

FIȘA DISCIPLINEI

*Fizica și tehnologia materialelor și dispozitivelor spintronice
mezoscopice / Physics and Technology of Mesoscopic Spintronic
Materials and Devices*

Anul universitar 2025-2026

1. Date despre program

1.1. Instituția de învățământ superior	Universitatea Babeș-Bolyai
1.2. Facultatea	Fizică
1.3. Departamentul	Fizica Stării Condensate și a Tehnologiilor Avansate
1.4. Domeniul de studii	Științe ingineresti aplicate
1.5. Ciclu de studii	Licență
1.6. Programul de studii / Calificarea	Fizică Tehnologică
1.7. Forma de învățământ	cu frecvență

2. Date despre disciplină

2.1. Denumirea disciplinei	Fizica și tehnologia materialelor și dispozitivelor spintronice mezoscopice / Physics and Technology of Mesoscopic Spintronic Materials and Devices			Codul disciplinei	FLR5804		
2.2. Titularul activităților de curs	Prof. Dr. Coriolan Viorel TIUȘAN						
2.3. Titularul activităților de seminar	Prof. Dr. Coriolan Viorel TIUȘAN						
2.4. Anul de studiu	IV	2.5. Semestrul	8	2.6. Tipul de evaluare	E	2.7. Regimul disciplinei	DS

3. Timpul total estimat (ore pe semestru al activităților didactice)

3.1. Număr de ore pe săptămână	3	din care: 3.2. curs	2	3.3. seminar/ laborator/ proiect	1
3.4. Total ore din planul de învățământ	42	din care: 3.5. curs	28	3.6 seminar/laborator	14
Distribuția fondului de timp pentru studiul individual (SI) și activități de autoinstruire (AI)					ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe (AI)					30
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate și pe teren					32
Pregătire seminare/ laboratoare/ proiecte, teme, referate, portofolii și eseuri					40
Tutoriat (consiliere profesională)					3
Examinări					3
Alte activități					-
3.7. Total ore studiu individual (SI) și activități de autoinstruire (AI)				102	
3.8. Total ore pe semestru				150	
3.9. Numărul de credite				4	

4. Precondiții (acolo unde este cazul)

4.1. de curriculum	Fizica Corpului Solid, Magnetism, Mecanică cuantică
4.2. de competențe	Valorificare competențelor fundamentale, a metodelor și instrumentelor dobândite în studiul fizicii solidului, a magnetismului și fenomenelor magnetice, a mecanicii cuantice în vederea extrapolării pe domenii conexe sau convergente. Capacitatea de utilizare a echipamentelor de laborator și cercetare pentru efectuarea de activități de cercetare teoretică și experimentală.

5. Condiții (acolo unde este cazul)

5.1. de desfășurare a cursului	Sală de curs echipată cu tablă și proiector.
5.2. de desfășurare a seminarului/ laboratorului	Acces la laboratoarele de cercetare aferente Facultății de Fizică, Universitatea Babeș-Bolyai.

6.1. Competențele specifice acumulate¹

Competențe profesionale/esențiale	<ul style="list-style-type: none"> • Înțelegere aprofundată a fizicii și tehnologiei dispozitivelor spintronice. • Competențe specifice în spintronică, nano-tehnologii aferente fabricării materialelor ce stau la baza dispozitivelor spintronice și a tehnicilor de micro/nano-structurare implicate în fabricarea dispozitivelor. • Cunoașterea principiilor fizice fundamentale ce stau la baza funcționării principalelor clase de dispozitive spintronice pe bază de efecte magneto-rezistive, spin-orbitronice . • Achiziția, prelucrarea și interpretarea datelor experimentale.
Competențe transversale	<ul style="list-style-type: none"> • Competențe în domeniul materialelor magnetice cu proprietăți predefinite integrabile în dispozitive spintronice. • Tehnici experimentale de fabricare și caracterizare heterostructurilor pe bază de filme subțiri și a nanomaterialelor cu aplicații în spintronică. • Concepte fundamentale legate de senzori, stocarea și manipularea informației, tehnologii emergente cuantice și neuromorfice. • Competențe în spintronică în vederea dezvoltării unor noi paradigme de dispozitive spintronice moderne ca și alternativă emergentă pentru electronica convențională.

