

# Oblast vzdělávání FYZIKA

Fakulta nabízí dvanáct programů doktorského studia, které pokrývají celý tento obor včetně jeho hraničních oblastí.

- P4F1 Teoretická fyzika, astronomie a astrofyzika
- P4F2 Fyzika plazmatu a ionizovaných prostředí
- P4F3 Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum
- P4F4 Biofyzika, chemická a makromolekulární fyzika
- P4F5 Fyzika povrchů a rozhraní
- P4F6 Kvantová optika a optoelektronika
- P4F7 Fyzika Země a planet
- P4F8 Fyzika atmosféry, meteorologie a klimatologie
- P4F9 Částicová a jaderná fyzika
- P4F11 Matematické a počítačové modelování
- P4F12 Didaktika fyziky a obecné otázky fyziky
- P4F13 Fyzika nanostruktur a nanomateriálů

Na výchově doktorandů se kromě fyzikálních kateder a ústavů fakulty podílí patnáct ústavů AV ČR.

Vypsaná témata doktorských prací jsou zveřejněna ve studijním informačním systému (SIS) na adrese [http://mff.cuni.cz/phd/temata/kód\\_programu](http://mff.cuni.cz/phd/temata/kód_programu).

Většina programů nabízí vybraná témata s nabídkou rozšířené finanční podpory, jejichž podrobný popis je k dispozici na <https://www.mff.cuni.cz/en/physicsphd/>. Uchazeči se na tato témata hlásí s předstihem a procházejí předběžným výběrovým řízením. V případě jeho úspěšného absolvování mají usnadněný průchod standardní přijímací procedurou.

## Studijní program P4F1 Teoretická fyzika, astronomie a astrofyzika

### Anotace programu

Program P4F1 zastřešuje dvě široké oblasti: 1) teoretickou fyziku a 2) astronomii a astrofyziku. V první oblasti se zaměřuje zejména na gravitační a relativistickou fyziku, kosmologii, teoretickou astrofyziku, atomovou a molekulovou fyziku, matematickou fyziku, teoretické aspekty plazmatu, fyziku vysokých energií včetně teorie strun a ADS/CFT korespondence a některé aspekty částicové fyziky. Ve druhé oblasti pak na aplikovanou astrofyziku a teoretickou i observační astronomii.

### Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f1>.

## Spolupracující ústavy

- Astronomický ústav AV ČR, v.v.i.  
Fričova 298, 251 65 Ondřejov  
<http://www.asu.cas.cz/>
- Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.  
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8  
<http://www.fzu.cz/>
- Matematický ústav AV ČR, v.v.i.  
Žitná 25, 115 67 Praha 1  
<http://www.math.cas.cz>
- Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v.v.i.  
Dolejškova 2155/3, 182 23 Praha 8  
<http://www.jh-inst.cas.cz/>
- Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i.  
Husinec – Řež č. p. 130, PSC 250 68  
<http://www.ujf.cas.cz/>

## Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f1> .

## Vybraná témata pro předběžné výběrové řízení

<https://www.mff.cuni.cz/en/physicsphd/f1/> .

## Poskytovaná výuka

Posluchač si musí doplnit povinné přednášky magisterského studia na MFF UK v oboru odpovídajícím jeho specializaci, pokud je již neabsolvoval v rámci svého magisterského studia. Vedle toho si vybírá z přednášek určených pro doktorské studium a z volitelných pokročilých přednášek magisterského studia, zejména oborů Astronomie a astrofyzika, Teoretická fyzika, Fyzika kondenzovaných soustav a materiálů, Jaderná a subjaderná fyzika a Matematické a počítačové modelování ve fyzice a technice. Pro doktorandy jsou určeny hlavně následující pokročilé přednášky:

Kód	Název	ZS	LS
NAST004	<b>Galaktická a extragalaktická astronomie II</b>	3/0 Zk	—
NAST008	<b>Kosmická elektrodynamika</b>	3/1 Z+Zk	—
NAST011	<b>Nebeská mechanika II</b>	—	4/0 Zk
NAST021	<b>Vybrané kapitoly z astrofyziky</b>	2/0 Zk	—
NAST030	<b>Aktivní galaxie</b>	—	2/0 Zk
NAST038	<b>Pokročilé metody sluneční fyziky</b>	2/0 Zk	—
NAST040	<b>Úvod do radioastronomie</b>	2/0 Zk	—
NMAF006	<b>Vybrané partie z matematiky pro fyziky</b>	—	2/0 Zk

NTMF022	<b>Teorie kalibračních polí</b>	3/0 Zk	—
NTMF024	<b>Pokročilé simulace ve fyzice mnoha částic</b>	—	2/0 Zk
NTMF025	<b>Vybrané kapitoly z matematické fyziky</b>	—	2/0 Zk
NTMF030	<b>Kvantová teorie rozptylu</b>	3/1 Z+Zk	—
NTMF038	<b>Relativistická fyzika II</b>	—	4/2 Z+Zk
NTMF058	<b>Počítačové metody v teoretické fyzice II</b>	—	2/1 Z+Zk
NTMF059	<b>Geometrické metody teoretické fyziky I</b>	2/2 Z+Zk	—
NTMF060	<b>Geometrické metody teoretické fyziky II</b>	—	3/0 Zk
NTMF061	<b>Teorie grup a její aplikace ve fyzice</b>	2/2 Z+Zk	—
NTMF063	<b>Vybrané partie obecné relativity I</b>	2/0 Zk	—
NTMF064	<b>Symetrie rovnic matematické fyziky a zákony zachování</b>	—	2/0 Zk
NTMF065	<b>Úvod do kvantové teorie pole na křivém pozadí</b>	2/1 Zk	—
NTMF068	<b>Vybrané kapitoly z nerovnovážné statistické fyziky II</b>	—	2/0 Zk
NTMF070	<b>Zářivé procesy v astrofyzice</b>	—	2/0 Zk
NTMF073	<b>Vybrané partie obecné relativity II</b>	2/0 Zk	—
NTMF088	<b>Přesné prostoročasy</b>	—	2/0 Zk
NTMF089	<b>Gravitační vlny I</b>	—	2/0 Zk
NTMF090	<b>Astrophysics of gravitational wave sources</b>	—	2/0 Zk
NTMF091	<b>Black hole thermodynamics: classical and quantum</b>	—	2/0 Zk
NTMF095	<b>Pokročilé partie kvantové teorie pole na křivém pozadí</b>	—	2/0 Zk
NTMF099	<b>Gravitační vlny II</b>	—	2/0 Zk
NTMF101	<b>New developments in astrophysics and theoretical physics</b>	0/1 Z	0/1 Z
NTMF107	<b>Základy numerického studia prostoročasů</b>	3/0 Zk	—
NTMF130	<b>Teorie srážek atomů a molekul</b>	—	3/1 Z+Zk
NTMF333	<b>Teoretická kosmologie II</b>	—	2/0 Zk
NFPL109	<b>Teorie kondenzovaného stavu II</b>	2/0 Zk	—
NJSF044	<b>Matematické metody kvantové teorie II</b>	—	2/0 Zk
NJSF047	<b>Vybrané partie z teorie superstrun</b>	—	2/1 Zk
NJSF146	<b>Kvantová teorie pole II</b>	—	4/2 Z+Zk
NJSF069	<b>Kvantová teorie pole II</b>	—	4/2 Z+Zk
NJSF071	<b>Úvod do supersymetrie</b>	2/1 Zk	—
NJSF072	<b>Elektroslabé interakce II</b>	2/1 Zk	—
NJSF079	<b>Kvantová teorie pole III</b>	4/2 Z+Zk	—
NJSF082	<b>Vybrané partie teorie kvantovaných polí I</b>	3/0 Zk	—
NJSF083	<b>Vybrané partie teorie kvantovaných polí II</b>	—	3/0 Zk
NJSF085	<b>Základy teorie elektroslabých interakcí</b>	—	2/2 Z+Zk
NJSF122	<b>Pokročilé partie teorie kvantovaných polí I</b>	3/0 Zk	—
NJSF123	<b>Pokročilé partie teorie kvantovaných polí II</b>	—	3/0 Zk
NJSF129	<b>Pokročilé koncepty symetrie</b>	—	2/2 Zk

NJSF139	Částicová fyzika za standardním modelem I	2/1 Zk	—
NJSF140	Částicová fyzika za standardním modelem II	—	2/1 Zk
NMMA331	Úvod do funkcionální analýzy	4/2 Z+Zk	—
NMMA405	Parciální diferenciální rovnice 1	3/1 Z+Zk	—
NMNV405	Metoda konečných prvků 1	2/2 Z+Zk	—

## Požadavky k průběhu doktorského studia

- V prvním ročníku by měl student absolvovat 2 povinnosti ukončené zkouškou, navštěvovat oborový seminář, vystoupit na konferenci Week of Doctoral Students organizované MFF či na mezinárodní konferenci v oboru.
- Podmínkou pro skládání státních doktorských zkoušek je absolvování celkem 4 odborných povinností ukončených zkouškou a prezentace výsledků na oborovém semináři či mezinárodní konferenci v oboru.
- Podmínkou pro obhajobu a ukončení studia je publikace vlastních výsledků v dvou publikacích v mezinárodních impaktovaných časopisech. Alespoň u jedné z publikací by měl být studentův přínos zásadní.
- Očekává se (i když to není nezbytnou podmínkou), že během studia student absolvuje několikaměsíční pobyt na zahraničním pracovišti. Alternativou jsou též letní/zimní školy v oboru práce.

Povinností zakončenou zkouškou může vedle přednášky vypsané v SISu být též kontrolovaná četba (individuální přednáška na specializované téma). Splnění zkoušky takové povinnosti potvrzuje ve svém hodnocení školitel.

Oborová rada posuzuje splnění požadavků individuálně. Může např. akceptovat, že student má v okamžiku obhajoby pouze jednu obsahem či rozsahem výjimečnou publikaci.

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Doktorand zaměřený na teoretickou fyziku si volí dva fyzikální okruhy 1-6, z nichž jeden zahrnuje oblast jeho disertační práce. K tomu si dále vybírá jeden z matematických okruhů M1-M3.

Doktorand zaměřený na astrofyziku či astronomii si volí oblast danou tematikou jeho práce, jeden z obecných okruhů A1,A2 a jeden z fyzikálních okruhů 1–6.

