



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Příloha žádosti o podporu č.11: Popis úprav obsahu studijních programů

Název projektu: Inovace oborů Fyzika plazmatu, Biofyzika, Fyzika kondenzovaných látek, Teoretická fyzika a astrofyzika doktorského programu Fyzika na PřF MU
Žadatel: Masarykova univerzita

Obsahy výzkumně zaměřených studijních oborů Fyzika plazmatu (FP), Biofyzika (BF), Fyzika kondenzovaných látek (FKL) a Teoretická fyzika a astrofyzika (TFA) doktorského studijního programu Fyzika (DSPF) na PřF MU budou upraveny takto: do studijních plánů bude zařazeno 25 nových kurzů, jejichž seznam je níže.

Kurzy lze orientačně rozdělit do skupin dle cílů projektu (některé patří do více skupin):

- (a1) Kurzy usnadňující začínajícím doktorandům potřebné prohloubení základních znalostí ze zvoleného oboru a
- (a2) kurzy umožňující jim osvojit si potřebné pokročilé partie matematiky a znalosti nutné pro zvládnutí numerického modelování relevantních fyzikálních jevů apod.
- (b) Kurzy umožňující doktorandům získat přehled o oblastech výzkumu ve zvoleném oboru na fyzikálních ústavech PřF MU a CEITEC MU, o používaných metodách, a seznámit se podle možností také se souvisejícími oblastmi ostatních fyzikálních oborů.
- (c) Kurzy, ve kterých budou mít studenti příležitost seznámit se se špičkovými výzkumnými zařízeními získanými v rámci projektů CEITEC a CEPLANT.

Zařazení kurzů do skupin je v seznamu vyznačeno. Zároveň budou ze studijních plánů vyřazeny již neaktuální kurzy. Nové kurzy budou vyučovány v anglickém jazyce.

S úpravou studijních plánů souvisí aktualizace charakteristik a cílů studia a zkvalitnění profilu absolventa. Pokud jde o charakteristiky a cíle studia: v rámci inovovaného DSPF získají studenti kompetence v nově zařazených oblastech a metodách (např. v oblasti FP moderní výrobní technologie založené na využití plazmatu a v oblasti BF kryo-elektronová mikroskopie a integrativní strukturní biologie). Pokud jde o profil absolventa: podstatné je zvýšení uplatnitelnosti v praxi. Reforma zohledňuje požadavky odborníků z institucí zaměstnávajících absolventy DSPF (viz příloha 20), ve třech inovovaných oborech budou mít studenti příležitost seznámit se (aktivně) se špičkovým přístrojovým vybavením získaným v rámci velkých infrastrukturních projektů, do všech inovovaných oborů bude, po modifikaci se zřetelem ke

specifičnosti doktorského studia, zařazen kurz *Odborná praxe z fyziky*. Standardní délka praxe v tomto kurzu je 40 nebo 80 hodin, individuálně jsou možné i delší stáže.

Všechny tyto faktory zvyšují uplatnitelnost absolventů v základním i aplikovaném výzkumu (včetně firemního). Ke zvýšení uplatnitelnosti přispěje také zkvalitnění nabídky teoretických kurzů, poněvadž tyto kurzy rozvíjejí kreativitou a komplexnost uvažování, tj. schopnosti zásadní pro uplatnění ve výzkumu i v odvětvích jako je vývoj software nebo finančnictví.

Projekt předpokládá podání žádosti o reakreditaci DSPF s novou strukturou nabídky předmětů, upravenými charakteristikami oborů a profily absolventa v roce 2019. Beze změny zůstane název studijního programu a názvy oborů, typ studijního programu (doktorský, čtyřletý), forma studia (prezenční i kombinovaná) a standardní doba studia. V oblasti pravidel a podmínek pro vytváření studijních plánů dojde k drobným změnám spojeným s tím, že některé předměty budou do plánů zařazeny jako povinné nebo povinně volitelné (např. *Electrodynamics of Solids* v rámci oboru FKL a tři experimentální kurzy v rámci oboru FP), budou stanoveny doporučené návaznosti kurzů apod.

Pokud jde o odbornou praxi v užším smyslu slova: do všech inovovaných oborů bude zařazen kurz *Odborná praxe*. S ohledem na velkou rozmanitost témat dizertační práce pouze jako volitelný, ale předpokládáme, že bude řadou studentů zapsán a absolvován.

Zastoupení prakticky zaměřených předmětů je obtížné charakterizovat, poněvadž mnohé předměty na první pohled nepraktické vedou studenty ke komplexnímu způsobu uvažování a kreativitě potřebné v mnoha velmi prakticky zaměřených institucích. Kurzů obsahujících praktické prvky v užším smyslu slova (laboratorní trénink, průpravu v numerickém modelování jevů apod.) je mezi novými kurzy přibližně polovina.

Pokud jde o návaznosti na další typy studijních programů: úpravy doktorského studijního programu umožní integraci studentů z některých prakticky orientovaných oborů (např. obory VUT Brno zaměřené na aplikovanou fyziku).

Tato příloha obsahuje seznam kurzů s českými překlady názvů a vyznačením vztahů k cílům projektu. Následují popisy 25 nových kurzů, pro přehlednost po oborech. U každého kurzu je uveden

- název, název česky,
- rozsah (počet hodin přednášky/počet hodin cvičení)
- garant kurzu (osoba zodpovědná za přípravu kurzu, až na výjimky profesor nebo docent)
- vyučující (výhledově),
- stručný popis cílů předmětu
- osnova
- literatura.

U některých kurzů je přidána rubrika výukové metody, případně rubrika metody hodnocení. Jde o předběžné údaje o kurzech vycházející z diskusí o koncepci reformy. Předpokládá se důkladná příprava osnov v prvních měsících projektů a následně příprava studijních materiálů.

Seznam přednášek

Concepts in Biophysics	Základní ideje moderní biofyziky	b
Structural electron microscopy	Strukturní elektronová mikroskopie	b c
Integrative Structural Biology	Integrativní strukturní biologie	b c
Interactions between biomolecules	Biomolekulární interakce	b c
Problems and Issues of Molecular Modeling	Problémy molekulových simulací	a2 b
Methods of Structural Biology	Metody strukturní biologie	b c
Deposition and analysis of thin films	Depozice a analýza tenkých vrstev	a1 b c
Plasma diagnostics and simulations	Diagnostika a simulace plazmatu	a1 b c
Special Topics in Nanotechnology Science	Vybraná témata v nanotechnologii	b
Surface modifications and plasma applications	Modifikace povrchů a praktické aplikace plazmatu	a1 b c
Electrodynamics of Solids	Elektrodynamika pevných látek	a1 b c
Monte Carlo simulation as a numerical tool	Simulace Monte Carlo jako numerický nástroj	a2
Diagrammatic methods in modern condensed matter physics	Propagátory a diagramatické poruchové přístupy ve fyzice kondenzovaných látek	b
Physics of strongly correlated electron systems	Fyzika silně korelovaných elektronových systémů	b
Structural analysis methods in condensed matter physics	Strukturní metody ve fyzice kondenzovaných látek	a1 b c
Advanced Quantum Field Theory	Pokročilá kvantová teorie pole	a1
Statistical Physics of Particles and Fields	Statistická fyzika částic a polí	a1
The Standard Model of Particle Physics	Standardní model částicové fyziky	b

The Standard Model of Cosmology	Kosmologický standardní model	b
Advanced mathematical methods in theoretical physics	Pokročilé matematické metody v teoretické fyzice	a2
Advanced Methods in Data analysis	Pokročilé metody analýzy dat	
Advanced Hydrodynamics	Pokročilá hydrodynamika	b
Selected chapters from modern computational methods	Vybrané kapitoly z moderních výpočetních metod a jejich aplikace ve fyzice	a2
Scientific projects	Vědecké projekty	
The structure and evolution of stars	Struktura a vývoj hvězd	b

Biofizyka

Concepts in Biophysics

(Základní ideje moderní biofyziky)

Rozsah: 2/0 Ukončení: z.

Garant: Karel Kubíček

Vyučující: Mgr. Karel Kubíček, PhD. (přednášející)

Předpoklady:

Všeobecné matematické, chemické, biologické a fyzikální vzdělání

Cíle předmětu:

Seznámit nebiofyzikální studenty s moderními oblastmi biofyziky

Osnova:

0. Biofyzikální techniky měření energií, škály času a velikostí biologických procesů, systému a molekul
1. Struktura je determinujícím faktorem, který určuje vlastnost(i) molekuly a tedy biologickou funkci
Molekulové motory / supramolekulární komplexy
2. Voda je neuvěřitelně unikátní substance
Hydrofobní interakce má obrovský vliv na způsob, jakým proteiny získávají svoji strukturu (foldují) a na vznik biomolekulárních struktur
3. Entropie a volná Gibbsova energie (chemický potenciál) jsou klíčovými pojmy.
Entropie popisuje elasticitu DNA, hydrofobní interakce a koncentrační gradient produkující změny elektrochemického potenciálu.
4. Přechodové prvky hrají klíčové role v mnoha biomolekulárních procesech
5. Lékařská (bio) fyzika

Výukové metody : Účast na přednáškách, samostatné studium literatury a diskuze

Metody hodnocení : Aktivita při přednáškách sledována testy na závěr jednotlivých přednášek

Literatura:

1. Alasdair Steven, Wolfgang Baumeister, Louise N. Johnson, Richard N. Perham: Molecular Biology of Assemblies and Machines, Garland Science, 1st Ed. 2016
2. Donald Voeth and Judith G. Voeth: Biochemistry 4th Ed., Willey, 2010
3. Meyer B. Jackson: Molecular and Cellular Biophysics, Cambridge University Press, 1st Ed., 2006

Structural electron microscopy

(Strukturální elektronová mikroskopie)

Rozsah : 2/0 Ukončení: zk.