6.2. Rezultatele învățării

Cunoștințe	<p>După finalizarea cursului, studenții vor fi capabili să:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Explice proprietățile fizice fundamentale ale electronului (sarcină, spin) și rolul acestora în tranziția de la electronica convențională la spintronică. 2. Descrie mecanismele de magnetism, transport de sarcină și transport de spin în materiale magnetice, mezoscopice și nanostructurate. 3. Înțeleagă modelele clasice, semiclasice și cuantice ale transportului dependent de spin, inclusiv fenomenele de magnetorezistență (GMR, TMR) și de filtraj de spin. 4. Explice fenomenele de interfață, efectele spin-orbită, conversia sarcină-spin și mecanismele de transfer de spin în heterostructuri și dispozitive spintronice. 5. Descrie principiile de funcționare și aplicațiile dispozitivelor spintronice moderne și emergente, inclusiv memorii magnetice, spin-orbitronice, spintronică neuromorfică și cuantică.
Aptitudini	<p>După finalizarea cursului, studenții vor fi capabili să:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Analizeze transportul de sarcină și spin în structuri multistrat și joncțiuni spintronice utilizând modele teoretice adecvate. 2. Interpreteze diagrame energetice, mecanisme de împrăștiere dependentă de spin și efecte de interfață relevante pentru funcționarea dispozitivelor spintronice. 3. Aplice concepte de dinamică a magnetizării (ecuația Landau-Lifshitz-Gilbert, cuplu de transfer de spin, efecte spin-orbitronice) pentru a evalua procesele de comutare magnetică. 4. Coreleze proprietățile structurale, magnetice și electronice ale materialelor și heterostructurilor de filme subțiri cu performanța dispozitivelor spintronice. 5. Evalueze critic aplicațiile spintronicii în stocarea informației, senzori, dispozitive logice, tehnologii neuromorfice și cuantice.

¹ Se poate opta pentru competențe sau pentru rezultatele învățării, respectiv pentru ambele. În cazul în care se alege o singură variantă, se va șterge tabelul aferent celeilalte opțiuni, iar opțiunea păstrată va fi numerotată cu 6.

Responsabilități și autonomie	După finalizarea cursului, studenții vor fi capabili să:
	1. Utilizeze în mod responsabil concepte teoretice și rezultate experimentale din spintronică, conștientizând limitele și ipotezele modelelor utilizate.
	2. Exerce autonomie în selectarea abordărilor fizice și tehnologice adecvate pentru analiza dispozitivelor și fenomenelor spintronice complexe.
	3. Evalueze critic fiabilitatea și relevanța datelor experimentale și a literaturii științifice din domeniul spintronicii.
	4. Comunice clar și riguros concepte, rezultate și implicații tehnologice ale spintronicii către audiențe cu formare științifică diversă.
	5. Demonstreze responsabilitate profesională și etică în raport cu impactul științific, tehnologic și societal al dispozitivelor spintronice și al aplicațiilor emergente.

7. Obiectivele disciplinei (reieșind din grila competențelor acumulate)

7.1 Obiectivul general al disciplinei	<ul style="list-style-type: none"> Să ofere o prezentare cuprinzătoare a principiilor fizice, metodelor de fabricație și tehnicilor de caracterizare ale dispozitivelor spintronice aplicate în senzori și dispozitive de stocare a informației, ilustrând totodată aplicațiile acestora în tehnologiile moderne și în dispozitivele electronice non-convenționale.
7.2 Obiectivele specifice	<ul style="list-style-type: none"> Consolidarea și aprofundarea principiilor fizice fundamentale care stau la baza fenomenelor spintronice, cu accent pe transportul dependent de spin, efectele de interfață și fenomenele mezoscopice. Dobândirea unei înțelegeri integrate a materialelor și structurilor spintronice, incluzând heterostructuri magnetice, joncțiuni de tunel magnetice și sisteme hibride, precum și a proprietăților lor fizice relevante pentru aplicații. Înțelegerea mecanismelor fizice și tehnologice implicate în realizarea și funcționarea dispozitivelor spintronice mezoscopice, precum GMR, TMR, dispozitive bazate pe transfer de spin și structuri avansate pentru memorii și logică. Dezvoltarea capacității de a utiliza și evalua critic metodele experimentale și instrumentația specifică pentru fabricarea, caracterizarea și investigarea proprietăților electronice și magnetice ale dispozitivelor spintronice. Formarea unei perspective critice asupra aplicațiilor actuale și emergente ale spintronicii în tehnologiile informației, stocarea datelor, calculul neuromorfic și dispozitivele cuantice.