V rámci otázky týkající se oblasti disertační práce student seznámí zkušební komisi s tematikou své práce a zodpoví dotazy ze související problematiky.

- 1 Relativistická fyzika a kosmologie
- 2 Kvantová teorie pole a částicová fyzika
- 3 Nerelativistická kvantová teorie
- 4 Teorie pevných látek
- 5 Hydrodynamika, magnetohydrodynamika a teorie plazmatu
- 6 Statistická fyzika a termodynamika

- M1 Diferenciální geometrie, Lieovy grupy a algebry  
 M2 Funkcionální analýza, teorie distribucí, parciální diferenciální rovnice  
 M3 Numerické metody

- A1 Klasická astronomie a experimentální metody  
 A2 Klasická astronomie a teoretická astrofyzika

Přesný rozsah zkoušených okruhů se upřesňuje individuálně před SDZ po dohodě zkoušeného a zkoušejícího v závislosti na absolvovaných přednáškách a zaměření práce doktoranda. Fyzikální okruhy zejména zahrnují:

*1 - Relativistická fyzika a kosmologie*

Základní principy obecné teorie relativity. Rovnice geodetiky a geodetické deviace. Einsteinovy rovnice pole. Alternativní teorie gravitace. Experimentální ověření relativistických teorií gravitace. Linearizovaná teorie a aproximační metody. Teorie gravitačních vln: asymptotická struktura prostoročasu a přesná zářivá řešení; zdroje a detekce gravitačních vln. Relativistická teorie stelární struktury (bílé trpaslice, neutronové hvězdy, pulsary). Gravitační kolaps a fyzika černých děr — obecné fyzikální zákonitosti, role černých děr v astrofyzice. Počáteční problém a hamiltonovský formalismus. Standardní kosmologické modely a základní kosmologické testy. Fyzika raného vesmíru. Teorie lineárních perturbací kosmologických modelů.

*2 - Kvantová teorie pole a fyzika elementárních částic*

Kanonický formalismus teorie pole. Feynmanův dráhový integrál. Feynmanova pravidla a poruchová teorie. Kalibrační invariance. Kvantová elektrodynamika. Renormalizace v teorii pole. Relativistická invariance. CTP teorém, spin a statistika. Neabelovské kalibrační teorie. Metoda renormalizační grupy. Asymptotická volnost. Spontánní narušení symetrie. Standardní model. Modely sjednocených interakcí. Supersymetrická polní teorie a strunové modely. Základy kvantování v silném elektrickém či gravitačním poli, volba vakua a částicová interpretace, Bogoljubovova transformace.

*3 - Nerelativistická kvantová teorie*

Hermitovské operátory a jejich spektrum, Schrödingerova rovnice, kvasiklasická aproximace, princip superpozice, relace neurčitosti, stacionární stavy, pohyb v centrálně symetrickém poli, teorie poruch, spin, spinory, identické částice, energetické hladiny atomů, jemná struktura atomových hladin, atomy v elektrických a magnetických polích, hustota toku, elastické srážky částic, amplituda rozptylu, optický teorém, Bornova řada, S–matice a její analytická struktura, kvazistacionární stavy, Jostova funkce a Levinsonův teorém. Interpretační otázky: dekoherence a efektivní redukce, teorie skrytých proměnných, feynmanovská formulace kvantové mechaniky.

*4 - Teorie pevných látek*

Plyn interagujících elektronů v kovech a polovodičích: stíněná elektron–elektronová a elektron–fononová interakce, těsnovazební modely. Teorie Fermiho kapaliny. Greenovy funkce a jejich analytické vlastnosti, Kramersovy–Kronigovy relace a flukтуаčně–disipační teorém. Teorie lineární odezvy, Kubovy formule. Supravodivost a supratekutost. BSC teorie supravodivosti.

*5 - Hydrodynamika, magnetohydrodynamika a teorie plazmatu*

Boltzmannova a Vlasovova kinetická rovnice, soustava fluidních a magnetohydrodynamických rovnic, driftové přiblížení pohybu částic v elektromagnetických polích,

rovnováha a stabilita plazmatu, disperzní rovnice pro šíření vln ve studeném plazmatu, kinetická teorie šíření vln v horkém plazmatu, Landaův útlum a nestabilita vln, nelineární interakce vln s plazmatem; zachycené částice a kvazilineární aproximace ponderomotivní síly v plazmatu, slabá a silná turbulence plazmatu, vzájemná interakce vln, deterministický chaos — úvod do teorie a aplikace v modelech anomálních jevů v plazmatu, plazma nízkoteplotní, termonukleární a astrofyzikální.

### *6 - Statistická fyzika a termodynamika*

Interagující statistické systémy: klasické a kvantové kapaliny a plyny, distribuční funkce a poruchové metody — viriálový a klusterový rozvoj, poruchové metody kvantové statistické mechaniky. Modely a teorie fázových přechodů: Isingův a Heisenbergův model magnetismu, statistická teorie středního pole, škálovací hypotéza a teorie renormalizační grupy.

### *A1, A2 - Klasická astronomie ...*

Nebeská mechanika: problém 2 a 3 těles, teorie potenciálu. Sférická astronomie: definice časů, soustavy souřadnic, transformace, vlivy. Metody určování vzdálenosti. Rovnice přenosu záření, Planckův zákon, zdroje opacity a emise. Základní představy o vývoji hvězd (vč. Slunce), Hertzsprungův-Russelův diagram. Pozorování exoplanet. Mezihvězdná látka, extinkce. Dvojhvězdy, typy proměnných hvězd. Tvorba hvězd, hvězdné populace, hvězdokupy. Galaxie, typy galaxií, složky, vývoj galaxií. Metody určování stáří. Základní představy o kosmologii, expanzní faktor, Hubbleův-Lemaitrův zákon, model lambda-CDM.

### *A1 - ... a experimentální metody*

Typy dalekohledů, funkce rozptylu, přenosová funkce, aberace, difrakce, seeing, extinkce. Definice fotometrických veličin, teorie signálu a šumu; detektory CCD, suprařivodivé detektory, fotonásobiče, primární redukce. Přímé zobrazení, adaptivní optika, senzor vlnoplochy, dekonvoluce. Fotometrie (aperturní, PSF), standardní systém; astrometrie; spektroskopie, redukce a kalibrace spekter; polarimetrie, Stokesovy parametry. Interferometrie, viditelnost, van Cittertův-Zernikeho teorém, supersyntéza. Radioastronomie, vyzařovací diagram, heterodynní přijímač; rádiový interferometr, korelátor, algoritmy rekonstrukce obrazu. Specifika oborů IR, UV, X, gama; detektory neutrin a kosmického záření; detektory gravitačních vln, Michelsonův interferometr. Analýza časových řad, řešení světelných křivek, řešení křivek radiálních rychlostí, Dopplerova tomografie. Porovnání modelu a pozorování, inverzní problém, metrika  $\chi^2$ , nejistoty náhodné a systematické, Bayesova věta. Astronomické databáze, archivace, Big Data.

### *A2 - ... a teoretická astrofyzika*

Rovnice hvězdné stavby, struktura a vývoj hvězd, interagující dvojhvězdy, závěrečné fáze. Stavové rovnice, degenerace. Nukleogeneze ve hvězdách a při Velkém třesku. Sluneční fyzika; helioseismologie a asteroseismologie. Hvězdné atmosféry: Einsteinovy koeficienty, LTE vs. non-LTE, rovnice statistické rovnováhy, formování spektrálních čar. Fyzika planetárních soustav: problém N těles, slapy, protoplanetární disky, negravitační jevy. Atomy a molekuly v kosmickém prostoru, elektronová, vibrační a rotační spektra. Rovnice magnetohydrodynamiky (MHD), vlny v plazmatu, tepelné a netepelné záření plazmatu. Fyzika akrečních disků; rázové vlny.

## Doporučená literatura

- Bičák, J., Rudenko, V. N.: **Teorie relativity a gravitační záření.** *Univerzita Karlova, Praha, 1986.*
- Binney, J., Merrifield, M.: **Galactic Astronomy.** *Princeton Series in Astrophysics, 1998.*
- Binney, J., Tremain, S.: **Galactic Dynamics.** *Princeton Series in Astrophysics, 1988.*
- Bowers, R., Deeming, T.: **Astrophysics I–III.** *Jones Bartlet, Boston, 1984.*
- De Loore, C. W. H., Doom, C.: **Structure and Evolution of Single and Binary Stars.** *Kluwer, Dordrecht, 1992.*
- Fecko, M.: **Diferenciálna geometria a Lieove grupy pre fyzikov.** *IRIS, Bratislava, 2004.*
- Formánek, J.: **Úvod do kvantové teorie.** *Academia, Praha, 1983.*
- Frank, J., King, A. R., Raine, D. J.: **Accretion Power in Astrophysics.** *2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.*
- Gilmore, G., King, I., Kruit, van der, P. C.: **The Milky Way as a Galaxy.** *University Science Books, Lecture Notes, 1989.*
- Griffiths, J. B., Podolský, J.: **Exact Space-Times in Einstein's General Relativity.** *Cambridge University Press, Cambridge, 2012.*
- Hansen, C. J., Kawaler, S. D.: **Stellar Interiors: Physical Principles, Structure and Evolution.** *Springer-Verlag, New York, 1994.*
- Hawking, S. W., Ellis, G. F. R.: **The Large Scale Structure of Space-Time.** *Cambridge University Press, Cambridge, 1973.*
- Itzykson, C., Zuber, J.: **Quantum Field Theory.** *McGraw-Hill, New York, 1982.*
- Kippenhahn, R., Weigert, A.: **Stellar Structure and Evolution.** *Springer-Verlag, Berlin, 1991.*
- Mahan, G. D.: **Many-particle Physics.** *Plenum Press, New York, 1990.*
- Martynov, D. J.: **Kurs Prakticeskoj astrofiziky.** *Nauka, Moskva.*
- Mihalas, D.: **Stellar Atmospheres.** *W. H. Freeman & Co., San Francisco, 1978.*
- Misner, C., Thorne, K. S., Wheeler, J.: **Gravitation.** *W. H. Freeman & Co., San Francisco, 1973.*
- Plischke, M., Bergsen, B.: **Equilibrium Statistical Physics.** *2nd ed. World Scientific, Singapore, 1994.*
- Reed, M., Simon, B.: **Methods of Modern Mathematical Physics.** *Academic Press, New York, 1979.*
- Rickayzen, G.: **Green's Function and Condensed Matter.** *Academic Press, London, 1984.*
- Rose, W. K.: **Advanced Stellar Astrophysics.** *Cambridge University Press, Cambridge, 1998.*
- Schatzman, E. L., Praderie, F.: **The Stars.** *Astronomy and Astrophysics Library, Springer-Verlag, Berlin, 1993.*
- Schwarzschild, M.: **Structure and Evolution of the Stars.** *Princeton University Press, Cambridge, 1958.*
- Stephani, H., Kramer, D., MacCallum, M., Hoenselaers, C., Herlt, E.: **Exact Solutions of Einstein's Equations.** *Cambridge University Press, Cambridge, 2003.*