Garant: doc. Robert Vácha

Vyučující:

Dr. Tanvir Shaikh (přednášející)

Mgr. Jiří Nováček, Ph.D. (přednášející)

Předpoklady : Znalosti matematiky a fyziky na středoškolské úrovni

Cíle předmětu:

Kurz nabízí úvod do elektronové mikroskopie pro strukturální biologii a vědy o živé přírodě. Zahrnuje anatomii elektronového mikroskopu, princip tvorby obrazu a úvod do metod přípravy vzorků pro elektronovou mikroskopii. Studenti získají poznatky o analýze obrazů z kryo-elektronové mikroskopie, o jednočásticové analýze a elektronové tomografii.

Osnova:

1. Historie elektronové mikroskopie, aplikace a současné trendy
2. Uspořádání elektronového mikroskopu a princip vytváření obrazu
3. Transmisní a skenovací mikroskopie
4. Metody přípravy vzorku
5. Negativní barvení a a kryoelektronová mikroskopie makromolekulárních systémů
6. Fourierova transformace
7. Vzorkování a multivariantní analýza
8. Jednočásticová analýza
9. 3D rekonstrukční metody
10. Rozlišení a statistika
11. Elektronová tomografie
12. Interpretace EM dat ve strukturální biologii
13. Korelativní přístupy

Metody hodnocení: Písemná zkouška

Literatura:

1. John Kuo: Electron Microscopy: Methods and Protocols (Methods in Molecular Biology), Humana Press; 3rd ed. 2014
2. R. A Crowther: The Resolution Revolution: Recent Advances In cryoEM, Volume 579 (Methods in Enzymology) 1st Edition, Academic Press, 2016
3. Annie Cavalier, Daniele Spehner, Bruno M. Humbel: Handbook of Cryo-Preparation Methods for Electron Microscopy (Methods in Visualization), CRC Press; 1st Ed., 2008

Integrative Structural Biology

(Integrativní Strukturní Biologie)

Rozsah: 2/0. Ukončení: kz./zk.

Garant: doc. Robert Vácha

Vyučující: Mgr. Karel Kubíček, PhD. (přednášející)

Předpoklady: Všeobecné povědomí o molekulové biofyzice, strukturní biologii a odpovídající matematicky, chemický, biologický a fyzikální aparát

Cíle předmětu:

Poskytnout studentům přehled technik a postupů umožňujících studium dynamiky a struktury biomolekul od malých proteinových domén až po velké molekulární komplexy – tzv. molekulární stroje

Osnova:

1. Komplementární techniky studia struktury biomolekul
 - a) Nukleární magnetická rezonance – NMR
 - b) Rentgenová krystalografie – X-Ray
 - c) Elektronová paramagnetická rezonance – EPR
 - d) Hmotnostní spektrometrie – MS
2. Studium dynamiky biomolekul
 - a) Fluorescenční spektroskopie – FA
 - b) Nukleární magnetická rezonance – NMR
3. Určení interakčních konstant a interakčních rozhraní
 - a) Izotermální titrační kalorimetrie – ITC
 - b) Termoforéza – MST
 - c) Fluorescenční anisotropie – FA
4. Určení biomolekulárních komplexů
 - a) Rentgenový rozptyl pod malými úhly – SAXS
 - b) Výpočetní nástroje integrativní strukturní biologie
 - c) Zobrazovací nástroje

Výukové metody: Účast na přednáškách, samostatné studium literatury, řešení strukt. biol. problému a diskuze

Metody hodnocení: Závěrečný test

Literatura:

1. Donald Voeth and Judith G. Voeth: Biochemistry 4th Ed., Willey, 2010
2. Michael F Moody: Structural Biology Using Electrons and X-Rays, Academic Press, 1st Ed., 2011
3. Iain D. Campbell: Biophysical Techniques, Oxford University Press, 1st Ed., 2012

Interactions between biomolecules

(Biomolekulární interakce)

Rozsah: 1/0. Ukončení: zk.

Garant: doc. Mgr. Richard Štefl, PhD.

Vyučující: doc. Mgr. Richard Štefl, PhD. (přednášející)

Předpoklady: Základní znalosti o složení a primární sekvenci proteinů a nukleových kyselin

Cíle předmětu:

Předmět si klade za cíl seznámit studenty se základními typy interakcí, kterými spolu interagují proteiny s nukleovými kyselinami, zejména RNA.

Osnova:

1. Struktura biomolekul –sekundární, terciární, kvartérní
 - a) Ribonukleová kyselina
 - b) Deoxyribonukleová kyselina
 - c) Proteiny
2. Rozpoznání RNA proteiny
 - a) Strukturní motivy
 - b) Sekvenční motivy
3. Metody pro studium interakcí mezi proteiny a nukleovými kyselinami a jejich komplexů
 - a) Biochemické metody pro určení interakčních afinit
 - b) Strukturní metody pro studium interakcí na atomární úrovni
 - c) Přednosti a nevýhody jednotlivých metod
4. Vizualizační programy
5. Statické zobrazení struktur
6. Zobrazení dynamických dat – „morphing“

Výukové metody: Samostatné studium literatury, prezentace a diskuze

Metody hodnocení: Prezentace a diskuze studovaného problému

Literatura:

1. Wolfram Saenger: Principles of Nucleic Acid Structure, Springer, 1988
2. Victor A. Bloomfield, Donald M. Crothers, Ignacio Tinoco, Jr.: Nucleic Acids: Structures, properties, functions, University Science Books, 1st Ed., 2000
3. Donald Voeth and Judith G. Voeth: Biochemistry 4th Ed., Willey, 2010
4. Raymond F. Gesteland, Thomas R. Cech: The RNA World 3rd Ed., Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2005

Problems and Issues of Molecular Modeling

(Problémy molekulových simulací)

Rozsah: 2/0/0. 2 kr. (plus ukončení). Ukončení: z.

Garant: doc. RNDr. Robert Vácha, PhD.

Vyučující: doc. RNDr. Robert Vácha, PhD. (přednášející)

Předpoklady: C7790 Počítač.chemie a Molekulové Modelování I, časté používání molekulového modelování

Cíle předmětu:

Seznámit studenty s limity a omezeními výpočetních metod a matematických nástrojů implementovaných do programů pro molekulové modelování.

Osnova:

1. Termostaty:
 - 11 – Zachování ekvipartičního teorému – letící ledová kostka
 - 12 – Správnost termostatu – kanonický soubor
 - 13 – Oddělené termostaty pro různé části systému
 - 14 – Stochastické termostaty a dynamika
2. Dalekodosahové interakce:
 - 21 – Cut-off
 - 22 – Elektroneutralita systému
 - 23 – Dipól v boxu
3. Forcefield:
 - 31 – Parametrizace proteinů
 - 32 – Různá mixovací pravidla
 - 33 – Polarizační katastrofa
 - 34 – Protein voda
 - 35 – Škálování nábojů
4. Externí pole:
 - 41 – Pohyb nenabitých částic v el. poli

Výukové metody: Samostatné studium literatury, prezentace a diskuze

Metody hodnocení: Prezentace a diskuze studovaného problému

Literatura:

1. Daan Frenkel, Berend Smit: Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications (Computational Science) 2nd Ed., Academic Press, 2001
2. Andrew Leach: Molecular Modelling: Principles and Applications, Pearson, 2001

Methods of Structural Biology

(Metody strukturní biologie)

Rozsah: 3/2/0. 5 kr. (plus ukončení). Ukončení: zk. / z

Garant: Mgr. Pavel Plevka Ph.D.

Vyučující: Mgr. Pavel Plevka Ph.D. (přednášející)

Předpoklady: Všeobecné povědomí o středoškolské matematice a geometrii. Goniometrické funkce, matice, vektorová algebra.

Cíle předmětu:

Kurz seznámí studenty s teorií a metodami proteinové krystalografie, a kryo-elektronové mikroskopie. Součástí kurzu bude teoretický a počítačový seminář s praktickým předvedením výpočtu struktur z experimentálních dat. Studenti se dozvědí o využití těchto metod pro studium makromolekul a jejich komplexů.

Osnova:

1. Úvod, krystaly, symetrie a záření X
2. Krystaly a symetrie, teorie rentgenové difrakce
3. Teorie rentgenové difrakce krystaly I.
4. Teorie rentgenové difrakce krystaly II.
5. Intenzita signálu
6. Řešení fázového problému
7. Fáze
8. Anomální rozptyly
9. Molecular Replacement II., Laueho difrakce, zpřesňování strukturního modelu,
10. Elektronová mikroskopie biomolekul a jejich komplexů
11. Klasifikace snímků a multivariantní analýza
12. 3D rekonstrukce

Výukové metody: Účast na přednáškách, cvičení a samostudium (samostudium zahrnuje čtení kapitol z učebnice a vypracovávání domácích úkolů).