8. Conținuturi

8.1 Curs	Metode de predare	Observații
1. Introducere. Electronul: proprietăți fizice intrinseci: masă, sarcină, spin, viziune clasică și cuantică. Etape în evoluția spintronicii, de la electronica convențională la aplicațiile tehnologice curente și emergente. Spintronică ca și nouă paradigmă pentru electronica de dincolo de legea lui Moore.	Prelegere combinată cu dezbateri. Vor fi utilizate videoproiectorul și tabla. Pentru predarea online vor fi utilizate platforme specifice: MS Teams, Zoom,	2h
2. Elemente fundamentale de magnetism, transport de sarcină și spin. De la magnetism atomic la principalele clase de materiale magnetice. Aplicații ale materialelor magnetice în spintronică. Magnetism mezosopic, Nanomagnetism și Spintronică.		2h
3. Noțiuni elementare legate de transportul de spin și sarcină. Clase de modele în transportul de spin și sarcină: fenomenologice, clasice, semi-clasice, cuantice. Legea lui Ohm și parcurs liber mediu în modelul Mott a doi curenți. Efecte de		2h

structură de bandă, suprafețe Fermi și densități de stări dependente de spin.	Skype.	
4. Mecanisme de împrăștiere dependente de spin. Filtraj de spin. Efecte de magnetorezistență: magnetorezistența gigant (GMR) în transport planar (CIP-GMR), cuplajul de schimb (IEC) în structuri multistrat de filme subțiri, efectul de vană de spin interacțiunea spin-orbită și magnetorezistența anizotropă.		2h
5. Fenomene de interfață, acumulare de spin și magnetorezistența gigant în geometrie perpendiculară (CPP-GMR). Împrăștiere dependentă de spin cu spin-flip Modele de drift-împrăștiere. Heterostructuri multi-strat. Rezistență de dezacord de impedanță interfacială. Mecanisme de împrăștiere interfacială. Injecția de spin în semiconductori și elemente de spintronică semiconductoare.		2h
6. Transport tunel dependent de spin. Joncțiunea magnetică tunel și efecte de magnetorezistență tunel în sisteme amorfe/policristaline descrise în modele de transport de tip electroni liberi. Efecte de filtraj în spin și simetrie în joncțiuni tunel monocristaline. Magnetorezistența tunel gigant.		2h
7. Curenți de sarcină și spin, ecuații de continuitate. Fenomene de transfer de spin și cuplu de transfer de spin. Ecuația dinamică Landau-Lifshitz-Gilbert. Influența curentului de spin asupra dinamicii magnetizării. Comutarea magnetizării prin efecte de transfer de spin.		2h
8. Elemente de spin-orbitronică. Interacțiunea spin orbită. Curbura Berry, paritate și simetrii de inversie temporală. Efectul Hall anomal și efectul Hall de spin. Comutarea magnetizării prin efecte spin-orbitronice.		2h
9. Bazele cuantice ale manipulării spinului prin câmp electric: conceptul de tranzistor de spin Datta și Das. Hamiltonianul Rashba. Valori proprii. Interacțiunea rotație-orbita. Spectroscopie de fotoemisie/fotoemisie cu rezoluție în unghi (ARPES). Funcții proprii, evoluție în timp: precesia spinului.		2h
10. Fenomene de conversie sarcină-spin. Polarizare ferromagnetică. Efectul Hall de spin. Interfețe Rashba. Efectul Rashba-Edelstein. Izolatorii topologici și efectul Edelstein al stărilor de suprafață a izolatorului topologic. Arhitecturi spintronice non-convenționale.		2h
11. Materiale și heterostructuri de filme subțiri în spintronică. Tehnologii de elaborare, micro și nano-structurare a dispozitivelor spintronice. Clase de litografie utilizate în industria dispozitivelor spintronice. Tehnici specifice de caracterizare a materialelor, heterostructurilor de filme subțiri spintronice și a dispozitivelor spintronice micro și nano-structurate. Caracterizare structurală, morfologică, magnetică și magneto-electrică macroscopică și locală.		2h
12. Aplicații ale dispozitivelor spintronice în senzori și dispozitive de stocare și manipulare a informației: hard-disk-uri, memorii nonvolatile. Clase de memorii magnetice non-volatile, MRAM, STT-MRAM, SOT-MRAM, STT/SOT-Efield MRAM. Interacțiunea de schimb asimetric Dzyaloshinskii-Moriya, texturi magnetice, materiale skyrmionice și concepte emergente în stocarea și manipularea informației, memorii race-track.		2h
13. Concepte moderne în operarea dispozitivelor spintronice de generație nouă cu eficiență energetică ridicată: cupluri de		2h

