

NANOFYZIKA (NF)

Specializace: Navazující magisterské studium - **Fyzikální elektronika - Fotonika, Laserová fyzika a technika**, Počítačová fyzika, resp. další fyzikální program (Kvantové technologie), 2. ročník

Semestr: zimní 2024/2025

Rozsah: 2, zk, 13 týdnů (**čtvrtek – 16.00 - 17.40 – Trojanova 121**, resp. *dle domluvy*)

Vyučující: Ivan Richter (richter@fjfi.cvut.cz), Trojanova 119, Troja TL L221, Tel: 778 533 012

Milan Šňor (sinor@fjfi.cvut.cz), Trojanova 123, Tel: 778-533-056

Předpoklady: absolvování předmětů - Kvantová mechanika, Elektrodynamika, Fyzikální optika, (Fyzika pevných látek)

Požadavky pro zápočet: úspěšný test (zápočtový), aktivní účast ☺, referát

MS Teams – 12NF – ZS 2024 / 2025 → Výukové materiály

1. týden (23-27/09)

1) Čt 26/09 – Úvodní setkání (I.R. + M.Š.)

Úvodní organizační setkání, sylabus, literatura, referáty + co nás bude čekat, motivace...

2. týden (30/09-04/10)

2) Čt 03/10 – Přednáška 1 (M.Š. - 1)

Úvod - makrostruktury, mikrostruktury, nanostruktury - dielektrické, polovodičové, metalické. Možnosti popisu - klasický vs. kvantový pohled, specifika, unikátní vlastnosti.

3. týden (07-11/10)

3) Čt 10/10 – Přednáška 2 (M.Š. - 2)

Fyzika – nanofyzika, elektronové vs. fotonické struktury. Obecný popis pevné látky - kvantový popis nanostruktur.

Řešení Schrödingerovy rovnice – pevná látka vs. nanostruktura, obecný popis. Energetické rozvahy, elektrony v pevné látce, elektrony a díry.

4. týden (14-18/10)

4) Čt 17/10 – Přednáška 3 (M.Š. - 3)

Fermiho plyn, Fermiho pravidlo, hustota stavů, potencialové jámy. Metody popisu nanostruktur: mikroskopické vs. makroskopické metody, aproximace efektivní hmotnosti, metoda empirického pseudopotenciálu, rigorózní metody.

5. týden (21-25/10)

5) Čt 24/10 – Přednáška 4 (M.Š. - 5)

Kvantově omezené struktury. 1D struktury - kvantové jámy (*quantum wells*), planární struktury, heteropřechody, mnohonásobné kvantové jámy (*multiple quantum wells*), symetrický / asymetrický případ, supermřížky; 2 D struktury - kvantové dráty (*quantum wires*); 3 D struktury - kvantové tečky (*quantum dots*).

6. týden (28/10-01/11)

6) Čt 31/10 – Přednáška 5 (M.Š. - 5)

Krystalová mříž, rozptyl nosičů náboje, fonony, energie fononů, akustický / optický fonon, objemová látka vs. nanostruktura. Tunelový efekt, tunelování přes bariéru (jednoduchá, dvojí), vliv elektrického pole. Excitony, matematický popis: Mottův-Wannierův a Frenkelův exciton.

7. týden (04/11-08/11)

7) Čt 07/11 – Přednáška 6 (I.R. - 1)

Úvod – fotonické a plazmonické nanostruktury. Plazmonika, elektromagnetismus kovů, specifika, disperzní modely (Drudeho, Drude-Lorentzův), reálné kovy. Povrchové plazmony – polaritony – úvod, vícevrstvé systémy, lokalizace.

8. týden (11-15/11)

8) Čt 14/11 – Přednáška 7 (I.R. - 2)

Povrchové plazmony – polaritony – vícevrstvé systémy, lokalizace. Metody excitace povrchových plazmonů. Lokalizované povrchové plazmony, možnosti popisu (statický, kvazistatický, Mie). Struktury s plazmonovou rezonancí. Metalické a metalo-dielektrické nanočástice a nanostruktury.

9. týden (18-22/11)

9) Čt 21/11 – Přednáška 8 (I.R. - 3)

Fotonické periodické struktury, přehled, klasifikace (1D, 2D, 3D); fotonické krystaly - charakteristika, fyzikální vlastnosti. Pásová struktura, zakázaný fotonický pás.

10. týden (25-29/11)

10) Čt 28/11 – Přednáška 9 (I.R. - 4)

Fotonické krystaly – metody popisu, optické vlastnosti. Příklady struktur: vlnovodné fotonické struktury, mikrodutiny a rezonátory, přírodní fotonické struktury, vlastnosti, přehled aplikací. Speciality – nelinearity, struktury s pomalým světlem (CROW), aj.