Metody hodnocení: Vypracování domácích úkolů, závěrečný test

Literatura:

1. Joseph Goldstein, Dale E. Newbury, David C. Joy, Charles E. Lyman, Patrick Echlin (Author), Eric Lifshin, Linda Sawyer, J.R. Michael: Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis: Third Edition 3rd Edition, Springer, 2003
2. Donald E. Sands: Introduction to Crystallography (Dover Books on Chemistry), Dover Publications; Revised ed. 1994
3. Dennis Sherwood, Jon Cooper: Crystals, X-rays and Proteins: Comprehensive Protein Crystallography, Oxford University Press; 1st Ed., 2015

Fyzika kondenzovaných látek

Electrodynamics of Solids

(Elektrodynamika pevných látek)

Rozsah: 2/1, ukončení: zk.

Garant: Josef Humlíček

Vyučující: Josef Humlíček, Dominik Munzar, Adam Dubroka

Cíle:

V rámci kurzu jsou studentům představeny základy teorie optické odezvy. Studenti jsou seznámeni s často používanými fenomenologickými modely a hlavními mikroskopickými mechanismy odezvy, s optickými vlastnostmi běžných materiálů i pokročilých materiálů studovaných na ÚFKL PŘF a ve skupině Funkční vlastnosti nanostruktur CEITEC MU a s nejvýznamnějšími spektroskopickými metodami.

Po absolvování kurzu by studenti měli

- (a) být schopni popisovat šíření záření v látce na úrovni klasické elektrodynamiky,
- (b) rozumět základům kvantověmechanického popisu optické odezvy, (c) rozumět hlavním mechanismům odezvy a orientovat se v optických vlastnostech běžných materiálů, (d) mít přehled o běžných spektroskopických metodách, o oblastech jejich použití a o způsobech analýzy optických dat.

Osnova:

1. Od mikroskopických Maxwellových rovnic k makroskopickým Maxwellovým rovnicím, materiálové vztahy a odezvové funkce, Fourierova transformace Maxwellových rovnic, popis šíření elektromagnetického záření v látce, dielektrická funkce a index lomu.
2. Obecné vlastnosti odezvoových funkcí, Kramersovy-Kronigovy relace a sumační pravidla.
3. Klasické modely: odezva vázaných a volných nábojů.
4. Kvantověmechanický popis interakce elektromagnetického záření s látkou, odvození vztahů pro odezvové funkce. Shrnutí jednoelektronové teorie krystalických pevných látek, vyjádření odezvy souboru elektronů v krystalické pevné látce v rámci jednoelektronové teorie a aproximace náhodných fází.
5. Mechanismy: jedno- a více fononová absorpce, odezva plasmy volných elektronů, mezipásové přechody a kritické body.
6. Přehled optických vlastností kovů, polovodičů, izolantů, nanostruktur, supravodičů a dalších materiálů studovaných na ÚFKL PŘF MU.
7. Aproximace efektivního prostředí pro nehomogenní systémy.
8. Přehled spektroskopických metod. Lineární odezva – měření odrazivosti, propustnosti; elipsometrie. Rozptyl záření – Ramanova spektroskopie. Emisní spektroskopie – fotoluminiscence.

Výukové metody:

Přednášky a laboratorní cvičení, ve kterých se studenti podílejí na optických měřeních. Cvičení zahrnuje tyto úlohy: (i) určení kritických bodů mezipásových přechodů v polovodičích (Si, Ge, GaN, CdS) pomocí spektroskopické elipsometrie; (ii) určení emisních energií kvantových jam a kvantových teček InGaAs nanostruktur pomocí fotoluminiscence; (iii) určení řádného a mimořádného spektra fononů v krystalickém GaN a SiO₂ pomocí infračervené odrazivosti a Ramanské spektroskopie; (iv) srovnání frekvenční závislosti odezvy volných elektronů v dopovaném Si, supravodiči YBa₂Cu₃O₇ a feromagnetickém vodiči La_{0.3}Sr_{0.7}MnO₃ pomocí infračervené elipsometrie.

K řešení úloh budou použity elipsometry Woollam VASE a Woolam IR-VASE a Ramanský spektrometr NTMDT z core facility CEITECu a infračervený spektrometr Bruker IFS 66 z vybavení UFKL.

Podmínkou postupu k ústní zkoušce je úspěšné absolvování laboratorní části, tj. odevzdání protokolů o měření k alespoň třem úlohám z výše uvedeného seznamu.

Literatura:

1. Martin Dressel a George Gruner: *Electrodynamics of Solids – Optical properties of Electrons in Matter*, Cambridge University Press 2002.
2. Mark Fox: *Optical Properties of Solids*, Oxford University Press 2010.
3. Frederick Wooten: *Optical Properties of Solids*, Academic Press 1972.
4. Eduard Schmidt a kol.: *Optické vlastnosti pevných látek*, SPN 1986.
5. Hans Kuzmany: *Solid State Spectroscopy*, Springer, 2009.

Monte Carlo simulation as a numerical tool

(Simulace Monte Carlo jako numerický nástroj)

Rozsah: 2/1/0 zk

Garant: Dominik Munzar

Vyučující: Dominique Geffroy

Cíle:

Během kurzu se studentu setkají s metodou Monte Carlo jako mocným a flexibilním nástrojem k řešení mnoha úloh, od statistické mechaniky až k hodnocení finančních derivátů, včetně některých jednoduchých jevů z kvantové fyziky. Hlavním cílem je dát studentům povědomí o síle této metody v různých formách. Formální matematické základy budou omezeny na nezbytné minimum, aby bylo možno se soustředit na aplikace a zkoumání fyzikálních jevů, které tato metoda umožňuje.

V první části kurzu se na příkladu jednoduchých algoritmů ukáží numerické možnosti techniky Monte Carlo. Důraz je kladen na vztah mezi přístupem molekulární dynamiky a Monte Carlo simulacemi. S těmito znalostmi studenti postoupí k problémům kvantové fyziky, s použitím formalismu dráhového integrálu a Levyho vzorkování kvantových drah. V závěrečné části kurzu se vrátíme ke klasické fyzice, od lokálních algoritmů přejdeme k moderním a efektivním postupům, např. klastrové algoritmy.

Výuka se bude skládat z přednášky představující koncepty, následovanou praktickými "hands-on" pokusy ve třídě. Doplnkem budou domácí úlohy také zaměřené na praktické výpočty. Velký důraz bude kladen na dobré programátorské návyky a efektivní průběh práce, se kterým se studenti seznámí během praktické výuky. Tato stránka je zásadní zejména pro studenty, kteří zamýšlejí pokračovat v kariéře v průmyslovém softwarovém vývoji. Doporučovaným jazykem v kurzu je python, ale možné jsou i alternativy, pokud dovolují používat objektově orientovaný přístup.

Osnova:

1. Introduction to Monte Carlo: Direct sampling, Markov chain Monte Carlo sampling, global and detailed balance condition, Metropolis algorithm.
2. From classical mechanics to statistical mechanics: Event-driven approach, statistical physics, ergodicity.
3. Phase transitions, Integration by sampling: Direct sampling of the 1D hard-sphere problem, origin of the depletion interaction, Asakura-Oosawa interaction in physical systems.
4. Sampling and integration: Change of variable vs sampling transformation, sampling uniform points on a sphere in high dimension, Maxwell and Boltzmann distributions

from the equiprobability principle.

5. Density matrices and path integrals: Quantum statistical physics, Density matrix, Trotter decomposition, Feynman path integral.
6. Levy sampling of quantum paths: Bosonic statistics (with wave functions), consequences of quantum indiscernability in a many-body system.
7. Bose-Einstein condensation: Path-integral Monte-Carlo simulation for a many-body system, analysis in terms of random permutations.
8. Cluster algorithms: Heat bath algorithm, coupling of Markov chains, cluster sampling, perfect sampling in the Ising model.
9. Advanced algorithms: Dynamical Monte-Carlo, Faster-than-the-clock approach, simulated annealing.
10. Monte-Carlo in finance: introduction to financial modeling, product pricing with Monte-Carlo simulation.

Literatura:

1. David P. Landau and Kurt Binder: A guide to Monte-Carlo simulations in Statistical Physics, 3rd edition, Cambridge University Press.
2. Werner Krauth: Statistical mechanics, algorithms and computations, Oxford University Press.
3. Justin London: Modeling financial derivatives in C++, John Wiley and Sons.

Diagrammatic methods in modern condensed matter physics

(Propagátory a diagramatické poruchové přístupy ve fyzice kondenzovaných látek)

Rozsah: 2/1

Garant: Dominik Munzar

Vyučující: Jiří Chaloupka

Cíle předmětu:

Uvedení do problematiky popisu mnohačasticových systémů pomocí propagátorů a jejich diagramatického vyčíslování. Na konci kurzu by studenti měli mít přehled o příslušném formalismu a možnostech jeho aplikací v teorii kondenzovaných látek. Kromě porozumění formálním aspektům a schopnosti řešit jednoduché úlohy by měli získat vzhled do souvislosti s experimentálními technikami a využívat je při interpretaci experimentálních dat.