transfer de spin, manipularea anizotropiei prin câmp electric, comutarea optică a magnetizării.		
14. Noi paradigme în spintronică: spintronică neuromorfică și spintronică cuantică. Abordarea hardware a conceptelor AI (neuroni artificiali, sinapse) pe baza dispozitivelor și arhitecturilor spintronice. Biti probabilistici și Qubiti pe bază de texturi magnetice și dispozitive spintronice. Materiale cuantice și aplicații în tehnologii cuantice emergente: comunicații cuantice și calcul cuantic.		2h
Bibliografie		
<p>1. C. Kittel, Introduction to Solid State Physics (7ed., Wiley, 1996)</p> <p>2. N. W. Ashcroft, N. D. Mermin, Solid State Physics, Saunders, 1976.</p> <p>3. M. Coldea, Magnetorezistența, efecte și aplicații, Presa Universitară Clujana, 2009.</p> <p>4. S. Datta, Quantum transport: Atom to Transistor, Cambridge University Press, 2005.</p> <p>5. E. Y. Tsybal, I. Žutić, Spintronics Handbook, Second Edition: Spin Transport and Magnetism, SBN 9780367779566 (2020).</p> <p>6. BALTZ, Vincent. The basics of electron transport in spintronics: Textbook with lectures, exercises and solutions, Les Ulis: EDP Sciences, 2023. https://doi.org/10.1051/978-2-7598-2918-7.</p> <p>7. Magnetism and Magnetic Materials, J. M. D. Coey, Trinity College Dublin. Publisher: Cambridge University Press; Online publication date: June 2012; Print publication year: 2010; Online ISBN 9780511845000, https://doi.org/10.1017/CBO9780511845000</p> <p>8. Grollier, J., Querlioz, D., Camsari, K.Y. et al. Neuromorphic spintronics. Nat Electron 3, 360–370 (2020). https://doi.org/10.1038/s41928-019-0360-9.</p> <p>9. Jan Kaiser, Supriyo Datta, Probabilistic computing with p-bits, Appl. Phys. Lett. 119, 150503 (2021), https://doi.org/10.1063/5.0067927.</p> <p>10. C. Psaroudaki and C. Panagopoulos, “Skyrmion qubits: A new class of quantum logic elements based on nanoscale magnetization,” Phys. Rev. Lett. 127, 067201 (2021). https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.127.067201.</p>		
8.2 Seminar / laborator	Metode de predare	Observații
1. Principiul măsurătorilor magneto-electrice în două și 4 puncte, în mod sursă de curent, sursă de tensiune pe sisteme metalice respectiv joncțiuni tunel magnetice.	<p>Rezolvarea frontală a unor probleme la tablă pe baza dialogului cu studenții.</p> <p>Prezentări de proiecte științifice pe teme predefinite urmate de discuții interactive și analize critice.</p> <p>Pentru activități online impuse de circumstanțe specifice vor fi utilizate platforme specifice: MS Teams, Zoom, Skype.</p>	1h
2. Filtre de spin și configurații de vană de spin. Experimente de precizie a spinului în materiale feromagnetice pe bază de dispozitive spintronice.		1h
3. Hamiltonianul Stoner. Spin $\frac{1}{2}$ și precizia spinului în jurul unui câmp efectiv.		1h
4. Hamiltonianul Rashba-Stoner și manipularea anizotropiei prin câmp electric.		1h
5. Dispozitive Stern-Gerlach simple și în cascadă. Bit și concepte de Qubit. Sfera Bloch $\frac{1}{2}$. Spin-qubit și criptografie cuantică. Concepte spintronice și fotonice în tehnologii cuantice: comunicații și calculatorul cuantic.		1h
6. Modelarea cuantică a efectelor de transfer de spin și transport de moment cinetic.		1h
7. Elemente de magnetism cuantic. Modele de diagonalizare exactă a hamiltonianului Heisenberg 2D.		1h
8. Echipamente de cercetare disponibile în cadrul Institutului Ioan Ursu: elaborare și caracterizare de materiale și dispozitive spintronice.		2h