- Sternberg, S.: **Group theory and physics.** *Cambridge University Press, Cambridge, 1994.*
- Tanenbaum, B. S.: **Plasma Physics.** *McGraw-Hill, New York, 1967.*
- Wald, R. M.: **General Relativity.** *University of Chicago Press, 1984.*
- Walker, G. A. H.: **Astronomical Observations.** *Cambridge University Press, Cambridge, 1999.*
- Weinberg, S.: **Quantum Theory of Fields I–III.** *Cambridge University Press, Cambridge, 1995–2000.*
- Wheeler, J. A., Zurek, W. H., eds.: **Quantum Theory and Measurement.** *Princeton University Press, Princeton, 1983.*

## Studijní program P4F2 Fyzika plazmatu a ionizovaných prostředí

### Anotace programu

Studijní program pokrývá veškeré aspekty fyziky plazmatu a přirozeně navazuje na širší magisterský obor „Fyzika povrchů a ionizovaných prostředí.“ Díky zaměření oboru, které zahrnuje nejen rozsáhlou oblast fyziky plazmatu, ale přesahuje i do teoretické fyziky (elementární procesy) a do některých témat astrofyziky (plazma meziplanetárního prostoru, problémy pohybu prachu/ledových klastrů ve sluneční soustavě), je atraktivní i pro studenty navazujícího magisterského studia z těchto oborů. Program je v rámci UK jedinečný díky ucelenému pohledu na fyziku plazmatu, zahrnující experimentální studium laboratorního i kosmického, nízkoteplotního i horkého plazmatu a často podporované numerickými simulacemi.

### Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f2> .

### Spolupracující ústavy

- Astronomický ústav AV ČR, v.v.i.  
Fričova 298, 251 65 Ondřejov  
<http://www.asu.cas.cz/>
- Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.  
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8  
<http://www.fzu.cz/>
- Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v.v.i.  
Dolejškova 2155/3, 182 23 Praha 8  
<http://www.jh-inst.cas.cz/>
- Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i.  
Boční II/1401, 141 31 Praha 4

<http://www.ufa.cas.cz/>

- Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i.  
Za Slovankou 1782/3, 182 00 Praha 8  
<http://www.ipp.cas.cz/>

## Domovská stránka oborové rady

<http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/p4f2/>

## Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f2> .

Uchazečům doporučujeme přihlásit se v předstihu na burze vybraných témat s nabídkou rozšířené finanční podpory: <https://www.mff.cuni.cz/en/physicsphd/f2/> . Takto předvybraným uchazečům bude usnadněn průchod přijímacím řízením.

## Poskytovaná výuka

Posluchač si volí přednášky a další povinnosti z nabídky oborové rady. Odborné semináře, soustředění a studentskou konferenci si posluchači zapisují opakovaně.

Kód	Název	ZS	LS
NEVF501	Nízkoteplotní plazma a jeho aplikace	2/0 Zk	—
NEVF502	Elementární procesy v plazmatu	2/0 Zk	—
NEVF503	Měřicí metody, modelování a zpracování experimentálních dat	2/0 Zk	—
NEVF504	Fyzikální procesy ve sluneční soustavě	2/0 Zk	—
NEVF505	Diagnostika plazmatu	2/0 Zk	—
NEVF506	Magnetohydrodynamika, horké a laserové plazma	2/0 Zk	—
NEVF518	Úvod do fyziky plazmatu	2/0 Zk	—
NEVF538	Fusion plasma	2/0 Zk	—
NEVF507	Seminář počítačové a měřicí techniky	—	0/2 Z
NEVF508	Seminář o moderních směrech ve fyzice	—	0/2 Z
NEVF536	Kurz speciálních experimentálních metod ve fyzice plazmatu a fyzikální chemii	—	2/0 Z
NEVF537	Vybrané kapitoly z plazmatu v kosmickém prostředí	—	2/0 Z
NEVF550	Odborné soustředění	0/2 Z	—
NEVF555	Studentská konference	—	0/3 Z
NEVF135	Programování v IDL — zpracování a vizualizace dat	1/1 KZ	—
NEVF145	Plazma v kosmickém prostoru	—	2/1 Z+Zk

## Požadavky k průběhu doktorského studia

a) 1. a 2. ročník studia: v každém ročníku 1 společný rozšiřující kurz, 2 přednášky dle individuálního studijního plánu v souladu s tématem disertační práce.

b) 1.–4. ročník studia: v každém ročníku odborný seminář a aktivní účast na zimním odborném soustředění.

c) Prezentace na WDS (Week of Doctoral Students) v každém roce studia. Publikace ve sborníku WDS v prvních 4 ročnících studia (lze nahradit publikací v časopise). Recenze příspěvku do sborníku WDS.

d) Aktivní účast na mezinárodní konferenci.

e) Podmínkou pro skládání státních doktorských zkoušek je absolvování celkem 4 odborných předmětů ukončených zkouškou.

f) Očekává se, že během studia student absolvuje několikaměsíční pobyt na zahraničním pracovišti. Alternativou jsou též letní/zimní školy v oboru práce v prvních letech studia.

g) Podmínkou pro obhajobu a ukončení studia je publikace vlastních výsledků ve dvou publikacích v mezinárodních impaktovaných časopisech. U obou publikací by měl být studentův přínos zásadní.

Oborová rada posuzuje splnění požadavků individuálně.

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Státní doktorská zkouška má syntetický charakter, tj. jsou kladeny 3 širší otázky ze 7 okruhů, které odpovídají obsahu kurzovních přednášek organizovaných oborovou radou (při zadání otázek komise bere v úvahu, které přednášky student navštěvoval).

### *Okruh 1. Nízkoteplotní plazma a jeho aplikace*

Definice a druhy plazmatu. Kinetický popis nízkoteplotního plazmatu, výbojové plazma a jeho aplikace zejména v plazmotechnologiích (polymerace, leptání, vytvoření tenkých vrstev apod.). Hydrodynamický popis plazmatu. Elementární procesy, typy srážek, srážkové průřezy. Záření v plazmatu. Transportní jevy, vodivost, difuze a ambipolární difuze. Chemické reakce v plazmatu. Vlny v plazmatu. Komplexní (prachové) plazma, jeho význam a aplikace.

### *Okruh 2. Elementární procesy v plazmatu*

Úvod do fyzikální chemie (struktura molekul, stavy, ionty, apod.), srážkové procesy (ionizace, excitace, deexcitace, chem. reakce, rekombinace apod.), termodynamika a statistická termodynamika z hlediska fyzikální chemie, reakční kinetika a dynamika a ion–molekulové reakce, úvod do plazmochemie a laserové chemie.

### *Okruh 3. Měřicí metody, modelování a zpracování experimentálních dat*

Analogové a digitální signály, analogový a digitální šum (spojité a diskrétní náhodné procesy), digitální filtrování (přehled metodik, typy filtrů, návrhy integračních a derivačních filtrů, metody zhlazování apod.), odhad parametrů modelu, vlastnosti a chyby odhadů. Optimální detekce (statistické vlastnosti, metody realizace). Náhodné procesy, fluktuace a šумы. Korelace, frekvenční spektrum signálu a jeho měření.

### *Okruh 4. Fyzikální procesy ve sluneční soustavě*

Základní pojmy z magnetohydrodynamiky, pohyb částic v silových polích, analytické řešení pohybu částic v adiabatickém přiblížení, sluneční soustava, popis systému Země–Slunce, meziplanetární magnetické pole, plazma v meziplanetárním systému, sluneční vítr, rázové vlny, magnetopauza a magnetosféra Země, transport částic v okolí Země. Interakce slunečního větru s magnetosférou, přepojování magnetických polí. Vlny v kosmickém plazmatu.

*Okruh 5. Diagnostika plazmatu*

Přehled diagnostických metod, optické metody, technika mikrovlnného měření, rezonátorová metoda, interferenční metoda, sondové metody, korpuskulární diagnostika. Diagnostické metody používané v kosmickém prostoru.

*Okruh 6. Magnetohydrodynamika, horké a laserové plazma*

Magnetohydrodynamický přístup, jedno a dvoukapalinový model, zamrzlé pole a difuze siločar, magnetická energie a magnetické napětí, příklady. Úvod do fyziky fúze. Principy fúzních zařízení: tokamak, stellerátor, z-pinch, inerciální udržení. Procesy interakce vysokých toků laserového záření s plazmatem, charakteristiky a problémy teoretického popisu systémů s vysokou hustotou energie, principy rentgenového laseru, inerciální fúze.

*Okruh 7. Problematika fúze, tokamak*

Základy fúze, princip tokamaku. Tokamak — magnetická topologie, stabilita plazmatu, metody ohřevu, vliv nečistot. Okrajové plazma, jeho interakce se stěnou, formování plazmatu. Turbulence a nestability, jejich potlačení. Metody simulace tokamakového plazmatu. Diagnostické metody v tokamacích (plazmatu a magnetického pole). Materiály používané v tokamacích, provoz a řízení tokamaků.