Výukové metody a hodnocení:

Výuka bude probíhat formou přednášek a cvičení, na kterých budou prováděny drobnější výpočty doplňující látku předcházející přednášky a prezentovány rozsáhlejší projekty zadávané studentům v průběhu semestru. Předmět bude zakončen formou kolokvia. Od studentů bude vyžadováno obecné porozumění problematice předmětu, aktivní přístup na cvičení a řešení jednoho rozsáhlejšího projektu. Příklady projektů: výpočet a rozbor Lindhardovy funkce pro různé dimenze, výpočet selfenergie v rámci GW aproximace, řešení modelu Engelsberga a Schrieffera.

Osnova:

1. Greenovy funkce a propagátory v úlohách klasické fyziky a jednočasticové kvantové mechaniky
 - stacionární případ: elektrostatické úlohy, Coulombův potenciál
 - nestacionární případ: difúzní a vlnová rovnice
 - časový vývoj v kvantové mechanice, řešení nestacionární Schrödingerovy rovnice metodou propagátorů
 - časová a frekvenční doména, různé typy propagátorů a jejich analytické vlastnosti
 - souvislost se spektrem vlastních stavů/módů, spektrální hustota
2. Motivační úloha: Pohyb elektronu v mříži s příměsovým atomem
 - propagátor elektronu v přiblížení těsné vazby
 - poruchové započtení rozptylu na příměsí, grafické vyjádření poruchové teorie
 - vázané a rezonanční stavy
3. Připomenutí formalismu druhého kvantování a statistického popisu kvantových systémů mnoha částic
4. Propagátory

- zavedení a formální vlastnosti propagátorů v mnohačasticových kvantových systémech
spektrální reprezentace a souvislost různých typů propagátorů
příklady: propagátor elektronu v neinteragujícím elektronovém plynu, kvantová tečka v kontaktu s kovem (Andersonův model příměsi)
Matsubarovy propagátory pro konečné teploty
5. Výpočet amplitud pomocí diagramatické poruchové teorie
Dysonova poruchová řada pro operátor časového vývoje
Wickův teorém
Feynmanovy diagramy a pravidla pro jejich vyčíslování
zacházení s frekvenčními integracemi a sumacemi přes Matsubarovy frekvence
 6. Neinteragující elektronový plyn
teorie lineární odezvy, Kubova formule
neinteragující elektronový plyn v externím potenciálu, Linhardova funkce
dielektrická funkce, paramagnetická susceptibilita
RKKY interakce, pozorování jejích projevů pomocí spinově polarizovaného STM
 7. Elektronový plyn s coulombovskou interakcí
Hartreeho-Fockova aproximace
stíněná coulombovská interakce v rámci RPA aproximace, plazmony, Landauovo tlumení
selfenergie elektronu v GW aproximaci
 8. Itinerantní magnetismus
Hubbardův model
spinová susceptibilita v rámci RPA aproximace
magnetická nestabilita a kritické chování v její blízkosti: paramagnony a logaritmická singularita v efektivní hmotnosti elektronů
 9. Interagující elektron-fononový systém
mřížové vibrace a propagátor volného fononu
elektron-fononová interakce
renormalizace elektronů a fononů vzájemnou interakcí (polaron, Kohnovy anomálie)
 10. Supravodivost
Cooperova nestabilita
zavedení anomálních propagátorů a Nambuho maticová formulace
BCS rovnice pro supravodivou mezeru

Literatura:

- A.A. Abrikosov, L. P. Gorkov a I.E. Dzyaloshinski: Methods of Quantum Field Theory in Statistical Physics, Dover Publications, New York, 1975
- S. Doniach a E. H. Sondheimer: Green's Functions for Solid State Physicists, Imperial College Press, London, 1998
- G. D. Mahan: Many-Particle Physics, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2000
- G. Rickayzen: Green's Functions and Cond. Matter, Dover Publications, New York, 2013

Physics of strongly correlated electron systems

(Fyzika silně korelovaných elektronových systémů)

Rozsah: 2/1

Garant: Dominik Munzar

Vyučující: Dominik Munzar, Jiří Chaloupka

Cíle předmětu:

Výklad nejjednodušších modelů používaných v teorii silně korelovaných systémů doprovázený příklady experimentálních dat (fázových diagramů apod.) oxidových materiálů se silně korelovanými elektrony. Absolvování kurzu by studentům mělo přinést základní orientaci v problematice a představu o významných otevřených problémech.

Výukové metody a hodnocení:

Výuka bude probíhat formou přednášek a cvičení, na kterých budou prováděny drobnější výpočty doplňující látku předcházející přednášky a prezentovány rozsáhlejší projekty zadávané studentům v průběhu semestru. Předmět bude zakončen formou kolokvia. Od studentů bude vyžadováno obecné porozumění problematice předmětu, aktivní přístup na cvičení a řešení jednoho rozsáhlejšího projektu. Příklady projektů: řešení t-J hamiltoniánu na úrovni přiblížení středního pole, polaron v t-J modelu v rámci SCBA, výpočet multipletové struktury, odvození hamiltoniánu Kugelova-Khomského typu

Osnova:

1. Lokalizované a itinerantní elektrony v pevných látkách
2. Hubbardův model s jedním orbitalem
3. Několik pohledů na Mottův přechod
4. Vybraná variační řešení problému daného Hubbardovým hamiltoniánem
antiferomagnet Slaterova typu
Gutzwillerův ansatz a Gutzwillerova aproximace
5. Případy, kdy je Hubbardovo U mnohem větší než šířka pásu
odvození Heisenbergova hamiltoniánu
řešení s antiferomagnetickým uspořádáním a jejich stabilita/nestabilita
6. t-J model
renormalizace děr spinovými fluktuacemi
párové korelace: variační ansatz tvaru RVB ("resonating valence bond") a
Andersonovy představy o supravodivosti v kuprátech
7. Hubbardův model s více orbitaly
lokální korelace (odvození z Coulombovy interakce)
řešení pro izolovaný iont, multipletová struktura

- krystalové pole a snímání orbitalové degenerace
přeskoky elektronů mezi ionty s přihlédnutím k orbitalovému stupni volnosti
8. Spin-orbitalové modely typu Kugel-Khomskii
ukázka odvození modelu pro vybraný případ
spin-orbitalová uspořádání na úrovni přiblížení středního pole, Goodenoughovo-Kanamoriho-Andersonovo pravidlo
 9. Příklady z fyziky oxidů přechodových kovů
manganáty (dvojitá výměna a Jahnův-Tellerův jev)
KCuF₃ (orbitalové uspořádání a redukce dimenze)
kobaltáty (mísení spinových stavů)
iridáty (spin-orbitální interakce a exotický magnetismus)
 10. Dynamická teorie středního pole (DMFT)
základní ideje přístupu DMFT
pásová struktura na úrovni DFT
numerické přístupy k řešení lokálního problému příměsí

Literatura:

1. P. Fazekas: Lecture notes on electron correlation and magnetism, World Scientific, Singapore, 1999
2. P. Fulde: Electron correlations in molecules and solids, Springer, Berlin, 1995
3. D. I. Khomskii: Transition Metal Compounds, Cambridge University Press, Cambridge, 2014

Structural analysis methods in condensed matter physics

(Strukturní metody ve fyzice kondenzovaných látek)

Rozsah 2/2/0. 2 kr. (plus ukončení).

Ukončení: zk.

Garant: Václav Holý

Vyučující: Václav Holý, Ondřej Čaha, Jiří Novák

Cíle předmětu

V přednášce je podána základní informace o metodách studia struktury ve fyzice kondenzovaných látek, které zahrnují metody založené na interakci rtg záření s látkou a metody využívající rozptyl neutronů a elektronů. Po úspěšném absolvování tohoto předmětu by studenti měli být schopni porozumět fyzikálnímu principu strukturních metod – navrhnout vhodný experimentální postup pro zadaný strukturní problém – používat experimentální vybavení ústavu pro určení struktury zadané kondenzované látky – vyhodnotit experimentální data a srovnat s teoretickým modelem

Osnova

1. Vlastnosti rtg záření, Thomsonův rozptyl rtg záření na elektronu, rozptyl na atomech, atomový rozptylový faktor. Absorpce rtg záření, základy rtg absorpční spektroskopie
2. Rozptyl rtg záření na krystalické tuhé látce, rtg difrakce. Kinematická aproximace, Fraunhoferova aproximace.
3. Kinematická rtg difrakce na krystalických vrstvách, určení mřížkových parametrů tenké vrstvy a stupně plastické relaxace.
4. Difrakce na polykrystalech, Rietveldova metoda, fázová analýza
5. Maloúhlý rozptyl rtg záření, metody SAXS a GISAXS, rtg reflexe, určení tloušťky tenké vrstvy a drsnosti rozhraní
6. Rtg rozptyl na nanostrukturách, Debyeho formule, párová distribuční funkce, určení střední velikosti nanočástic.
7. Koherentní difrakce, řešení fázového problému
8. Laboratorní a synchrotronové rtg zdroje, rtg optika, rtg detektory.
9. Vlastnosti neutronů, interakce neutronů s látkou, jaderný a magnetický rozptyl neutronů
10. Neutronové zdroje a detektory, neutronová optika.
11. Aplikace neutronového rozptylu – studium dynamiky krystalové mřížky a magnetického uspořádání
12. Interakce elektronů s látkou, hloubka vniku, kvantový popis elektronového rozptylu
13. Princip činnosti transmisního elektronového mikroskopu, vznik obrazu. Transmisní elektronová mikroskopie s vysokým rozlišením.
14. Rastrovací elektronová mikroskopie, princip činnosti, vznik obrazu. Rastrovací