11. týden (02-06/12)

10) Čt 05/12 – Přednáška 10 (I.R. - 5)

Uměle vytvářené materiály a struktury – metamateriály, historie, popis, vlastnosti, záporný index lomu, inverzní efekty.

_ 12. týden (09-13/12)

11) Čt 12/12 – Přednáška 10 (I.R. - 6)

Uměle vytvářené materiály a struktury – metamateriály, příklady, metody popisu, aplikace. Hyperbolická prostředí, prostředí s extrémními parametry (ENZ), topologická nanofotonika, novinky.

_ 13. týden (16-20/12)

12) Čt 19/12 – Přednáška 11 - Dokončení přednášek dle potřeby (I.R. / M.Š.)

Referáty studentů + diskuze (termín dle domluvy - 01/2025)

_ 14. týden (06-10/01/2025)

TEST (termín dle domluvy)

Doporučená literatura:

Fyzika pevných látek, elektronové (kvantově omezené) nanostruktury:

- 1) C. Kittel, *Úvod do fyziky pevných látek*, Academia, 1985.
- 2) P. Harrison, *Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics*, John Wiley & Sons, 1999.
- 3) T. Harker, *Solid state physics*, výukový materiál
http://kfe.fjfi.cvut.cz/~sinor/tmp/edu/nf/pres/English_Solid_State_Physics_Course.pdf
- 4) P. Mitchel, *Solid state physics*, výukový materiál
<http://porlhews.tripod.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/solidstatephysics.pdf>
- 5) J. Soubusta, *Fyzika pevných látek*, výukový materiál
<http://jointlab.upol.cz/~soubusta/PL/FPLX.pdf>
- 6) P. N. Prasad: *Nanophotonics*, John Wiley & Sons, 2004.
- 7) C. P. Poole, F. J. Owens, *Introduction to Nanotechnology*, John Wiley & Sons, 2003.
- 8) P. Michler, *Single Quantum Dots: Fundamentals, Applications and New Concepts*,
- 9) A. Shik, *Quantum Wells: Physics and Electronics of Two-Dimensional Systems*, World Scientific Pub. Co., 1997.
- 10) U. Woggon, *Optical properties of semiconductor quantum dots*, Springer – Verlag, 1997.
- 11) M. Grundmann, *Nano-optoelectronics*, Springer – Verlag, 2002.

Fotonické struktury a krystaly:

- 12) J.D. Joannopoulos, S.G. Johnson, J.N. Winn, R.D. Meade, *Photonic crystals: Molding the flow of light*, 2nd Edition, Princeton University Press, 2008.
- 13) J.M. Lourtouz, H. Benisty, V. Berger, J.M. Gerard, D. Maystre, A. Tcheltnokov, *Photonic crystals: Towards nanoscale photonic devices*, Springer - Verlag, 2005
- 14) K. Sakoda, *Optical Properties of Photonic Crystals*, Springer, 2001.
- 15) P. Yeh, *Optical waves in layered media*, John Wiley & Sons, 1988.

Plazmonika:

- 16) S.A. Maier, *Plasmonics: fundamentals and applications*, Springer Science + Business Media LLC, 2007.
- 17) L. Novotny, B. Hecht, *Principles of nanooptics*, Cambridge university press, 2006.
- 18) C.F. Bohren, D. R. Huffman, *Absorption and scattering of light by small particles*, Wiley-VCH, 2004.
- 19) H.C. Hulst, *Light scattering by small particles*, Dover, 1981.

Metamateriály:

- 20) G.V. Eleftheriades, K.G. Balmain, *Negative-Refractive Metamaterials: Fundamental Principles and Applications* Wiley-IEEE Press, 2005.
- 21) N. Engheta, R.W. Ziolkowski, *Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*, John Wiley & Sons & IEEE Press, 2006.
- 22) W. Cai, V. Shalaev, *Optical Metamaterials Fundamentals and Applications*, Springer-Verlag, 2010
- 23) D. Werner, D.H. Kwon, *Transformation Electromagnetics and Metamaterials - Fundamental Principles and Applications*, Springer-Verlag, 2014
- 25) A.K. Sarychev, V.M. Shalaev, *Electrodynamics of Metamaterials*, World Scientific Publishing Company, 2007.

Obecné – optika / fotonika:

- 20) B.E.A. Saleh, M.C. Teich, *Fundamentals of Photonics*, J. Wiley & Sons, 1991; český překlad *Základy fotoniky*. Matfyzpress, Praha, 1995.
- 21) M. Bass, Ed., *Handbook of Optics I and II*, McGraw-Hill, 1995.
- 22) M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics*, Pergamon Press, 1993 (sixth edition).
- 23) P. Fiala, I. Richter, *Fourierovská optika a optické zpracování signálů*, skriptum FJFI ČVUT, Praha 2004.
- 24) P. Fiala, I. Richter, *Fyzikální optika*, skriptum FJFI ČVUT, 2. vydání, Praha 2005.