gr. Ixaru [28], publicând lucrări de valoare în domenii diverse ale fizicii teoretice și fizicii computaționale, care au fost citate în repetate rânduri în literatura științifică de specialitate. Menționez faptul că Liviu Gr. Ixaru și Gheorghe Adam au dezvoltat teme proprii de cercetare în domeniul fizicii computaționale, cu o mare vizibilitate pe plan internațional. De asemenea, Nicolae Angelescu a creat o școală proprie de cercetare în domeniul Fizicii Statistice, iar Vladimir Protopopescu are contribuții științifice remarcabile în domeniul sistemelor dinamice neliniare. În altă ordine de idei, remarc faptul că Profesorul Aretin Corciovei, a publicat în anul 1982, un articol științific în *Revista de Filosofie* [29], în colaborare cu Horia Scutaru (n. 1943, d. 2014), un strălucit specialist în fizica matematică și în teoria informației cuantice. Lucrarea publicată în *Revista de Filosofie* [29] a fost dedicată interacțiunii dintre fizica și matematica secolului XX.

Domaniul științific în care Aretin Corciovei a adus contribuții însemnate și în care a creat o școală de cercetare competitivă pe plan internațional a fost acela al teoriei straturilor subțiri feromagnetice: (a) studiul dependenței temperaturii Curie de numărul de straturi monoatomice, pentru diferite valori ale raportului dintre constanta de anizotropie și energia de schimb, între vecinii apropiați în cristal (în colaborare cu Grigore Ghika) [30], (b) studiul magnetizării spontane a păturilor subțiri feromagnetice și al temperaturii Curie, folosind tehnica funcției Green și metoda Euler de sumare a seriilor [31], (c) studiul direcției magnetizării spontane în straturile subțiri feromagnetice, în situația când se iau în considerare în Hamiltonianul sistemului, atât termenii dipolari, cât și cei care descriu anizotropia magnetică a sistemului fizic, în plus față de termenii care descriu interacția de schimb (în colaborare cu Dan Vamanu) [32], (d) studii de micromagnetism (în colaborare cu Gheorghe Adam) [33], și (e) studiul rezonanței feromagnetice în straturi subțiri, în cazul

în care se consideră un amestec de anizotropie uniaxială și biaxială (în colaborare cu Raimond Grimberg, care a creat o școală proprie de cercetare în domeniul fizicii corpului solid, la Institutul de Fizică Tehnică din Iași) [34].

Unul din momentele culminante ale activității științifice remarcabile a Profesorului Aretin Corciovei l-a constituit participarea cu un articol invitat la “Third International Colloquium on Magnetic Films”, MIT Lincoln Laboratory, Boston, SUA, 18-20 septembrie 1967. A prezentat lucrarea de sinteză “Saturation magnetization in ferromagnetic thin films”, în calitate de unic autor al acestei lucrări. Lucrarea a apărut în *IEEE Transactions on Magnetics* [35], fiind primul articol publicat în acest volum dedicat lucrărilor conferinței, ca o apreciere a rezultatelor teoretice de excepție obținute de Aretin Corciovei și colaboratorii săi, în cadrul Institutului de Fizică Atomică de la București-Măgurele. În lucrarea menționată mai sus se prezintă o trecere în revistă a rezultatelor științifice de excepție obținute în România de Aretin Corciovei, în calitate de unic autor, precum și a unor rezultate științifice originale, în domeniul fizicii straturilor subțiri feromagnetice de grosimi nanometrice, obținute în colaborare cu Gheorghe Ciobanu, Grigore Ghika, Dan Vamanu și Gheorghe Costache (n. 1942, d. 2002), rezultate competitive pe plan mondial. Lucrările teoretice efectuate la București, în acea perioadă a anilor 50-60 ai secolului XX aveau implicații practice concrete, în special în domeniul realizării memoriilor magnetice pentru stocarea informației. Remarc și faptul că în lucrarea [35], autorul prezintă în primul capitol (în Fig. 1) o comparație între “Valenta’s method” și “Corciovei’s method” privind calculul dependenței de grosime a temperaturii Curie a straturilor subțiri de nichel și cobalt. De asemenea, se prezintă pe scurt și teoria undelor de spin în straturi subțiri feromagnetice, care a fost dezvoltată într-o lucrare de pionierat, publicată de Aretin Corciovei în anul 1963, în prestigioasa revistă *Physical Review*, editată de “American Physical Society” [36]. În plus, în lucrarea publicată de Aretin Corciovei, în revista *IEEE Transactions on Magnetics* [35], este prezentată și metoda funcției Green dependentă de timp și temperatură în studiul straturilor subțiri feromagnetice. Această metodă eficientă, folosită în descrierea fenomenelor critice și a tranzițiilor de fază, a fost introdusă în anul 1965 în studiul proprietăților magnetice ale straturilor subțiri de către Aretin Corciovei și Gheorghe Ciobanu [37] și, în mod independent, de către un grup de fizicieni din Germania de Est [38]. De altfel, grupul de la Institutul de Fizică Atomică, București-Măgurele (A. Corciovei și G. Costache) și grupul din Ger-