- transmisní elektronová mikroskopie
15. Chemická analýza pomocí elektronů, metody EELS, EDX, WDX
 16. Metoda EBSD
 17. Příprava vzorků pro elektronovou mikroskopii, metoda FIB

Výukové metody

Přednáška, laboratorní práce na přístrojích v laboratořích ústavu. Laboratorní práce budou zahrnovat tyto úlohy:

1. Kvalitativní fázová analýza polykrystalické tenké vrstvy, Rietveldovské upřesnění poloh atomů v elementární buňce
2. Určení stupně plastické relaxace v epitaxní vrstvě, odhad hustoty misfit dislokací
3. Určení tloušťky tenké vrstvy a střední kvadratické drsnosti rozhraní pomocí rtg reflexe
4. Určení střední velikosti nanočástic a stupně korelace jejich poloh pomocí maloúhlého rtg rozptylu.

K řešení těchto úloh se použijí difraktometry RIGAKU Smartlab9kW a RIGAKU Smartlab3kW v CEITEC core facility jakož i difraktometr RIGAKU Smartlab3kW na ÚFKL (CEPLANT).

Literatura

1. J. Als-Nielsen and D. McMorrow, Elements of Modern X-ray Physics, Wiley 2011
2. U. Pietsch et al., High-resolution x-ray scattering from thin films and nanostructures, Springer 2004
3. D. B. Williams and C.B. Carter, Transmission Electron Microscopy, Springer 1996
4. J. Goldstein et al., Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis, Springer 2003
5. G. L. Squires, Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering, Cambridge Univ. Press 2012

Fyzika plazmatu

Deposition and analysis of thin films

(Depozice a analýza tenkých vrstev)

Rozsah: 1 hodina přednáška, 2 hodiny cvičení (krát 11 týdnů)

Ukončení: Z

Garant: Petr Vašina

Vyučující:

Petr Vašina, Pavel Souček, Lukáš Zábranský, Vilma Buršíková, Daniel Franta, Jana Jurmanová, Monika Stupavská, Pavel Slavíček, Jan Voráč

Cíle předmětu:

Předmět dává studentům možnost se seznámit s principy, možnostmi i omezeními zařízení jak pro depozici tenkých vrstev a povlaků, tak pro jejich následnou analýzu. Tyto znalosti a dovednosti jsou důležité pro správné vyhodnocení možností a volbu správných vědeckých metod při vlastní vědecké práci během studia tak v následné praxi. Předmět je určen doktorským studentům fyziky plazmatu a sleduje především tyto cíle:

- Seznámit studenty s různými typy depozičních technik a aparatur
- Seznámit studenty s technikami charakterizace vrstev a povlaků – důraz bude kladen na charakterizaci struktury, chemického složení, optických i mechanických vlastností
- Formou praktické výuky si studenti všechny dostupné metody sami vyzkouší

Absolvováním předmětu získá student tyto znalosti a dovednosti:

- Základní znalost depozičních technik.
- Základní znalosti analyzačních technik
- Schopnost kriticky posoudit možnosti a omezení jednotlivých technik.
- Schopnost výběru technik pro dosažení zadaných cílů ve výzkumné práci.

Osnova:

1. PVD/PECVD depoziční metody (Souček/Slavíček/Buršíková, 2 týdny)
2. XPS – Rentgenová fotoelektronová spektroskopie (Stupavská, 1 týden)
3. SEM – Rastrovací elektronová mikroskopie (Jurmanová, 1 týden)
4. Mikro- a Nanoindentace (Buršíková/Zábranský, 1 týden)
5. Pokročilé metody v elipsometrii (Franta, 1 týden)
6. AFM – Mikroskopie atomárních sil (Buršíková, 1 týden)
7. Rentgenová difrakce (Souček, 1 týden)
8. Ramanovská spektrometrie (Souček, 1 týden)
9. Měření dynamického kontaktního úhlu (Buršíková, 1 týden)
10. Konfokální mikroskopie (Souček, 1 týden)

Výukové metody:

- Vakuová napařovačka – depozice

- Zařízení pro magnetronové naprašování – depozice
- Reaktor pro CVD – depozice
- Multi-instrumentální XPS spektrometr ESCALAB 250Xi . měření chemického složení a vysokorozlišené skeny pro rozlišení přítomných vazeb
- Rastrovací elektronový mikroskop TESCAN MIRA3 – analýza povrchu – módy SE i BSE, analýza chemického složení – EDX
- Nanoindentor Fischerscope H100 – měření mechanických vlastností kvazistatickými indentačními testy
- UV-VIS-NIR Spektrofotometr LAMBDA 1050 – měření propustnosti a odrazivosti materiálů
- Mikroskop atomárních sil NTEGRA Prima NT-MDT – mapování povrchu
- RTG difraktometr SmartLab – difrakce materiálů a identifikace fází, rentgenová reflexe – měření tloušťky vrstev
- Ramanovský mikrospektrometr HORIBA LabRAM HR Evolution – identifikace přítomných chemických vazeb
- Zařízení pro měření dynamického kontaktního úhlu KRÜSS DSA30 – určení povrchové energie látek
- Konfokální mikroskop OLS 3000 – 3D mapování povrchu

Literatura:

1. H. Frey, H.R. Khan, Handbook of Thin Film Technology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, ISBN 978-3-642-05429-7
2. K. Seshan, Handbook of Thin-Film Deposition Processes and Techniques: Principles, Methods, Equipment and Applications, Noyes Publications, 2002, ISBN: 0-8155-1442-5
3. H.G. Tompkins, A Users's Guide to Ellipsometry, Academic Press Inc, 1993, ISBN 0-12-693950-0
4. M.L. Oyen, Handbook of Nanoindentation With Biological Applications, an Stanford Publishing, 2010, ISBN: 978-981-4241-89-2
5. B. Fultz, J.M. Howe, Transmission Electron Microscopy and Diffraction of Materials, Springer, 2013, ISBN 978-3-642-29760-1

Plasma diagnostics and simulations

(Diagnostika a simulace plazmatu)

Hodinová dotace: 1 hodina přednáška, 2 hodiny cvičení (11 týdnů)

Ukončení: Z

Garant: Pavel Dvořák

Kontaktní osoba: Jan Voráč

Vyučující:

Jan Voráč, Tomáš Hoder, Jaroslav Hnilica, Zdeněk Bonaventura, Zdeněk Navrátil, Pavel Dvořák

Cíle předmětu:

Cílem předmětu je studenty blíže seznámit s pokročilými metodami diagnostiky plazmatu a jeho simulací, kterým se na ústavu aktivně věnujeme. Výuka bude probíhat na špičkových experimentálních aparaturách používaných přímo ve výzkumu. Studenti získají praktické znalosti o metodách aktuálně využívaných na ústavu, pochopí jejich princip, možnosti i omezení.

Výukové metody:

Předmět je rozdělen na 8 úloh (viz níže). Ke každé úloze bude hodinová přednáška, která má připomenout základní princip metody, jenž by měl být znám z přecházejících kurzů. 2 hodiny cvičení pak budou věnovány intenzivní práci v laboratoři či s příslušným softwarem, během níž studenti získají praktické poznatky a zkušenosti o těchto experimentálních a simulačních technikách. Na tři nejnáročnější úlohy je vyhrazen dvojnásobný čas. Každý vyučující vhodnou formou (protokol, rozprava...) přezkouší studenty, zda vyučovanou látku zvládli. K praktické části výuky se budou využívat tyto přístroje: Becker & Hickl SPC-150, spektrometr FHR-1000, spektrometr Andor Shamrock 750, ICCD kamera PIMAX 2 a PIMAX 3, pulsní laser s laditelnou vlnovou délkou (Spectra-Physics, Sirah), Osciloskop Keysight Infinium DSOS204A

Osnova:

1. Časově korelované čítání fotonů, určení lokálního elektrického pole. (Hoder/Navrátil, 2 týdny)
2. Měření koncentrace částic v nezářivých stavech pomocí samoabsorpce (Hnilica)
3. Modelování elektrického pole v COMSOLu (Bonaventura/Obrusník, 2 týdny)
4. Fázově rozlišená šlířová fotografie, ICCD imaging (Synek)
5. Kolizně radiační model s pomocí ZD Plaskinu (Bonaventura, 2 týdny)
6. Spektroskopie dvouatomových molekul, laserem indukovaná fluorescence (Voráč)
7. Frekvenční analýza elektrických měření v nízkotlakém kapacitně vázaném výboji (Dvořák)
8. Elektrická měření výbojů s dielektrickou bariérou za atmosferického tlaku. (Synek)

Literatura:

- Herzberg, Gerhard. "Molecular spectra and molecular structure. Vol. 1: Spectra of diatomic molecules." New York: Van Nostrand Reinhold, 1950, 2nd ed. 1 (1950).
- O'Connor, Desmond. Time-correlated single photon counting. Academic Press, 2012.
- House, James E. Principles of chemical kinetics. Academic Press, 2007.
- Smith, Douglas C. High frequency measurements and noise in electronic circuits. Springer Science & Business Media, 1992.