**Doporučená literatura**

- Atkins, P. W.: **Physical Chemistry**. Oxford University Press, Oxford, 1988.
- Baumjohann, W., Treumann, R. A.: **Basic Space Plasma Physics**. Imperial College Press, London, 1999.
- Biskamp, D.: **Magnetohydrodynamic Turbulence**. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- Bonitz M., Horing N., Ludwig P.: **Introduction to Complex Plasmas**. Springer 2010.
- Bertotti, B., Farinella, P., Vokrouhlický, D.: **Physics of the Solar System**. Springer, Dordrecht 2003.
- Bittencourt, J. A.: **Fundamentals of Plasma Physics**. Springer, New York, 2004.
- Cravens, T. E.: **Physics of Solar System Plasma**. Atmospheric and Space Science Series, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- Encrenaz, T. et al.: **The Solar System**. Springer, Berlin–Heidelberg–New York, 2004.
- Fanning, D. W.: **IDL Programming Techniques**. 2nd ed. 2000.
- Freidberg, J. P.: **Plasma Physics and Fusion Energy**. Cambridge University Press, Cambridge 2007.i/Ij
- Ghosh, P. K.: **Ion Traps**. Clarendon Press, Oxford, 1995.
- Glosík, J. (ed.): **Study texts for the course on Elementary processes in Plasma**. MFF UK, Prague, 2020.
- Goldston, R. J., Rutherford, P. H.: **Introduction to Plasma Physics**. Institute of Physics Publishing, Bristol–Philadelphia, 1995.
- Gombosi, T. I.: **Physics of the Space Environment**. Atmospheric and Space Science Series, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- Gross, R.: **An Introduction to Alfvén Waves**. The Adam Hilger Series on Plasma Physics, Bristol, 1988.

- Grün, E., Gustafson, B. A. S., Dermott, S., Fechtig, H.: **Interplanetary Dust.** *Astronomy and Astrophysics Library, Springer, Berlin, 2001.*
- Hargreaves, J. K.: **The Solar–terrestrial Environment.** *Cambridge Atmospheric and Space Science Series, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.*
- Huddlestone, R. H., Leonard, S. L. (Eds.): **Plasma Diagnostic Techniques.** *Academic Press, New York, London 1965.*
- Hutchinson, I. H.: **Principles of Plasma Diagnostics.** *Cambridge University Press, Cambridge, 2002.*
- Chen, F. F.: **Plasma Diagnostic Techniques.** *Academic Press, New York, 1965.*
- Chen, F. F.: **Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Third Edition.** *Springer, Cham, 2016.*
- Chung, P. M., Talbot, L., Touryan, K. J.: **Electrical Probes in Stationary and Flowing Plasmas.** *Springer, Boston, 1975 (rusky: Mir, Moskva, 1978).*
- Kallenrode, M. B.: **Space Physics: An Introduction to Plasma and Particles in the Heliosphere and Magnetospheres.** *Springer–Verlag, Berlin–Heidelberg, 2001.*
- Kivelson, M. G., Russell, C. T.: **Introduction to Space Physics.** *Cambridge University Press, Cambridge, 1995.*
- Kaufman, A. N., Cohen, B. I.: **LECTURE NOTES: Theoretical plasma physics.** *Journal of Plasma Physics, Volume 85 , Issue 6 , December 2019 , 205850601.*
- Lautrup, B.: **Physics of Continuous Matter: Exotic and Everyday Phenomena in the Macroscopic World.** *Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2005.*
- Peratt, A. L.: **Physics of the Plasma Universe.** *Springer–Verlag, New York–Heidelberg, 1991.*
- Pfaff, R. F., Borovsky, J. E., Young, D. T. (Eds.): **Measurement Techniques in Space Plasmas: Particles.** *AGU, Geophysical Monograph 102, Washington, DC, 1998.*
- Pfaff, R. F., Borovsky, J. E., Young, D. T. (Eds.): **Measurement Techniques in Space Plasmas: Fields.** *AGU, Geophysical Monograph 103, Washington, DC, 1998.*
- Piel, A.: **Plasma Physics, An Introduction to Laboratory, Space, and Fusion Plasmas.** *Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2010.*
- Priest, E. R. (ed.): **Solar System Magnetic Fields.** *Terra Scient. Publ. Co., Tokyo, 1985.*
- Shukla, P. K., Mamun, A. A.: **Introduction to Dusty Plasma Physics.** *Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2002.*
- Schott, L.: **Plasma Diagnostics.** *North–Holland Publishing Comp., Amsterdam, 1968.*
- Song, P., Singer, H. J., Siscoe G. L. (Eds.): **Space Weather.** *AGU, Geophysical Monograph 125, Washington, DC. 2001.*
- Svanberg, S.: **Atomic and Molecular Spectroscopy.** *Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1992.*
- Swamy, K.: **Dust in the Universe: Similarities and Differences.** *World Scientific Series in Astronomy and Astrophysics, World Scientific Publishing, Singapore, 2005.*

Thompson, M. J.: **An Introduction to Astrophysical Fluid Dynamics.** *Imperial College Press, London, 2006.*

Treumann, R. A., Baumjohann, W.: **Advanced Space Plasma Physics.** *Imperial College Press, London, 2001.*

Walker, A. D. M.: **Plasma Waves in the Magnetosphere.** *Springer Verlag, Berlin–Heidelberg, 1993.*

Werth, G., Gheorghe, V. N., Major, F. G.: **Charged Particle Traps.** *Springer Berlin Heidelberg New York 2005.*

Werth, G., Gheorghe, V. N., Major, F. G.: **Charged Particle Traps II.** *Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.*

Wesson, J.: **Tokamaks Fourth Edition.** *Oxford University Press, 2011.*

## Studijní program P4F3 Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum

### Anotace programu

Doktorský program připravuje odborníky kvalifikované pro samostatnou vědeckou práci v základním i aplikovaném výzkumu v oblastech studia fyzikálních vlastností kondenzovaných látek a materiálů. Doktorandi získají široké znalosti odpovídajících teoretických přístupů (kvantová teorie, termodynamická a statistická fyzika) a jejich aplikací v teoretické a experimentální fyzice kondenzovaných systémů a seznámí se s moderními experimentálními metodami a technologickými postupy. Vedle základní výuky společné pro celý studijní plán získá doktorand hluboké znalosti orientované podle tématu doktorské práce a podle výběru další výuky z nabídky specializovaných předmětů. Tato kombinace zabezpečuje přehled absolventa o celém oboru na současné úrovni poznání a profiluje ho ve zvoleném zaměření.

### Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f3>.

### Spolupracující ústavy

- Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.  
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8  
<http://www.fzu.cz/>
- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i.  
Chaberská 57, 182 51 Praha 8  
<http://www.ufe.cz/>
- Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i.  
Husinec – Řež č. p. 130, PSC 250 68  
<http://www.ujf.cas.cz/>

- Ústav makromolekulární chemie AV ČR, v.v.i.  
Heyrovského nám. 2, 162 06 Praha 6  
<http://www.imc.cas.cz/>
- Ústav termomechaniky AV ČR, v.v.i.  
Dolejškova 1402/5, 182 00 Praha 8  
<http://www.it.cas.cz/>

## Domovská stránka oborové rady

<http://www.xray.cz/F3>

## Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f3>.

## Vybraná témata pro předběžné výběrové řízení

<https://www.mff.cuni.cz/en/physicsphd/f3/>.

## Poskytovaná výuka a požadavky k průběhu studia

Doktorand si po dohodě se školitelem doplní povinné přednášky odpovídajícího magisterského studia na MFF UK, pokud tuto nebo obdobnou výuku neabsolvoval v rámci svého magisterského studia.

Během doktorandského studia doktorand absolvuje povinné předměty a podle svého tématu vybírá povinně výběrové předměty, případně další volitelné předměty podle doporučení školitele. Zúčastňuje se pravidelných odborných seminářů.

## Povinné předměty

Kód	Název	ZS	LS
NBCM083	<b>Vybrané partie z kvantové teorie</b>	2/1 Z+Zk	—
NFPL088	<b>Metody statistické fyziky</b>	2/1 Z+Zk	—
NFPL085	<b>Elektronová teorie pevných látek</b>	—	2/0 Zk
NFPL087	<b>Seminář řešení fyzikálních problémů</b>	—	0/2 Z
NFPL086	<b>Experimentální metody fyziky kondenzovaného stavu</b>	2/2 Zk	—

## Povinně výběrové předměty

Kód	Název	ZS	LS
NFPL082	<i>Magnetismus a elektronová struktura kovových systémů</i>	2/0 Zk	—
NFPL120	<i>Moderní problémy fyziky materiálů</i>	2/0 Zk	—
NFPL063	<i>Pokročilá kvantová teorie s aplikacemi ve fyzice kondenzovaných látek</i>	—	2/1 Zk
NFPL093	<i>Vybrané kapitoly z teorie a metodiky magnetické rezonance</i>	2/0 Zk	—
NFPL128	<i>Vybrané partie z pozitronové anihilační spektroskopie</i>	—	1/1 Z+Zk

NFPL178	<i>Supratekutost a Boseova-Einsteinova kondenzace</i>	—	2/1 Z+Zk
NFPL195	<i>Vybrané partie fyziky nízkých teplot</i>	—	2/0 Zk
NFPL066	<i>Pokročilé metody a aktuální témata ze strukturální analýzy</i>	2/0 Z	—

## Požadavky k průběhu doktorského studia

1) Před zápisem na státní doktorandskou zkoušku je třeba, aby student absolvoval a zakončil zkouškou či zápočtem všechny povinné předměty uvedené v tabulce, jeden z předmětů z tabulky povinně výběrových a aby absolvoval dva odborné semestrální semináře. Další povinností je, aby aktivně vystoupil na WDS (Week of Doctoral Students).

2) Doktorand se průběžně zúčastňuje dalších odborných seminářů (v celkovém počtu 4 semestrů během studia) a podle možností absolvuje vhodnou letní či zimní školu.

3) Student si podle pokynů školitele může zapsat výuku dalších vhodných výběrových nebo volitelných předmětů.

4) Během celého studia se intenzivně věnuje řešení tématu disertační práce, prezentuje své výsledky na seminářích a konferencích a podílí se na přípravě odborných publikací. Podle pokynů školitele se zapojí do mezinárodní spolupráce.

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Jsou kladeny otázky širšího zaměření a jejich úkolem je prověřit schopnost studenta orientovat se v dané problematice. Zkouška se skládá ze tří částí: I — Širší základ, II — Pokročilé partie oboru, III — Specializace. Z každé části bude studentovi položena jedna otázka.