mania de Est (W. Brodkorb și W. Haubenreisser) au publicat în colaborare, în anul 1972, un articol de sinteză asupra metodei funcției Green aplicată la studiul straturilor subțiri feromagnetice uniaxiale [39] care a fost citat în repetate rânduri, în literatura științifică de specialitate.

Profesorul Aretin Corciovei a publicat în anul 1963 în *Physical Review* [36] o lucrare de pionierat în domeniul fizicii feromagnetismului straturilor subțiri de grosimi nanometrice, lucrare care este citată și în anii recenti în literatura de specialitate. Aretin Corciovei a dezvoltat teoria undelor de spin, în formularea dată de Holstein-Primakoff, pentru straturile subțiri feromagnetice, introducând termenul anizotropiei magnetice în Hamiltonianul sistemului fizic. Au fost neglijate interacțiunile dintre undele de spin, deoarece termenii corectivi corespunzători sunt destul de mici la temperaturi joase (a se vedea lucrarea publicată anterior în *Physical Review* [40] de către celebrul fizician teoretician F. J. Dyson de la Institute for Advanced Study, Princeton, SUA). De asemenea, Aretin Corciovei a obținut dependența magnetizării de temperatură și de numărul de straturi monoatomice ale păturii subțiri feromagnetice [36]. Remarc faptul că Profesorul Aretin Corciovei a fost printre primii fizicieni români care au publicat lucrări științifice cu afiliere din România, în prestigioasa revistă *Physical Review*. Lucrarea publicată în revista fanion a Societății Americane de Fizică este citată, în repetate rânduri în literatura de specialitate; menționez doar faptul că este citată, în calitate de lucrare de referință în domeniul respectiv, într-un articol de sinteză publicat în anul 2000 în *Reviews of Modern Physics* [41] (revista cu cel mai înalt factor de impact din domeniul Fizicii, editată și publicată de către Societatea Americană de Fizică), precum și în lucrări recente în domeniul fizicii nanoparticulelor antiferomagnetice; a se vedea, de exemplu, lucrarea [42]. Dintr-o perspectivă actuală, se poate afirma că lucrările remarcabile din domeniul fizicii straturilor subțiri feromagnetice, de grosimi nanometrice efectuate în anii 50-60 ai secolului XX, de către Aretin Corciovei și colaboratorii săi din Laboratorul de Fizică Teoretică al Institutului de Fizică Atomică, București-Măgurele, pot fi considerate lucrări de pionierat în România, în domeniul nanofizicii și, în general, al fizicii nanomaterialelor.

Articolele științifice publicate în anii 60 și la începutul anilor 70 ai secolului trecut de către Aretin Corciovei și colaboratorii săi de la Institutul de Fizică Atomică au fost sintetizate într-un capitol de carte extins (114 pagini), publicat în anul 1972 [43], în prestigioasa serie *Solid State Physics: Advances in Research and Applications*, editată de H. Ehrenreich, F. Seitz și D. Turnbull. Lucrarea de sinteză are ca

autori pe Aretin Corciovei, Gheorghe Costache și Dan Vamanu. Este de remarcat faptul că în capitolul *Acknowledgments* al acelei lucrări de sinteză se menționează aportul important al lui Gheorghe Adam, fizician teoretician de la Institutul de Fizică Atomică, la elaborarea lucrării respective: “The authors are indebted to Mr. Gh. Adam for his kind support in preparing the manuscript, especially Part III”. Capitolul de carte menționat mai sus continuă să fie citat, și în anii recenti, în calitate de lucrare de referință în domeniu; a se vedea, de exemplu, articolul de sinteză “Magnetism in ultrathin film structures” [44], publicat în anul 2008 în prestigioasa revistă *Reports on Progress in Physics*, care este editată și publicată de către Institute of Physics Publishing (IOP), UK. În acest articol științific, menționat mai sus, se trece în revistă domeniul modern al nano-magnetismului, care se ocupă cu studierea proprietăților fizice ale straturilor magnetice ultrasubțiri, de grosimi nanometrice. Această direcție modernă de cercetare este foarte importantă din punct de vedere al aplicațiilor practice.