Další zdroje:

NAVRÁTIL, Zdeněk, Raavo JOSEFSON, Nikola CVETANOVIC, Bratislav OBRADOVIČ a Pavel DVOŘÁK. Electric field development in gamma-mode radiofrequency atmospheric pressure glow discharge in helium. *Plasma Sources Science and Technology*, BRISTOL: IOP Pub., 2016, roč. 25, č. 3, s. "03LT01". ISSN 0963-0252. doi:10.1088/0963-0252/25/3/03LT01.

HODER, Tomáš, Detlef LOFFHAGEN, Jan VORÁČ, Markus BECKER a Ronny BRANDENBURG. Analysis of the electric field development and the relaxation of electron velocity distribution function for nanosecond breakdown in air. *Plasma Sources Science and Technology*, IOP Pub., 2016, roč. 25, č. 2, s. 025017-25031. ISSN 0963-0252. doi:10.1088/0963-0252/25/2/025017.

VAŠINA, Petr, Matej FEKETE, Jaroslav HNILICA, Peter KLEIN, Lenka DOSOUDILOVÁ, Pavel DVOŘÁK a Zdeněk NAVRÁTIL. Determination of titanium atom and ion densities in sputter deposition plasmas by optical emission spectroscopy. *Plasma Sources Science and Technology*, 2015, roč. 24, č. 6, s. "nestránkováno". ISSN 0963-0252. doi:10.1088/0963-0252/24/6/065022.

VORÁČ, Jan, Lucia POTOČŇÁKOVÁ, Petr SYNEK, Jaroslav HNILICA a Vít KUDRLE. Gas mixing enhanced by power modulations in atmospheric pressure microwave plasma jet. *Plasma Sources Science and Technology*, IOP Pub., 2016, roč. 25, č. 2, s. 025018-25032. ISSN 0963-0252. doi:10.1088/0963-0252/25/2/025018.

VORÁČ, Jan, Pavel DVOŘÁK, Vojtěch PROCHÁZKA, Joerg EHLBECK a Stephan REUTER. Measurement of hydroxyl radical (OH) concentration in argon RF plasma jet by laser-induced fluorescence. *PLASMA SOURCES SCIENCE & TECHNOLOGY*, BRISTOL: IOP PUBLISHING LTD, 2013, roč. 22, č. 2, s. 025016-25024. ISSN 0963-0252. doi:10.1088/0963-0252/22/2/025016.

Surface modifications and plasma applications

(Modifikace povrchů a praktické aplikace plazmatu)

Rozsah: 1/3 (1/4 semestru přednášky, zbytek rozsáhlá praktická cvičení)

Ukončení: Z

Garant: Mirko Černák

Vyučující: Tomáš Homola, Dušan Kováčik, Dana Skácelová, Richard Krumpolec, Mirko Černák

Cíle předmětu:

Cílem předmětu je obeznámení s konceptem využití plazmatu pro povrchové modifikace materiálu. Během přednášek se probere teorie generování plazmatu pro účely povrchové modifikaci, výhody a nevýhody různých plazmových zdrojů, obzvláště těch které jsou přístupné na ÚFE. Obsahem přednášek je taktéž úvod do praktických aplikací využití plazmy při moderních výrobních technologiích, např. obalové materiály, alebo tzv. printed electronics atd. Během praktické části se studenti naučí používat všechna plazmová zařízení na ÚFE. Následně tyto znalosti využijí při řešení samostatných praktických úloh.

Výukové metody:

- plazmová zařízení: objemový dielektrický bariérový výboj, difúzní koplánární povrchový bariérový výboj, klouzavý oblouk, plazmová tryska
- metody diagnostiky povrchu: měření povrchové energie pomocí SeeSystem a DSA30
- měření morfologie pomocí SEM a AFM
- chemická analýza povrchu pomocí XPS.

Osnova:

Přednášky:

1. Úvod do atmosférického plazmatu
2. dielektrické bariérové výboje
3. aplikace povrchový bariérových výbojů
4. povrchová modifikace plazmatem pro průmyslové aplikace.

Cvičení (každý student si vybere jedno cvičení pro zbytek semestru):

1. Kladné a záporné aspekty průmyslné korony – objemový dielektrický bariérový výboj (testování se vzorkem, spolu s analytickými metodami: měření povrchové energie, elektronový mikroskop, atomární silový mikroskop, rentgenová spektroskopie).
2. Porovnání efektivity vícerých plazmových zdrojů (z hlediska jejich účinku na povrchy).
3. Porovnání efektu plazmové stárnutí pomocí různých plazmových zdrojů.
4. Depozice hydrofilních a hydrofobních vrstev pomocí plazmatu.

Hodnocení: Hodnocení vypracovaného protokolu (v angličtině), který shrne práci provedenou na zadaných vzorcích a na zadaných plazmových zařízeních.

Literatura:

1. Y. Raizer, Gas discharge physics. Springer, 1997.
2. J. R. Roth, Industrial Plasma Engineering: Volume 2 – Applications to Nonthermal Plasma Processing, vol. 2. Bristol and Philadelphia: CRC Press, 2001.
3. D. Kováčik, “Surface Modification of Polymer Materials by Atmospheric-Pressure Plasma Induced Grafting,” Comenius University, Slovakia, 2006.
4. D. Merche, N. Vandecasteele, and F. Reniers, “Atmospheric plasmas for thin film deposition: A critical review,” *Thin Solid Films*, vol. 520, no. 13, pp. 4219–4236, 2012.
5. K. N. Kim, S. M. Lee, A. Mishra, and G. Y. Yeom, “Atmospheric Pressure Plasmas for Surface Modification of Flexible and Printed Electronic Devices: A Review,” *Thin Solid Films*, vol. 598, pp. 315–334, May 2015.
6. H. W. Lee, G. Y. Park, Y. S. Seo, Y. H. Im, S. B. Shim, and H. J. Lee, “Modelling of atmospheric pressure plasmas for biomedical applications,” *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 44, no. 5, p. 53001, Feb. 2011.
7. T. Homola, J. Matoušek, B. Hergelová, M. Kormunda, L. Y. L. Wu, and M. Černák, “Activation of poly(ethylene terephthalate) surfaces by atmospheric pressure plasma,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 97, no. 11, pp. 2249–2254, 2012.

Special Topics in Nanotechnology Science

(Vybraná témata v nanotechnologii)

Garant: Josef Ráhel

Rozsah: 2 hod/týd; Ukončení: kolokvium

Popis:

Nově vytvořený kurz určený zejména pro doktorské studium fyzikálních odborů. Ve spolupráci s externími specialisty budou vytypovány a následně připraveny blokové přednášky (cca 3x 2hod), syntetizující stav poznání ve vybraných oborech klíčových nanotechnologických věd. Jedná se zejména o: moderní trendy v nano a mikroobrábění, současné výzvy ve vývoji biosenzorů, reálné možnosti numerického modelování v nanovědách, nanostrukturované materiály s vysokým aplikačním potenciálem a pod. Smyslem přednášky je poskytnout posluchačům možnost získání kvalifikovaného rozhledu v těchto významných nanotechnologických vědních oborech.

Účast na přípravě výuky už nyní přislíbili prof. Ivan Stibor (supramolekulární chemie, nanomateriály; TU Liberec), MUDr. Ing. Vítězslav Kříha (fyzika plazmatu a mikrobiologie; FEL ČVUT), doc. Jan Hrbáč (chemie nanostruktur, elektrochemie, micelární systémy; ÚCh PřF MU), Alexander Kromka, Ph.D. (diamantové vrstvy a nanostruktury; FÚ AV ČR), Petr Lazar, Ph.D. (počítačové modelování, povrchy, 2D struktury; KFCh UP Olomouc) a Vlastimil Křápek, Ph.D. (kvantové tečky, plazmonika; FSI VUT Brno).

Dále uvažujeme nad zapojením odborníků jako jsou prof. Josef Michl a Jiří Kaleta, Ph.D (molekulární motorky a molekulární elektronické struktury; UOChB AV ČR), Milada Glogarová, Cs.C. (kapalné krystaly; FÚ AV ČR) a další.

Literatura:

1. K. Eric Drexler: "Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation"
2. Sunggyu Lee, Kimberly H. Henthorn, eds.: "Particle Technology and Applications"
3. Tai Hyun Park ed.: "Bioelectronic Nose"

Teoretická fyzika a astrofyzika

The Standard Model of Cosmology

(Kosmologický standardní model)

Rozsah: 2/1

Garant: Rikard von Unge

Vyučující: Rikard von Unge, Josef Klusoň, Klaus Behring

Cíle:

Kurz nabízí úvod do myšlenek a vzorců používaných (a ověřovaných) v moderním kosmologickém výzkumu. Cílem je odvodit pozorovatelné veličiny ze základních principů inflační kosmologie. Po absolvování kurzu by studenti měli být schopni sledovat teoretické a experimentální výsledky tohoto rychle se rozvíjejícího pole.