9. Elaborarea de filme subțiri magnetice prin tehnica UHV-sputtering.		1h
10. Caracterizări magnetice (magnetometrie cu probă vibrantă) ale filmelor subțiri.		1h
11. Caracterizare morfologică (microscopie de forță atomică și structurală (XRD).		1h
12. Efecte magnetorezistive AMR, GMR, TMR, Anomalous Hall Effect (AHE).		1h
13. Proiectarea de măști litografice (arhitecturi multi-strat auto-aliniate) în vederea fabricării dispozitivelor spintronice: ex. utilizarea softului Layout Editor).		1h

Bibliografie

1. Spintronics Handbook: Spin Transport and Magnetism, Second Edition, Metallic Spintronics—Volume One, Edited by Evgeny Y. Tsymbal and Igor Žutić, CRC Press, Taylor & Francis Group.
2. Spintronics Handbook: Spin Transport and Magnetism, Second Edition, Semiconductor Spintronics—Volume Two, Edited by Evgeny Y. Tsymbal and Igor Žutić, CRC Press, Taylor & Francis Group.
3. Spintronics Handbook: Spin Transport and Magnetism, Second Edition, Nanoscale Spintronics and Applications—Volume Three, Edited by Evgeny Y. Tsymbal and Igor Žutić, CRC Press, Taylor & Francis Group.
4. Spin Current, S. Maekawa, S. O. Valenzuela, E. Saitoh, T. Kimura, Second Edition, Oxford University Press, 2017.
5. Review on spintronics: Principles and device applications, A. Hirohata, K. Yamada, Y. Nakatani, I-L. Prejbeanu, B. Diény, P. Pirro, B. Hillebrands, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 509, 1 September 2020, 166711, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166711>.
6. Spin and spin current—From fundamentals to recent progress, S. Maekawa, T. Kikkawa, H. Chudo; J. Ieda, Eiji Saitoh, J. Appl. Phys. 133, 020902 (2023); doi: 10.1063/5.0133335.
7. Quantum Mechanics for Beginners with applications to quantum communication and quantum computing , M. Suhail Zubairy, Oxford University Press, 2020.
8. "MICRO ȘI NANOTEHNOLOGII. INDRUMĂTOR DE LABORATOR. Tehnici de fabricare și caracterizare a filmelor subțiri cu aplicații în microelectronică", C. TIUSAN, T. Petrisor Jr, M. Gabor- Editura UTPRES 2013, ISBN 978-973-662-824-5.
9. "MECANICĂ CUANTICĂ PRIN APLICAȚII". C. TIUSAN, M. Gabor, T. Petrisor Jr- Editura UTPRES 2013, ISBN 978-973-662-825-2.
6. Grollier, J., Querlioz, D., Camsari, K.Y. et al. Neuromorphic spintronics. Nat Electron. 3, 360–370 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41928-019-0360-9>.
7. Jan Kaiser, Supriyo Datta, Probabilistic computing with p-bits, Appl. Phys. Lett. 119, 150503 (2021), <https://doi.org/10.1063/5.0067927>.
10. C. Psaroudaki and C. Panagopoulos , " Skyrmion qubits: A new class of quantum logic elements based on nanoscale magnetization", Phys. Rev. Lett. 127, 067201 (2021). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.127.067201>.
11. S D Sticlet, R Tetean, C Tiusan, Skyrmionic qubits stabilized by Dzyaloshinskii-Moriya interaction as platforms for qubits and quantum gates, Physical Review B 112 (19), 195435, (2025); DOI: <https://doi.org/10.1103/wq2b-b9fq>