Aceste rânduri constituie un modest omagiu adus memoriei Profesorului Aretin Corciovei, un reprezentant de frunte al Școlii de Fizică Teoretică de la Institutul de Fizică Atomică, București-Măgurele, mentor și formator al Școlii de Teoria Corpului Solid în România.

## Bibliografie

- [1] A. Corciovei, *The effect of long and short range order on residual resistivity*, Nuovo Cimento **11**, 118-120 (1959).
- [2] J. C. Slater, *Insulators, Semiconductors, and Metals - Quantum Theory of Molecules and Solids*, vol. 3, Mc-Graw Hill, New York, 1967.
- [3] A. Corciovei, D. Grecu, *The effect of long-range order on energy bands in binary alloys*, Acta Phys. Polon. **20**, 197 (1961).
- [4] A. Corciovei, D. Grecu, *Bandes énergétiques électroniques des alliages partiellement désordonnés*, Compt. Rend. **252**, 1582 (1961).
- [5] J. C. Slater, *Quantum Theory of Molecules and Solids – Symmetry and Energy Bands in Crystals*, vol. 2, Mc-Graw Hill, New York, 1965.
- [6] A. Corciovei, A. Babenco, *Effect of displacement cascades produced by irradiation on residual resistivity of metals*, Phys. Stat. Sol. (b) **4**, 587-599 (1964).
- [7] A. Corciovei, C. Motoc, *The specific heat of thin films*, Acta Phys. Hung. **15**, 299-316 (1963).
- [8] A. Corciovei, A. Berinde, *Sur l'effet Mössbauer dans les couches minces*, Journal de Physique **24**,