Osnova:

1. General Relativity, Einstein's equations, the Robertson-Walker metric, co-moving coordinates, proper distances, different types of matter, global geometry and topology
2. The cosmological redshift, the Hubble constant, the expanding universe, changing redshifts, proper motion, apparent luminosity, luminosity distance, deceleration parameter, angular diameter distances
3. Dynamics of expansion, Friedmann equation, critical density, matter- radiation- and vacuum- dominated expansion, age of expansion, accelerated and future expansion
4. The cosmic microwave background radiation, the equilibrium era, recombination and last scattering, the dipole anisotropy
5. Fluctuations in the microwave background, partial wave coefficients, multipole coefficients, Sachs-Wolfe effect, Harrison-Zel'dovich spectrum, Doppler fluctuations, Intrinsic temperature fluctuations
6. The early universe, thermal history, neutrino decoupling, reheating, cosmological nucleosynthesis, baryosynthesis, leptosynthesis, cold dark matter, WIMP, axions
7. Inflation, flatness, horizons, monopoles, slow-roll inflation, power law potential, exponential potential, chaotic inflation, eternal inflation
8. Fluctuation theory, perturbed Ricci tensor, perturbed energy momentum tensor, correlation functions, helicity decomposition
9. Evolution of fluctuations, scalar perturbations, tensor perturbations
10. Anisotropies in the microwave radiation, temperature fluctuations, temperature multipole coefficients, scalar modes, tensor modes, polarization
11. Inflation as the origin of cosmological fluctuations, scalar fluctuations, tensor fluctuations, the slow-roll approximation, multifield inflation

Literatura:

1. Steven Weinberg, *Cosmology*, Oxford University Press 2008
2. V. Mukhanov, *Physical Foundations of Cosmology*, Cambridge University Press 2005

Hodnocení: domácí úkoly a ústní zkouška

Advanced methods in data analysis

(Pokročilé metody analýzy dat)

Garant: Jiří Krtička

Vyučující: Ernst Paunzen, Filip Hroch

Rozsah: 2/1/0

Cíle kurzu:

Cílem kurzu je úvod do různých metod analýzy dat. Metody budou aplikovány nejen na fotometrické časové řady a spektrální klasifikaci, ale také na rozdělení energie ve spektru a na fitování izochron. Bude poskytnut popis moderních a efektivních metod. Důraz bude kladen na statistickou analýzu dat, podrobnou analýzu chyb a jejich šíření. Některé z metod budou prezentovány pomocí otevřeného programovacího jazyku R a vizualizovány pomocí gnuplotu. Účastníci získají přehled o příslušných programech pro analýzu velkého množství dat.

Osnova:

1. neuronové sítě
2. automatické metody spektrální klasifikace
3. šíření chyb
4. metody fitování izochron
5. metody Monte Carlo
6. metody vícerozměrného fitování
7. programování v R a v gnuplotu
8. fitování rozložení energie
9. statistické testy
10. analýzy časových řad
11. robustní metody – principy, definice robustnosti, druhy robustních metod: M-,R-,L-odhady, vlastnosti robustních metod, influence curve
12. metoda maximální věrohodnosti, princip, skládání pravděpodobností, normální, Poissonovo a rovnoměrné rozdělení, odhady parametrů
13. robustní průměr, odhad centrálních momentů, medián, kvantily, odvození robustního průměru, vlastnosti, asymptotické odhady
14. numerické metody, rychlé algoritmy pro medián a uspořádání, generátory náhodných čísel pro různé distribuce, testování statistických distribucí
15. numerické hledání minima funkcí, metody neuvžívající derivace, metody využívající derivace, vázané extrémy, regularisace
16. užití robustních metod: fotonové (částicové) toky, robustní regrese přímky, profily spektrálních čar

Literatura:

1. Chattopadhyay & Chattopadhyay: Statistical Methods for Astronomical Data Analysis, Springer Verlag
2. Janert: Gnuplot in Action, Manning Publications
3. Matloff: The Art of R Programming: A Tour of Statistical Software Design, No Starch Press
4. Starck & Murtagh: Astronomical Image and Data Analysis, Springer Verlag

Advanced Hydrodynamics

(Pokročilá hydrodynamika)

Rozsah: 1/0, ukončení: kolokvium

Garant: Jiří Krtička

Vyučující: Jiří Krtička

Cíle:

V rámci kurzu budou studentům představeny základní aplikace hydrodynamiky v astrofyzice. Studenti se znalostí základů hydrodynamiky a fyziky plazmatu si osvojí důležitá řešení hydrodynamických rovnic, která jsou zásadní pro pochopení různých dějů v astrofyzice. Po absolvování kurzu by studenti měli (a) získat přehled o využití hydrodynamiky a o základních hydrodynamických jevech nutný pro vlastní numerické modelování, (b) být schopni aplikovat hydrodynamiku pro řešení vlastních vědeckých problémů, (c) pochopit chování astrofyzikálních objektů z hlediska hydrodynamiky.

Osnova:

1. Hydrodynamické rovnice, jejich různá odvození ze základních fyzikálních principů, hydrodynamické rovnice pro vícesložkové proudění.
2. Základní řešení hydrodynamických rovnic: zvukové vlny, vlny vztlaku, rázové vlny, rovnice hydrostatické rovnováhy a aplikace v astrofyzice.
3. Zářivá hydrodynamika: interakce látky se zářením, zářivý ohřev a ochlazování, zářivá síla, příklady v astrofyzice.
4. Koronální hvězdný vítr, hvězdný vítr urychlovaný absorpcí záření na prachových částicích, zářením hnaný hvězdný vítr horkých hvězd.
5. Bondiho akreční řešení, akreční a odtékající disky, základní popis dynamiky disků, anomální viskozita.
6. Základy magnetohydrodynamiky, sestavení magnetohydrodynamických rovnic, magnetohydrodynam. vlny, aplikace na modelování slunečního cyklu (dynamový jev).
7. Magnetorotační nestabilita: popis pomocí linearizovaných rovnic, podmínky nestability.

Výukové metody: Přednášky.

Předmět je uzavřen kolokviem, v rámci kterého studenti vystoupí s ústním referátem na vybrané téma a zodpoví na otázky přednášejícího a ostatních studentů.

Literatura:

1. Dimitri Mihalas, Barbara Weibel Mihalas: Foundations of Radiation Hydrodynamics
2. John I. Castor: Radiation Hydrodynamics
3. Ya. B. Zeldovich, Yu. P. Raizer: Physics of Shock Waves and High-Temperature Hydrodynamic Phenomena
4. S. Chandrasekhar: Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability
5. Frank H. Shu: The Physics of Astrophysics Volume II: Gas Dynamics
6. G. K. Batchelor: An Introduction to Fluid Dynamics

Advanced mathematical methods in theoretical physics

(Pokročilé matematické metody v teoretické fyzice)

Rozsah: 2/1/0

Garant: Rikard von Unge

Vyučující: Tomáš Tyc, Filip Hroch

Cíle:

Kurz je zaměřen na matematické metody používané v různých oblastech teoretické fyziky. Důraz je kladen na použití těchto metod k řešení určitých problémů, se kterými se studenti setkají v oboru teoretické fyziky a fyziky kondenzovaných látek během svého doktorského studia.

Osnova:

1. Special functions and orthogonal polynomials
2. Integral transformations
3. Introduction to distribution theory
4. Asymptotic expansions and other asymptotic methods
5. Advanced perturbation theory
6. Sturm-Liouville theory
7. Green's functions
8. Integral equations
9. Covariant formalism; differential geometry
10. Advanced complex analysis
11. Discrete and Lie groups, Lie algebras
12. Partial differential equations

Literatura:

1. Philip Morse and Herman Feshbach, *Methods of Theoretical Physics, Parts 1 and 2*, Feshbach Publishing 2005
2. George B. Arfken and Hans J. Weber, *Mathematical methods for physicists*, Academic Press 2001
3. Tristan Needham, *Visual complex analysis*, Oxford University Press 2000
4. Carl M. Bender and Steven A. Orszag, *Advanced Mathematical Methods for Scientists and Engineers*, Springer 1999
5. Ashok Das and Susumu Okubo, *Lie Groups and Lie Algebras for Physicists*, World Scientific 2014

Selected chapters from modern computational methods

(Vybrané kapitoly z moderních výpočetních metod a jejich aplikace ve fyzice)

Garant: Jiří Krτίčka

Vyučující: Viktor Votruba, Filip Hroch

Cíle:

Hlavním cílem předmětu je seznámení s moderními výpočetními metodami řešení fyzikálních problémů a to od řešení nelineárních parciálních diferenciálních rovnic až po masivní zpracování dat. Důraz je kladen na především na praktické osvojení těchto metod, aby je po absolovování předmětu mohli sami používat.