9. Coroborarea conținuturilor disciplinei cu așteptările reprezentanților comunității epistemice, asociațiilor profesionale și angajatori reprezentativi din domeniul aferent programului

- Conținutul cursului este în concordanță cu programele de studiu ale altor universități din România și din străinătate, fiind adaptat particularităților activității de cercetare de la Universitatea Babeș-Bolyai. Pentru a răspunde cerințelor pieței muncii, conținutul acestor cursuri a fost ajustat la cerințele specifice învățământului universitar, institutelor de cercetare și industriei.

10. Evaluare

Tip activitate	10.1 Criterii de evaluare	10.2 Metode de evaluare	10.3 Pondere din nota finală
10.4 Curs	Profundimea, acuratețea și completitudinea cunoștințelor. Capacitatea de a utiliza cunoștințele asimilate, de a extrapola și de a realiza corelații pentru explicarea fenomenelor și problemelor conexe. Coerența logică. Capacitatea de a utiliza limbajul științific. Conștiințiozitatea și interesul pentru studiul individual.	Examen scris	70%
10.5 Seminar/laborator	Capacitatea de a explica și de a lucra cu cunoștințele dobândite. Prezență activă la seminare. Interactivitate în prezentările colegilor și participare la dialoguri în timpul și după prelegeri. Interactivitate în cadrul studiilor de caz.	Prelegere pe o temă impusă, cu prezentare publică. Prelegere și activități de seminar și laborator pentru consolidarea competențelor experimentale. Participarea tuturor studenților la prelegerile orale este obligatorie.	30%
10.6 Standard minim de performanță			
<ul style="list-style-type: none"> Demonstrarea înțelegerii paradigmei straturilor subțiri în știința materialelor, inclusiv capacitatea de a corela dimensionalitatea cu ajustarea proprietăților funcționale relevante pentru dispozitivele spintronice. Dobândirea cunoștințelor de bază privind principalele tehnologii de elaborare și tehnicile de caracterizare utilizate pentru materiale și heterostructuri de filme subțiri cu aplicații spintronice. Cunoașterea principalelor aplicații ale straturilor subțiri și ale dispozitivelor spintronice micro- și nano-structurate în tehnologiile moderne de stocare, procesare și manipulare a informației. Obținerea unui punctaj de minimum 50% din nota finală a evaluării cursului. 			

11. Etichete ODD (Obiective de Dezvoltare Durabilă / Sustainable Development Goals)²

	Eticheta generală pentru Dezvoltare durabilă							
								
								

² Păstrați doar etichetele care, în conformitate cu [Procedura de aplicare a etichetelor ODD în procesul academic](#), se potrivesc disciplinei și ștergeți-le pe celelalte, inclusiv eticheta generală pentru Dezvoltare durabilă - dacă nu se aplică. Dacă nicio etichetă nu descrie disciplina, ștergeți-le pe toate și scrieți "Nu se aplică."

Data completării:
7/01/2026

Semnătura titularului de curs

Prof. Dr. Coriolan TIUȘAN



Semnătura titularului de seminar

Prof. Dr. Coriolan TIUȘAN



Data avizării în departament:

Semnătura directorului de departament

SL. Dr. Mihai VASILESCU