- 89-98 (1963).
- [9] A. Corciovei, D. Grecu, E. Radescu, *Frequency spectrum and the Mössbauer effect in thin films*, Z. Phys. **209**, 134-156 (1968).
- [10] A. Corciovei, M. Croitoru, D. Grecu, *Lattice distortion of an fcc crystal near a free surface*, Surface Science **21**, 109-122 (1970).
- [11] A. Corciovei, M. Apostol, D. Mihalache, *Transfer matrix technique in planar channeling*, Revue Roumaine de Physique **18**, 557-569 (1973).
- [12] A. Corciovei, M. Apostol, D. Mihalache, *Planar channeling and transfer matrix technique*, Phys. Lett. A **44**, 259-260 (1973).
- [13] A. Corciovei, M. Apostol, *Transfer matrix approach to axial hyperchanneling*, Phys. Stat. Sol. (b) **67**, 609-617 (1975).
- [14] A. Corciovei, A. Visinescu, *Semiclassical approach to channeling and dechanneling*, Radiation Effects **55**, 141-148 (1981).
- [15] Chr. Lehmann, *Interaction of radiation with solids and elementary defect production*, North-Holland, Amsterdam, 1977.
- [16] A. Corciovei, M. Apostol, *Plasma frequency in a layered electron-gas*, Phys. Lett. A **53**, 345-346 (1975).
- [17] A. Corciovei, M. Apostol, *High-density and low-density limits in a 2-dimensional electron-system*, Revue Roumaine de Physique **22**, 253-260 (1977).
- [18] A. Corciovei, M. Apostol, *Intermediate density region of a 2-dimensional electron system*, Revue Roumaine de Physique **24**, 197-209 (1979).
- [19] M. Apostol, A. Corciovei, *Collective excitations for backward scattering in many-electron system*, Revue Roumaine de Physique **26**, 1081-1090 (1981).
- [20] C. Mantea, M. Apostol, V. Barsan, A. Corciovei, R. Fazio, G. Giaguinta, *Scaling equations for the one-dimensional two-fermion model*, Phys. Scr. **39**, 294 (1989).
- [21] D. Grecu, *Plasma frequency of the electron gas in layered structures*, Phys. Rev. B **8**, 1958-1961 (1973).
- [22] M. Apostol, *Plasma frequency of the electron gas in layered structures*, Z. Physik B **22**, 13-19 (1975).
- [23] S. Adam, Gh. Adam, A. Corciovei, *Effective interatomic forces from one-particle crystal field parameters*, Phys. Stat. Sol. (b) **114**, 85-93 (1982).
- [24] S. Adam, Gh. Adam, A. Corciovei, *One-particle crystal field Hamiltonians*, Phys. Stat. Sol. (b) **129**, 763-774 (1985).
- [25] N. Angelescu, A. Corciovei, *Free quantum gases in a homogeneous magnetic field*, Revue Roumaine de Physique **20**, 661-671 (1975).
- [26] V. Protopopescu, A. Corciovei, *Spectrum of linear transport operator with diffuse reflection*, Revue Roumaine de Physique **21**, 713-719 (1976).
- [27] A. Corciovei, C. P. Grünfeld, *On the spatially homogeneous Boltzmann equation with a velocity-dependent force term*, Lett. Math. Phys. **7**, 307-312 (1983).
- [28] Gh. Adam, L. Gr. Ixaru, A. Corciovei, *A first-order perturbative numerical method for the solution of the radial Schrödinger equation*, J. Comput. Phys. **22**, 1-33 (1976).
- [29] A. Corciovei, H. Scutaru, *Interacțiunea între fizică și matematică în secolul XX*, Revista de Filosofie **29**, 78-82 (1982).
- [30] A. Corciovei, G. Ghika, *On the theory of ferromagnetic thin films*, Czechoslovak Journal of Physics **12**, 278-295 (1962).
- [31] A. Corciovei, G. Costache, *Spontaneous magnetization of ferromagnetic thin films*, Phys. Lett. A **25**, 458-459 (1967).
- [32] A. Corciovei, D. Vamanu, *On the direction of magnetization in ferromagnetic thin films*, J. Appl. Phys. **39**, 1381-1384 (1968).
- [33] Gh. Adam, A. Corciovei, *New approach to Lorentz approximation in micromagnetism*, J. Appl. Phys. **43**, 4763-4767 (1972).
- [34] A. Corciovei, R. Grimberg, *Low-frequency ferromagnetic-resonance in thin-films with a mixture of uniaxial and biaxial anisotropy*, Revue Roumaine de Physique **23**, 487-493 (1978).
- [35] A. Corciovei, *Saturation magnetization in ferromagnetic thin films*, IEEE Transactions on Magnetism **4**, no. 1, 6-11 (1968).
- [36] A. Corciovei, *Spin-Wave Theory of Ferromagnetic Thin Films*, Physical Review **130**, 2223-2229 (1963).
- [37] A. Corciovei, G. Ciobanu, *Green function method in the theory of ferromagnetic thin films*, J. Phys. Chem. Solids **26**, 1939-1947 (1965).
- [38] W. Brodkorb, W. Haubenreisser, *Greensche Functionen in der Theorie des Ferromagnetismus dünner Schichten*, Phys. Stat. Sol. **8**, K21-K24 (1965).
- [39] W. Haubenreisser, W. Brodkorb, A. Corciovei, G. Costache, *A status report of Green's function theory in uniaxial ferromagnetic unpinned thin films*, Phys. Stat. Sol. (b) **53**, 9-40 (1972).
- [40] F. J. Dyson, *General theory of spin-wave*

- interactions*, Phys. Rev. **102**, 1217-1230 (1956).
- [41] K. De'Bell, A. B. MacIsaac, J. P. Whitehead, *Dipolar effects in magnetic thin films and quasi-two-dimensional systems*, Rev. Mod. Phys. **72**, 225-257 (2000).
- [42] N. J. O. Silva, A. Millan, F. Palacio, M. Martins, T. Trindade, I. Puente-Orench, J. Campo, *Remnant magnetization of CoO antiferromagnetic nanoparticles*, Phys. Rev. B **82**, 094433 (2010).
- [43] A. Corciovei, G. Costache, D. Vamanu, *Ferromagnetic thin films*, Solid State Physics **27**, 237-350 (1972).
- [44] C. A. F. Vaz, J. A. C. Bland, G. Lauhoff, *Magnetism in ultrathin film structures*, Rep. Prog. Phys. **71**, 056501 (2008).

---

Autor corespondent: Dumitru.Mihalache@nipne.ro