### I. Širší základ

- I.1. Kvantověmechanický popis atomů a kondenzovaných látek
- I.2. Systémy mnoha částic
- I.3. Elektronové stavy v atomech a kondenzovaných látkách
- I.4. Interakce kvantového systému s elektromagnetickým zářením
- I.5. Klasické a kvantové statistické soubory
- I.6. Termodynamické veličiny
- I.7. Ideální, klasické a kvantové plyny
- I.8. Fermiony a bosony při nízkých teplotách
- I.9. Fázové přechody
- I.10. Nerovnovážné procesy v kondenzovaných látkách

### II. Pokročilé partie oboru

- II.1. Struktura a mikrostruktura kondenzovaných systémů
- II.2. Fonony
- II.3. Elektronová a atomová struktura a interakce v kondenzovaných systémech
- II.4. Kovy a polovodiče
- II.5. Dielektrika a feroelektrika
- II.6. Magnetismus
- II.7. Fyzika kondenzovaných systémů při nízkých teplotách, supravodivost a supratekutost

### III. Specializace

Otázky z předmětu specializace budou navrženy školitelem. Komise vybírá jednu z alespoň tří navržených otázek.

### Doporučená literatura

- Abraham, A.: **Principles of Nuclear Magnetism**. Clarendon Press, 1983.
- Ashcroft, N. W., Mermin, N. D.: **Solid State Physics**. Saunders Coll. Publishing, Philadelphia, 1988.
- Barbara, B., Gignoux, D., Vettier, C.: **Lectures on Modern Magnetism**. Springer-Verlag, Berlin, 1988.
- Buschow, K. H. J., Cahn, R. W., Flemings, M. C., Ilshner, B., Kramer, E. J., Mahajan, S.: **The Encyclopedia of Materials: Science and Technology**. Pergamon Press, Oxford, 2001.
- Cahn, E. W., Lifshin, E.: **Concise Encyclopedia of Materials Characterization**. Pergamon Press, Oxford, 1993.
- Ibach, H., Luth, H.: **Solid-State Physics**. Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- Kittel, C.: **Úvod do fyziky pevných látek**. Academia, Praha, 1985.
- Kratochvíl, P., Lukáč, P., Sprušil, B.: **Úvod do fyziky kovů I**. SNTL, Praha, 1984.
- Kužel, R., Saxlová, M., Šternberk, J.: **Úvod do fyziky kovů II**. SNTL, Praha, 1985.
- Slichter, C. P.: **Principles of Magnetic Resonance**. Springer Series in Solid-State Sciences book series (SSSOL, volume 1), 3rd edition, 1989.
- Šafrata, R. a kol.: **Fyzika nízkých teplot**. Matfyzpress, Praha, 1998.
- Valvoda, V., Polcarová, M., Lukáč, P.: **Základy strukturní analýzy**. Karolinum, Praha, 1992.
- Ziman, J. M.: **Principles of the Theory of Solids**. Cambridge University Press, Cambridge, 1965.
- Přehledové články a aktuální odborné publikace vztahující se k tématu řešeném v rámci dizertační práce.

## Studijní program P4F4 Biofyzika, chemická a makromolekulární fyzika

### Anotace programu

Studijní program navazuje na magisterský program „Biofyzika a chemická fyzika“ a na zaměření „Fyzika makromolekulárních látek“ magisterského programu „Fyzika kondenzovaných soustav a materiálů“. Náplní programu je vzdělávání v interdisciplinární oblasti na rozhraní fyziky, chemie a biologie z pozic fyzikálního popisu a fyzikálních experimentálních a teoretických postupů, čímž je jedinečný v rámci studijních programů UK. Absolventi se uplatňují v základním i aplikovaném výzkumu v oborech biofyzika, biochemie, fyzikální chemie a chemická fyzika, makromolekulární fyzika a chemie, mikrobiologie, fyziologie a v biologických oborech ve výzkumu lékařském.

## Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f4> .

## Spolupracující ústavy

- Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.  
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8  
<http://www.fzu.cz/>
- Fyziologický ústav AV ČR, v.v.i.  
Václavská 1083, 142 20 Praha 4  
<https://www.fgu.cas.cz/>
- Mikrobiologický ústav AV ČR, v.v.i.  
Václavská 1083, 142 20 Praha 4 - Krč  
<https://mbucas.cz/>
- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i.  
Chaberská 57, 182 51 Praha 8  
<http://www.ufe.cz/>
- Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v.v.i.  
Dolejškova 2155/3, 182 23 Praha 8  
<http://www.jh-inst.cas.cz/>
- Ústav makromolekulární chemie AV ČR, v.v.i.  
Heyrovského nám. 2, 162 06 Praha 6  
<http://www.imc.cas.cz/>
- Ústav organické chemie a biochemie AV ČR, v.v.i.  
Flemingovo nám. 2, 166 10 Praha 6  
<http://www.uochb.cas.cz/>

## Vypsání témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f4> .

## Vybraná témata pro předběžné výběrové řízení

<https://www.mff.cuni.cz/en/physicsphd/f4/> .

## Domovská stránka oborové rady

<http://biomolecules.mff.cuni.cz/4F4>

## Poskytovaná výuka

Kód	Název	ZS	LS
NBCM012	<b>Biochemie</b>	—	3/0 Zk

NBCM023	Význam a funkce kovových iontů v biologických systémech	2/0 Zk	—
NBCM039	Kvantová teorie molekul	3/2 Z+Zk	—
NBCM041	Základy teorie přenosu energie v molekulárních systémech I	2/0 Zk	—
NBCM046	Teoretický seminář chemické fyziky	0/1 Z	0/1 Z
NBCM055	Molekulární simulace při řešení struktur materiálů	2/1 Z+Zk	2/1 Z+Zk
NBCM058	Relaxační chování polymerů	—	2/0 Zk
NBCM059	Aplikace nízkoteplotního plazmatu	2/0 Zk	—
NBCM066	Základy makromolekulární chemie	2/1 Z+Zk	—
NBCM076	Teorie polymerních struktur	2/0 Zk	—
NBCM091	Seminář z fyziky polymerů	0/2 Z	0/2 Z
NBCM097	Spektroskopie povrchem zesíleného Ramanova rozptylu	—	2/0 Zk
NBCM098	Rentgenová a elektronová strukturní analýza biomolekul a makromolekul	2/0 Zk	—
NBCM127	Biofyzikální metody studia fotosyntézy	—	2/0 Zk
NBCM128	Pokročilé metody molekulární spektroskopie	—	2/0 Zk
NBCM129	Experimentální technika v optické spektroskopii a radiometrii	—	2/0 Zk
NBCM130	Seminář optické spektroskopie	—	0/2 Z
NBCM200	Studijní seminář plazmových polymerů	0/2 Z	0/2 Z
NBCM208	Základy makromolekulární fyziky	—	3/0 Zk
NBCM228	Polymery pro aplikace ve fotonice a optoelektronice	2/0 Zk	—
NBCM300	Seminář pro doktorandy — struktura a spektroskopie biomolekul	0/2 Z	0/2 Z
NBCM301	Seminář pro doktorandy — aktuální problémy molekulární biologie	0/2 Z	0/2 Z
NBCM305	Optické senzory	2/0 Zk	—
NBCM316	Počítačové modelování biomolekul	1/2 Z+Zk	1/2 Z+Zk
NBCM317	Pokročilá molekulární spektroskopie	1/1 Z+Zk	—
NFPL179	Kvantový popis NMR	—	2/1 Z+Zk
NFPL186	Seminář spektroskopie NMR vysokého rozlišení	0/2 Z	0/2 Z
NOOE119	Nelineární optická spektroskopie	—	2/0 Zk

### Požadavky k průběhu doktorského studia

a) Teoretická výuka by měla být soustředěna v prvním a druhém ročníku studia. Student si po dohodě se školitelem zapisuje předměty tematicky blízké náplni disertační práce a předměty potřebně rozšiřující obecnější vzdělání s ohledem na požadavky státní doktorské zkoušky. Kromě výše uvedené nabídky oborové rady je možné využívat kompletní nabídku vhodných předmětů vyučovaných na UK; v odůvodněných případech i na jiných vysokých školách.

b) Student je povinen vystoupit do konce druhého (třetího v případě jarního ná-  
stupu do studia) semestru na doktorandském týdnu (WDS). Student se pravidelně  
zúčastňuje oborových seminářů.

c) Je doporučeno skládat státní doktorskou zkoušku na konci druhého roku studia.  
Podmínkou pro přihlášení na státní zkoušku je absolvování tří předmětů zakončených  
zkouškou.

d) Velmi žádoucí je zapojení studenta do mezinárodní spolupráce formou stáží na  
zahraničním pracovišti a účasti na letních/zimních školách a mezinárodních vědeckých  
konferencích.

d) Podmínkou obhajoby disertační práce je publikování jejích výsledků v odborných  
časopisech v rozsahu a kvalitě odpovídající alespoň dvěma článkům v impaktovaných  
časopisech (WOS) s hlavním podílem studenta.

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Náplní zkoušky jsou 3 otázky, z toho dvě otázky ze dvou okruhů vybraných stu-  
dentem a jedna otázka ze specializace podle zaměření disertační práce, zadávaná indi-  
viduálně školitelem v souladu se studijním plánem. Jako otázky doplňkové v souvislosti  
s odpověďmi mohou být položeny otázky ze širšího základu zahrnujícího obecné fyzi-  
kální pojmy a zákonitosti v rozsahu stanoveném pro ústní část státní závěrečné zkoušky  
na bakalářském studijním programu Fyzika a pro požadavky k ústní části státní závě-  
rečné zkoušky na magisterském studijním programu Fyzika, obory Biofyzika a chemická  
fyzika a Fyzika kondenzovaných soustav a materiálů, studijní plán Fyzika makromole-  
kulárních látek, na MFF UK.