Osnova:

- Explicitní metody řešení parciálních diferenciálních rovnic hyperbolického a parabolického typu s pomocí konečných diferencí. Aplikace na hydrodynamické problémy a modelování tekutiny, simulace Kelvinovy-Helmholtzovy nestability
- Implicitní metody řešení parciálních diferenciálních rovnic hyperbolického a parabolického typu s pomocí konečných diferencí. Aplikace na problém difúze a rovnici vedení tepla. Meze použitelnosti a numerická stabilita běžných numerických schémat
- Částicové metody pro modelování tekutin: SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics), PM (Particle Mesh) a PIC (Particle in Cell) metody. Simulace procesů v plazmatu, například dvojsložkové nestability.
- N-částicové algoritmy, modelování pohybu částic v gravitačním poli a metody molekulární dynamiky.
- Metody automatického zpracování velkého objemu dat, dolování dat z vědeckých databází – data mining. Přehled nejpoužívanějších metod s učitelem a bez učitele (Support Vector Machines, Kmeans clustering, Neuronové sítě...). Problém klasifikace a regresní analýza dat. Problém hledání anomálií v časových řadách.

Literatura:

1. Numerical Methods in Astrophysics: An Introduction Peter Bodenheimer, Peter Bodenheimer, Gregory P. Laughlin, Gregory P. Laughlin, Michal Rozyczka, Tomasz Plewa, Harold. W Yorke, Michal Rozyczka, Harold W. Yorke December 13, 2006 by CRC Press, ISBN 9780750308830 (Series in Astronomy and Astrophysics)
2. Computational Methods for Astrophysical Fluid Flow, Saas-Fee Advanced Course 27 Lecture Notes 1997 Swiss Society for Astrophysics and Astronomy Authors: R.J. LeVeque, D. Mihalas, E. A. Dorfi, Professor E. Müller, ISBN: 978-3-540-64448-4
3. Numerical Methods and Optimization: An Introduction, Sergiy Butenko, Panos M. Pardalos, March 11, 2014 by Chapman and Hall/CRC, ISBN 9781466577770

Scientific projects

(Vědecké projekty)

Garant: Jiří Krtička

Vyučující: Ernst Paunzen

Rozsah : 1/1

Cíle:

Příprava žádostí o pozorovací čas, grantových žádostí a přihlášek do konkurzů je jedna z nejdůležitějších činností v životě astronoma. Další z každodenních činností astronoma je psaní článků. Během kurzu bude připraven seznam doporučených postupů i přístupů, kterých by se měli studenti vyvarovat. V rámci cvičení bude připraven pozorovací návrh pro ESO.

Osnova:

1. životopis
2. granty GAČR
3. přihlášky do konkurzů
4. pozorovací návrhy
5. psaní článků

Literatura:

1. Angel Borja: 11 steps to structuring a science paper editors will take seriously, Elsevier Connect
2. How to Write a Proposal (<http://www.wikihow.com/Write-a-Proposal>)
3. How to write a successful CV (<https://www.kent.ac.uk/careers/cv.htm>)

Advanced Quantum Field Theory

(Pokročilá kvantová teorie pole)

Rozsah: 2/1

Garant: Rikard von Unge

Vyučující: Rikard von Unge, Klaus Bering Larsen

Cíle:

Tento kurz nabízí ucelený úvod do metod a myšlenek moderní kvantové teorie pole. Základním užitým nástrojem je dráhový integrál, který je zde podrobně zaveden a diskutován. Důraz je kladen na explicitní výpočty, které jsou detailně prováděny během celého kurzu. Na konci kurzu zvládne student formalismus dráhového integrálu, ale také bude ovládat koncept renormalizace, efektivní teorii pole, instantony a další.

Osnova:

1. Dráhový integrál pro volná a interagující pole, perturbační teorie, rozvoj diagramů, korelační funkce, rozptylové amplitudy
2. Smyčkové korekce pro propagátory a vrcholy, efektivní akce, renormalizace
3. Explicitní výpočty pro skalární pole, rozměrová regularizace
4. Renormalizační grupa, efektivní teorii pole
5. Spinory, grassmanovy proměnné, dráhové integrály fermionů
6. Explicitní výpočty pro fermiony
7. Globální a lokální symetrie, kalibrační invariance, fixace kalibrace, duchové, BRST
8. Explicitní výpočty v neabelovské kalibrační teorii
9. Metoda pole na pozadí
10. Solitony, monopóly, instantony, Winstonovy smyčky

Metody výuky: přednášky

Hodnocení: domácí úkoly a ústní zkouška

Literatura:

1. Mark Srednicki, Quantum Field Theory, Cambridge University Press 2007.
2. Claude Itzykson and Jean-Bernard Zuber, Quantum Field Theory, McGraw-Hill 1985.
3. Matthew D. Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model, Cambridge University Press 2014.
4. A. Zee, Quantum Field Theory in a Nutshell, Princeton University Press 2003.
5. Michael E. Peskin and Daniel V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, Perseus Books 1995.

The Standard Model of Particle Physics

(Standardní model částicové fyziky)

Rozsah: 2/1

Garant: Rikard von Unge

Vyučující: Rikard von Unge, Josef Klusoň, Klaus Bering Larsen

Cíle:

Kurz nabízí široký úvod do teoretických základů částicové fyziky, nejen pro studenty teoretické fyziky a astrofyziky, ale pro všechny zájemce mezi fyzikálními studenty. Kromě poznání základních stavebních kamenů přírody studenti pochopí i jejich konkrétní roli. Na konci kurzu by studenti měli být schopni spočítat jednoduché případy a pochopit postup jejich experimentálního ověření.

Osnova:

1. The particles of the Standard Model, historical introduction
2. Yang-Mills theory, spontaneous symmetry breaking, the Higgs mechanism
3. Electroweak symmetry breaking, weak interactions
4. Fermion masses, mixing angles, CP-violation
5. Anomalies
6. Precision tests of the Standard Model
7. Quantum chromodynamics
8. Effective field theory, heavy-quark physics
9. Beyond the Standard Model, grand unification

Literatura:

1. Matthew D. Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model, Cambridge University Press 2014
2. Michael E. Peskin and Daniel V. Schroeder, An introduction to Quantum Field Theory, Perseus Books 1995
3. David Griffiths, Introduction to Elementary Particles, John Wiley & Sons 1987

Výukové metody: účast na přednáškách

Hodnocení: domácí úkoly a ústní zkouška

Statistical Physics of Particles and Fields

(Statistická fyzika částic a polí)

Rozsah: 2/1

Garant: Rikard von Unge

Vyučující: Rikard von Unge, Jiří Krtička

Cíle:

Velká část moderní fyziky využívá nástrojů teorie pole. V tomto kurzu je studentům předvedena řada jednoduchých modelů, které ukazují jevy společné pro částicovou fyziku a fyziku kondenzovaných látek. V průběhu kurzu bude zavedena řada užitečných nástrojů a technik. Uvedené modely umožňují intuitivní vhled, který je velmi užitečný pro porozumění komplexním reálným fyzikálním systémům.

Osnova:

1. Collective behavior, Phase transitions, Critical behavior
2. Landau-Ginzburg theory, mean field theory, saddle point approximation, continuous symmetry breaking, Goldstone modes
3. Fluctuations, correlation functions, susceptibilities, critical dimension, Gaussian integrals
4. The scaling hypothesis, divergence of the correlation length, the renormalization group
5. The perturbative renormalization group
6. Lattice systems
7. Series expansions, spin waves, the role of topology
8. Quantum phase transitions
9. Nonequilibrium statistical mechanics

Výukové metody: účast na přednáškách

Hodnocení: domácí úkoly a ústní zkouška

Literatura:

1. Mehran Kardar, *Statistical Physics of Fields*, Cambridge University Press 2007
2. Alexander Altland and Ben Simons, *Condensed Matter Field Theory*, Cambridge University Press 2010
3. Subir Sachdev, *Quantum Phase Transitions*, Cambridge University Press 2011
4. Giuseppe Mussardo, *Statistical Field Theory*, Oxford University Press 2010

The structure and evolution of stars

(Struktura a vývoj hvězd)

Rozsah: 2/0

Garant: Jiří Krtička

Vyučující: Ernst Paunzen

Cíle:

Pochopení procesů během hvězdného vývoje je klíčové téměř pro všechny oblasti astrofyziky. Kurz se bude zabývat všemi vývojovými stadii od hvězd před vstupem na hlavní posloupnost po konečná stadia (bílé trpaslíky, neutronové hvězdy a černé díry). Dále bude popsán vývoj dvojhvězd, protože významná část hvězd se nalézá ve dvojhvězdách. Kurz se dále zaměří na nestandardní hvězdy, ze kterých můžeme získat významná omezení na modely. Konečným cílem je pochopení toho, které astrofyzikální procesy jsou důležité v různých oblastech Hertzsprungova-Russellova diagramu.

Obsah:

1. chování a charakteristiky: chemické složení, rotace, hvězdné větry, aktivita a magnetické pole
2. vývoj ve dvojhvězdách
3. vývojová stadia od hvězd před vstupem na hlavní posloupnost až po pokročilá stadia
4. izochrony
5. nestandardní hvězdy
6. pulzující hvězdy

Literatura:

1. Prialnik: An Introduction to the Theory of Stellar Structure and Evolution, Cambridge University Press
2. Schulz: The Formation and Early Evolution of Stars: From Dust to Stars and Planets, Springer Verlag
3. Unsold & Baschek: The Structure and Evolution of Stars, Springer Verlag