### *Okruh 1. Kvantová teorie a statistická fyzika molekulových soustav*

Hlavní metody kvantově–chemických výpočtů molekul. Atomové a molekulové  
orbitály.  $\pi$ –elektronová aproximace a Hückelova metoda. Hartreeho–Fockovy rovnice  
a Roothaanovy rovnice. Korelace elektronů, korelační energie. Konfigurační interakce.  
Vázané klastry a poruchové metody výpočtu korelační energie. Metody funkcionálu  
hustoty. Výpočty slabých mezimolekulárních interakcí. Vibrační stavy molekul. Me-  
tody výpočtu elektronových spekter. Termodynamické potenciály. Termodynamické  
věty. Statistické soubory, základní statistická rozdělení. Základní zákony rovnovážné  
i nerovnovážné statistické fyziky. Liouvilleova rovnice, Boltzmannova rovnice, Pauliho  
kinetická rovnice, zobecněné řídicí rovnice. Molekulární simulace, empirické potenciály,  
metody Monte Carlo, molekulová dynamika. Chemická kinetika. Elektrochemie.

### *Okruh 2. Fyzika a chemie molekulových struktur*

Síly určující strukturní organizaci molekul, konformace, fázové stavy a přechody  
v molekulárních systémech (roztoky, polymery, molekulové a kapalně krystalové  
vrstvy, biopolymery a membránové systémy). Fyzika a chemie bílkovin a nukleových  
kyselin (chemická stavba, prostorová struktura, tvorba komplexů, biologická funkce).  
Stavba buněk a hlavní molekulární pochody na buněčné úrovni. Fotofyzika a transportní  
jevy v polymerech.

### *Okruh 3. Experimentální metody*

Interakce elektromagnetického pole s molekulárními a biologickými strukturami  
(šířka a tvar spektrálních čar, relaxační procesy). Stanovení struktury molekulárních  
a biologických systémů (difrakce rtg. záření a neutronů, elektronová mikroskopie). Vy-  
užití metod magnetické resonance (ESR, NMR, spinové sondy a značky, echo metody,  
určování struktur 2D metodami). Metody pružného a dynamického rozptylu světla pro

stanovení struktury a pohybového stavu molekulárních objektů. Využití optické spektroskopie pro studium struktury, interakcí a dynamiky procesů přenosu energie a náboje v molekulárních a biologických systémech (vibrační IR spektroskopie, UV – VIS absorpční a emisní spektroskopie, metody vysokého časového a spektrálního rozlišení, polarizační efekty, optické chiroptické metody, Ramanův rozptyl, nelineární optické metody). Využití elektrických a dielektrických metod.

## Základní doporučená literatura

- Blankenship, R. E.: **Molecular Mechanisms of Photosynthesis**. *Blackwell Science, Oxford, 2002*.
- Cantor, C. R., Schimmel, P. R.: **Biophysical Chemistry, vol. I, II, III**. *W. H. Freeman & Co., San Francisco, 1980* (rusky: *Biofizická chemie*. Mir, Moskva, 1984).
- Cavanagh J. et al.: **Protein NMR Spectroscopy: Principles and Practice**. *2nd edition, Elsevier Academic Press 2007*
- Davydov, A. S.: **Kvantová mechanika**. *SPN, Praha, 1978*.
- Demtröder, W.: **Laser Spectroscopy**. *Springer, Berlin, 2005*.
- Guillet, J.: **Polymer Photophysics and Photochemistry**. *Cambridge University Press, Cambridge, 1985*.
- Kao, K. C., Hwang, W.: **Electrical Transport In Solids, vol. 1,2**. *Pergamon Press, Oxford, 1981* (rusky: *Perenos elektronov v tvrdých telach*. Mir, Moskva, 1984).
- Klíma, J., Šimurda, M.: **Sbírka problémů z kvantové teorie**. *Academia, Praha, 2006*.
- Prosser, V. a kol.: **Experimentální metody biofyziky**. *Academia, Praha, 1989*.
- Skála, L.: **Kvantová teorie molekul**. *Karolinum, Praha, 1995*.
- Skála, L.: **Úvod do kvantové mechaniky**. *Academia, Praha, 2005*.
- Sperling, L. H.: **Introduction to Physical Polymer Science**. *Wiley, New York, 1986*.

# Studijní program P4F5 Fyzika povrchů a rozhraní

## Anotace programu

Program přirozeně navazuje na magisterský obor „Fyzika povrchů a plazmatu“, ale může navazovat i na jiné magisterské vzdělání zaměřené na fyziku pevných látek. Studijní program pokrývá všechny aspekty fyziky povrchů a tenkých vrstev. Opírá se o znalosti fyzikálních a chemických vlastností povrchů a rozhraní v pevné fázi a souvisejících fyzikálních procesů. Studium zahrnuje problémy základního výzkumu v materiálových vědách a nanofyzice, studium povrchových struktur a procesů na atomární úrovni, povrchovou katalýzu a také hraniční disciplíny, jako je technologie palivových článků. Experimentální přístup úzce souvisí s teoretickým studiem problémů. Program

připravuje odborníky se širokým základem ve fyzice, s bohatými zkušenostmi s pokročilými experimentálními technikami povrchů a s hlubokými znalostmi povrchové fyziky a chemie.

## Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f5> .

## Spolupracující ústavy

- Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.  
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8  
<http://www.fzu.cz/>
- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i.  
Chaberská 57, 182 51 Praha 8  
<http://www.ufe.cz/>
- Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v.v.i.  
Dolejškova 2155/3, 182 23 Praha 8  
<http://www.jh-inst.cas.cz/>

## Domovská stránka oborové rady

<http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/p4f5/>

## Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f5> .

## Vybraná témata pro předběžné výběrové řízení

<https://www.mff.cuni.cz/en/physicsphd/f5/> .

## Poskytovaná výuka

Kód	Název	ZS	LS
NEVF514	<b>Fyzika povrchů</b>	2/0 Zk	—
NEVF515	<b>Metody fyziky povrchů a tenkých vrstev I</b>	—	2/0 Zk
NEVF516	<b>Metody fyziky povrchů a tenkých vrstev II</b>	2/0 Zk	—
NEVF517	<b>Seminář fyziky povrchů a tenkých vrstev</b>	—	0/2 Z
NEVF550	<b>Odborné soustředění</b>	0/2 Z	—
NEVF555	<b>Studentská konference</b>	—	0/3 Z

## Požadavky k průběhu doktorského studia

### a) Požadovaná výuka

1.-2. ročník studia: absolvování povinných přednášek - Fyzika povrchů NEVF514, Metody Fyziky povrchů I NEVF515, Metody fyziky povrchů II NEVF516.

1.-4. ročník studia: absolvování Semináře fyziky povrchů a tenkých vrstev NEVF 517.

Mimo výše uvedené povinné předměty si student do individuálního studijního plánu zapisuje výuku doporučenou školitelem podle zaměření disertační práce.

*b) Požadavky na tvůrčí činnost*

- prezentace na WDS (NEVF555) v 1. či 2. ročníku studia.
- každoroční prezentace výsledků na odborném soustředění KFPP (NEVF550) během celého prezenčního studia.
- minimálně jedna publikace k tématu disertační práce v impaktovaném časopise, na níž je student prvním autorem.

*c) Požadavky na absolvování stáží*

V souladu se standardy studijních programů na UK je žádoucí absolvování části studia na zahraniční instituci v souhrnné délce alespoň jednoho měsíce nebo další forma přímé účasti studenta na mezinárodní spolupráci. Další zahraniční stáž je žádoucí, ale není podmínkou.

*d) Další studijní povinnosti*

- očekává se rovněž účast na vhodné zimní či letní škole nebo konferenci.
  - zkouška z anglického jazyka.
- Oborová rada posuzuje splnění požadavků individuálně.

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

### *I. Širší základ*

Elektromagnetické pole. Fotony. Vlnová funkce. Relace neurčitosti. Schrödingerova rovnice a její řešení v jednoduchých případech. Přibližné metody kvantové teorie. Elektron v periodickém prostředí, pásová struktura. Chemická vazba. Termodynamické potenciály, rovnováha, fázové pravidlo, fázové přechody. Statistická rozdělení, vztah termodynamických a statistických veličin, entropie. Náhodné procesy, fluktuace, jejich charakteristiky. Krystalografie a struktura pevných látek, typy vazeb. Elektronová struktura pevných látek, typy vazeb. Transportní jevy, rovnice kontinuity, difúzní rovnice, relaxační doby, mechanismy rozptylu. Fonony.

### *II. Fyzikální základy oboru*

Objemové a povrchové procesy ve vakuových systémech, vypařování a kondenzace, interakce plynu s pevnou látkou (povrchová, objemová), čerpací proces, mezní tlak. Fyzikální principy metod získávání a měření nízkých tlaků. Pohyb nabitých částic v elektrických a magnetických polích, základní elektronově iontové optické soustavy. Hmotová spektroskopie. Rozhraní dvou pevných látek (kov–kov, kov–polovodič, polovodič–polovodič), elektronické procesy na rozhraních, fyzikální principy a funkce elektronických prvků. Povrch pevné látky (struktura, čistota, jevy rekonstrukce a relaxace), elektronová struktura povrchu (kovy a polovodiče), povrchové stavy, ohyb pásů, výstupní práce. Fyzikální jevy na površích (adsorpce; emise nabitých částic — termomise, termiontová emise, povrchová ionizace, tunelová emise, ionizace v silném poli, fotoemise; interakce záření a částic s pevnou látkou). Teorie růstu tenkých vrstev, epitaxe. Vlastnosti tenkých vrstev, transport tenkou vrstvou.

### *III. Experimentální metody fyziky povrchů, tenkých vrstev a rozhraní*

Vytváření definovaných povrchů a tenkých vrstev, základní metody a techniky. Metody analýzy povrchů, tenkých vrstev a rozhraní (mikroskopie — TEM, SEM, FEM, FIM, STM, AFM, elektronové a iontové spektroskopie — AES, XPS, APS, ..., difrakční metody — LEED, RHEED, rtg).

## Doporučená literatura

- Anselm, A. I.: **Úvod do teorie polovodičů.** *Academia, Praha, 1967.*
- Bechstedt, F.: **Principles of Surface Physics.** *Springer-Verlag, Berlin, 2003.*
- Chen C.J.: **Introduction to scanning tunneling microscopy.** *Oxford University Press, 2008.*
- Eckertová, L. a kol.: **Fyzikální elektronika pevných látek.** *Univerzita Karlova, Praha, 1992.*
- Eckertová, L. a kol.: **Metody analýzy povrchů, elektronová mikroskopie a difrakce.** *Academia, Praha, 1996.*
- Eckertová, L. a kol.: **Metody analýzy povrchů, elektronová spektroskopie.** *Academia, Praha, 1990.*
- Eckertová, L.: **Physics of thin films.** *SPN – Plenum Press, New York – Praha, 1986.*
- Frank, L. a kol.: **Metody analýzy povrchů, iontové, sondové a speciální metody.** *Academia, Praha, 2002.*
- Groszkowski, J.: **Technika vysokého vakua.** *SNTL, Praha, 1981.*
- Kittel, Ch.: **Úvod do fyziky pevných látek.** *Academia, Praha, 1985.*
- Michely T., Krug. J.: **Islands, Mounds and Atoms.** *Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004.*
- Pátý, L.: **Fyzika nízkých tlaků.** *Academia, Praha, 1968.*
- Venables, J. A.: **Introduction to Surfaces and Thin Film Processes.** *Cambridge University Press 2000.*
- Voightlaender B., **Scanning Probe Microscopy.** *Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.*
- Zangwill, A.: **Physics at surfaces.** *Cambridge University Press, Cambridge, 1988.*

# Studijní program P4F6 Kvantová optika a optoelektronika

## Anotace programu

Program kvantová optika a optoelektronika nabízí individuálně vedené studium, ve kterém studenti získávají rozsáhlé znalosti a dovednosti potřebné pro samostatnou vědeckou a výzkumnou práci v oboru. Podle individuálního studijního plánu se zaměřují na oblast své disertační práce. Témata prací vycházejí z vědecké práce školitelů, kteří působí například v oblastech femtosekundové laserové spektroskopie, opto-spintroniky, detekce světla, polovodičové optoelektroniky, terahertzové spektroskopie a laserové fyziky.

## Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f6> .

## Spolupracující ústavy

- Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.  
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8  
<http://www.fzu.cz/>
- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i.  
Chaberská 57, 182 51 Praha 8  
<http://www.ufe.cz/>

## Domovská stránka oborové rady

<http://physics.mff.cuni.cz/kchfo/ooe/4F6.htm>

## Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f6> .

## Vybraná témata pro předběžné výběrové řízení

<https://www.mff.cuni.cz/en/physicsphd/f6/> .

## Poskytovaná výuka

Povinné předměty:

Kód	Název	ZS	LS
NOOE100	<b>Doktorský seminář kvantové optiky a optoelektroniky</b>	0/2 Z	0/2 Z

Povinně volitelné předměty (minimálně v rozsahu odpovídajícím 15 kreditům z přednášek za první tři semestry studia): Student společně se školitelem vyberou přednášky z nabídky MFF UK do individuálního studijního plánu v souhlase s tématem disertační práce a s požadavky ke státní doktorské zkoušce.

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

### I. Širší základ

Základní pojmy a zákony klasické a kvantové fyziky. Makroskopický a mikroskopický popis fyzikálních jevů. Symetrie a její role ve fyzice. Základní pojmy a zákony rovnovážné a nerovnovážné statistické fyziky. Základy nelineární fyziky. Optické experimenty fundamentálního významu pro fyziku.

### II. Pokročilé partie oboru

#### II.1. Vlnová a kvantová optika

Způsoby popisu optického pole (přiblížení paprskové, vlnové a kvantové optiky). Gaussovské svazky. Fourierovská optika. Koherence. Interference. Základy holografie. Difrakce. Vedené vlny a optické vlnovody. Odezva kvantového systému na optické pole. Lineární a nelineární optika. Kvantování optického pole. Interakce optického záření s látkou: emise, absorpce, rozptyly — semiklasický a úplný kvantový popis. Koherenční a statistické vlastnosti optických polí (neklasické stavy optických polí). Optické experimenty kvantové optiky.

## II.2. Laserová fyzika

Laserové generátory a zesilovače. Optické rezonátory. Módy laseru. Typy laseru podle režimu činnosti a aktivního prostředí. Klasický, semiklasický a úplný kvantový popis laseru, řešení rovnic laseru. Dynamické vlastnosti laseru. Laserové systémy s extrémními parametry generovaného záření. Interakce laserového záření s látkou, nelineární optické jevy. Nelineární optické systémy pro účinnou transformaci frekvence generovaného záření. Laserová spektroskopie.

## II.3. Optoelektronika

Pásová teorie. Brillouionova zóna. Blochovy funkce. Hustota stavů. Kvazičástice v pevných látkách. Optické přechody. Polovodičové nanostruktury. Vodivost, Boltzmannova rovnice, rozptylové mechanismy, Hallův jev, magnetorezistence. Kvantový Hallův jev. Fotovodivost, luminiscence. Polovodičové detektory. Luminiscenční diody a lasery. Optické modulátory. Heterostruktury. Integrovaná optika. Metamateriály. Fotonické krystaly. Plazmonika. Základy technologie polovodičových systémů.

## III. Speciální část

Pokládá se jedna ze tří otázek, které předem navrhuje školitel podle užšího zaměření studenta. Součástí této části je také diskuse tezí doktorské práce, které předloží student v písemné podobě v rozsahu několika stran.

## Doporučená literatura

- Bachor, H.-A., Ralph, T. C.: **A Guide to Experiments in Quantum Optics.** Wiley-VCH, Weinheim, 2004.
- Born, M., Wolf, E.: **Principles of Optics.** Pergamon Press, Oxford, 1980.
- Boyd, R. W.: **Nonlinear Optics.** Academic Press, San Diego, USA, 1992.
- Davis, J. H.: **The Physics of Low-Dimensional Semiconductors.** Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- Eckertová, L. a kol.: **Fyzikální elektronika pevných látek.** Karolinum, Praha 1992.
- Gerry, C.C. and Knight, P.L.: **Introductory Quantum Optics.** Cambridge University Press, Cambridge, 2005.
- Haken, H.: **Light, vol. 1, 2.** North-Holland, Amsterdam, 1981/5.
- Cheo, P. K.: **Fiber Optics and Optoelectronics.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New York, 1985.
- Kittel, C.: **Quantum Theory of Solids.** Wiley, New York, 1967.
- Klingshirn, C. F.: **Semiconductor Optics.** Springer-Verlag, Berlin, 2012.
- Loudon, R.: **The Quantum Theory of Light.** Oxford University Press, Oxford, 2000.
- Mandel, L., Wolf, E.: **Optical Coherence and Quantum Optics.** Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- Pelant I., Valenta J.: **Luminiscenční spektroskopie I a II.** Academia, Praha, 2006 a 2010.
- Peřina, J.: **Quantum Statistics of Linear and Nonlinear Optical Phenomena.** Reidel, Dordrecht, 1991.
- Peyghambarian N., Koch S. W., Mysyrowicz A.: **Introduction to Semiconductor Optics.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.

Saleh, B. E. A., Teich, M. C.: **Základy fotoniky I–IV**. *Matfyzpress, Praha, 1994–96*.

Seeger, K.: **Semiconductor Physics**. *Springer-Verlag, Berlin, 1982*.

Svelto, O.: **Principles of Lasers**. *Plenum, Springer-Verlag, New York 2010*.

## Studijní program P4F7 Fyzika Země a planet

### Anotace programu

Obor Fyzika Země a planet se zabývá studiem Země a jejího blízkého okolí fyzikálními metodami. Zahrnuje fyziku zemětřesení a problematiku šíření seismických vln, termální vývoj a deformaci zemského tělesa na různých časových škálách, studium tíhového a elektromagnetického pole Země pozemskými i satelitními metodami a výzkum planet a jejich měsíců. K interpretaci geofyzikálních jevů používá metod matematického modelování. Studenti se v rámci studia zapojují do mezinárodní týmové spolupráce a výsledky vlastního výzkumu prezentují na mezinárodních konferencích a publikují v recenzovaných odborných časopisech.

### Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f7>.

### Spolupracující ústavy

- Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.  
Boční II/1401, 141 31 Praha 4 - Spořilov  
<http://www.ig.cas.cz/>
- Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.  
V Holešovičkách 41, 182 09, Praha 8  
<http://www.irmsm.cas.cz/>

### Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f7>.

### Vybraná témata pro předběžné výběrové řízení

<https://www.mff.cuni.cz/en/physicsphd/f7/>.

### Poskytovaná výuka

Po dohodě se školitelem studenti volí pokročilé magisterské nebo doktorandské přednášky, zejména z následujícího seznamu:

Kód	Název	ZS	LS
NGEO111	<b>Mechanika kontinua</b>	—	2/1 Z+Zk
NGEO069	<b>Mechanika kontinua II</b>	2/2 Z+Zk	—
NGEO112	<b>Fourierova spektrální analýza</b>	—	2/1 Z+Zk

NGEO110	<b>Přehled geofyziky</b>	2/1 Z+Zk	—
NGEO017	<b>Tíhové pole Země a planet</b>	2/1 Z+Zk	—
NGEO082	<b>Seismologie</b>	2/1 Z+Zk	—
NGEO074	<b>Fyzika zemětřeseného zdroje</b>	—	2/1 Z+Zk
NGEO080	<b>Geomagnetismus a geoelektrina</b>	3/1 Z+Zk	—
NGEO061	<b>Elektromagnetická indukce a vodivost Země</b>	—	2/1 Z+Zk
NGEO022	<b>Numerické metody ve Fortranu</b>	—	3/1 Z+Zk
NGEO002	<b>Šíření seismických vln</b>	2/1 Z+Zk	—
NGEO057	<b>Metody zpracování geofyzikálních dat</b>	—	2/1 Z+Zk
NGEO035	<b>Dynamika pláště a litosféry</b>	2/2 Z+Zk	—
NGEO076	<b>Obrácené úlohy a modelování ve fyzice</b>	—	2/0 Zk
NGEO081	<b>Obrácené úlohy a modelování v geofyzice</b>	—	2/2 Z+Zk
NGEO016	<b>Stavba Země</b>	3/0 Zk	—
NGEO084	<b>Geodynamický seminář</b>	0/2 Z	0/2 Z
NGEO083	<b>Seismický seminář</b>	0/3 Z	0/3 Z
NGEO032	<b>Paprskové metody v seismice</b>	2/1 Z+Zk	—
NGEO108	<b>Povrchové procesy a tektonika planet</b>	2/0 Zk	—
NDGF015	<b>Dynamika pláště a litosféry pro doktorandy</b>	2/0 Zk	2/0 Zk
NDGF014	<b>Geomagnetismus a geoelektrina pro doktorandy</b>	—	2/1 Z+Zk
NDGF013	<b>Mechanika kontinua pro doktorandy</b>	—	2/0 Zk
NDGF018	<b>Okrajové úlohy pro určení tíhového pole a tvaru Země pro doktorandy</b>	2/0 Zk	2/0 Zk
NDGF012	<b>Rotace Země pro doktorandy</b>	2/0 Zk	2/0 Zk
NDGF016	<b>Seismologie pro doktorandy</b>	—	2/1 Z+Zk

## Požadavky k průběhu doktorského studia

a) V prvním ročníku by měl student absolvovat 1-3 přednášky dle individuálního studijního plánu a dle tématu disertační práce. V 1. nebo ve 2. ročníku by měl vystoupit na Week of Doctoral Students, Doktorandském dni nebo na vhodné konferenci. Průběžně by měl navštěvovat oborový seminář.

b) Podmínkou pro obhajobu a ukončení studia je publikace vlastních výsledků týkajících se tématu disertační práce ve dvou publikacích v mezinárodních impaktovaných časopisech.

c) V souladu se standardy studijních programů na UK je součástí studijních povinností v doktorském programu absolvování části studia na zahraniční instituci v souhrnné délce alespoň jednoho měsíce nebo jiná forma přímé účasti studenta na mezinárodní spolupráci.

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Zkouška se skládá ze tří částí. První téma je zaměřené na problematiku řešenou v rámci disertační práce. Druhé téma je z povinné části 1 a třetí téma z volitelné části 2.

## 1. Povinná část

### 1.1 Základy geofyziky

Pohyby Země. Tíhové pole, tíhová měření a jejich redukce. Zemské slapy. Základní údaje o zemětřeseních. Seismicita Země. Šíření seismických vln. Popis magnetického pole Země, hlavní geomagnetické pole, variace. Paleomagnetismus. Zdroje a šíření tepla v Zemi. Konvekce v zemském plášti. Stáří hornin.

### 1.2 Stavba Země

Vlastní kmity Země a seismický referenční model. Průběh teploty, elektrické vodivosti a viskozity, fázové přechody v Zemi. Globální třírozměrné modely založené na seismické tomografii. Kontinentální drift, rozšiřování oceánského dna, desková tektonika.

## 2. Volitelná část

Doktorand volí jeden z následujících bloků:

### 2.1 Seismologie

Typy zemětřesení a jejich geografické rozložení. Makroseismická intenzita, magnitudo a energie zemětřesení. Fyzika zemětřesného ohniska. Seismicita. Seismické vlny, teorie jejich šíření. Seismické přístroje a observatoře. Strukturální seismologie.

### 2.2 Geodynamika

Energetická bilance Země. Reologie pláště a litosféry. Vyjádření zákonů zachování hmoty, hybnosti, momentu hybnosti a energie pro pohybující se kontinuum. Numerické modely konvekce v plášti. Subdukce litosférických desek. Postglaciální výzdvih. Dynamický geoid.

### 2.3 Geomagnetismus a geoelektrina

Základní charakteristiky elektromagnetického pole Země a jeho časových změn. Studium elektrické vodivosti v zemské kůře a plášti. Dynamová teorie buzení magnetického pole Země. Fyzika ionosféry a magnetosféry.

### 2.4 Planetologie

Reprezentace fyzikálních polí pomocí sférických harmonických funkcí. Určování vnitřní struktury planetárních těles. Souvislost mezi tvarem a procesy v planetárním nitru. Teplota povrchu a vnitřní zdroje tepla, slapové zahřívání. Určování stáří povrchu. Vývoj sluneční soustavy. Základní informace o vnitřní struktuře a termálním vývoji planet a měsíců.

## Doporučená literatura

Aki, P. K., Richards, P.: **Quantitative Seismology**. *University Science Books, Sausalito, 2002.*

Brokešová, J.: **Asymptotic Ray Method in Seismology. A Tutorial**. *Matfyz Press, Praha, 2008.*

Červený, V.: **Seismic Ray Theory**. *Cambridge University Press, Cambridge, 2001.*

Dahlen, F. A., Tromp, J.: **Theoretical Global Seismology**. *Princeton University Press, Princeton, 1998.*

Fowler, C. M. R.: **The Solid Earth**. *Cambridge University Press, Cambridge, 1990.*

Lay, T., Wallace, T. C.: **Modern Global Seismology**. *Academic Press, New York, 1995*.

Martinec, Z.: **Principles of Continuum Mechanics**. *Birkhauser, Springer Nature, 2019*.

Merrill, R. T., McElhinny, M. W., McFadden, P. L.: **The Magnetic Field of the Earth**. *Academic Press, San Diego, 1998*.

Novotný, O.: **Motions, Gravity Field and Figure of the Earth**. *UFBA, Salvador, Bahia, 1998*.

Shearer, P. M.: **Introduction to Seismology**. *Cambridge University Press, Cambridge, 1999*.

Schubert, G. (ed.): **Treatise on Geophysics**. *Elsevier, Amsterdam, 2007*.

Schubert, G., Turcotte, D. L., Olson, P.: **Mantle Convection in the Earth and Planets**. *Cambridge University Press, Cambridge, 2001*.

## Studijní program P4F8 Fyzika atmosféry, meteorologie a klimatologie

### Anotace programu

V rámci ČR tento program jako jediný poskytuje vzdělání v oblasti fyziky atmosféry, meteorologie a klimatologie. Je možné se zaměřit na řadu témat výzkumu atmosféry zahrnující například problematiku prognostických modelů, klimatu, klimatické změny a klimatického modelování, modelování atmosférické chemie a kvality ovzduší, modelování turbulentního proudění v malých měřítkách anebo výzkum vyšších vrstev atmosféry. Studovaná témata reflektují směřování základního výzkumu i aplikace v komerční a státní sféře. Podrobnosti o programu a pracovišti lze nalézt na <http://kfa.mff.cuni.cz/>.

### Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f8>.

### Spolupracující ústavy

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i.

Boční II/1401, 141 31 Praha 4

<http://www.ufa.cas.cz/>

- Ústav termomechaniky AV ČR, v.v.i.

Dolejšková 1402/5, 182 00 Praha 8

<http://www.it.cas.cz/>

### Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f8>.

**Poskytovaná výuka**

Kód	Název	ZS	LS
NMET501	<b>Radiačně aktivní plyny v atmosféře</b>	2/0 Zk	—
NMET503	<b>Vybrané partie z dynamické meteorologie</b>	2/0 Zk	—
NMET507	<b>Prediktabilita atmosférických procesů</b>	—	2/0 Zk
NMET508	<b>Numerické předpovědní metody</b>	—	2/0 Zk
NMET509	<b>Dynamika systému oceán — atmosféra</b>	2/0 Zk	—
NMET510	<b>Stratosféra a mezosféra</b>	2/0 Zk	—
NMET512	<b>Využití vícerozměrných statistických metod v meteorol. a klimat.</b>	—	2/0 Zk
NMET517	<b>Vybrané partie geofyzikální hydrodynamiky</b>	—	2/0 Zk
NMET518	<b>Scénáře změny klimatu</b>	—	2/0 Zk
NMET519	<b>Modelování klimatických změn</b>	—	2/0 Zk
NMET520	<b>Aktuální otázky synoptické klimatologie</b>	2/0 Zk	—
NMET524	<b>Klima města</b>	—	3/0 Zk
NMET525	<b>Pokročilé otázky klimatologie</b>	2/2 Z+Zk	—
NMET526	<b>Numerické modelování proudění tekutin</b>	—	2/2 Z+Zk
NMET527	<b>Fyzika a chemie aerosolů</b>	2/0 Zk	—
NMET528	<b>Modelování znečištění ovzduší</b>	—	2/1 Z+Zk
NMET529	<b>Aerosolové inženýrství II</b>	—	2/0 Zk
NMET530	<b>Horská meteorologie</b>	2/0 Zk	—
NMET531	<b>Specifika prognózy počasí ve střední Evropě</b>	—	2/0 Zk
NMET532	<b>Numerické modely počasí a klimatu</b>	2/0 Zk	—
NMET533	<b>Družicová data ve výzkumu atmosféry</b>	2/1 Z+Zk	—
NMET534	<b>Dynamika střední atmosféry</b>	—	2/0 Zk
NMET535	<b>Pokročilé partie z fyziky oblaků a srážek</b>	—	2/0 Zk

**Požadavky k průběhu doktorského studia**

Důrazně se doporučuje neprodlužovat délku studia nad dobu čtyř let. Prodloužení studia má smysl v jasně odůvodněných případech. Eventuální prodloužení studia nad tuto dobu bude individuálně posuzováno a pokračování bude doporučeno pouze v jasně odůvodněných případech. V harmonogramu individuálního studijního plánu (ISP) má být pro čtvrtý rok studia uvedena finalizace disertační práce.

Studenti a studentky mají mít při obhajobě svých disertačních prací minimálně tři recenzované publikace (publikované anebo přijaté k publikaci). Z toho u minimálně dvou má být daný student hlavním autorem a nejméně dvě mají být publikované v impaktovaném časopise. Předpokládaný harmonogram publikační aktivity má být součástí návrhu ISP.

Doporučuje se usilovat o získání studentských projektů u grantové agentury UK. Podání návrhu studentského projektu má být součástí návrhu ISP. Během studia se dále doporučuje absolvování stáže u zahraniční instituce v trvání nejméně tři měsíce. Absolvování zahraniční stáže má být součástí návrhu ISP, přičemž bude přihlédnuto i k individuálním podmínkám.

Doporučuje se zapisovat si předměty tematicky blízké zadání disertační práce v množství celkově čtyři a více předmětů. Doktorandi si zároveň mají každoročně zapisovat projektový seminář (NMET061, NMET062) po celou dobu studia. Každý doktorand alespoň jednou za rok na semináři přednese referát o řešení svojí disertace. Splnění tohoto předmětu je vázáno na pravidelnou účast a vystoupení s referátem o řešení práce. Zkoušku z angličtiny se doporučuje skládat hned během prvního roku studia. Složení státní doktorské zkoušky je doporučeno během druhého anebo třetího roku studia po splnění všech předmětů ISP.

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Zkouška probíhá typicky ve 4. anebo 5. semestru studia a zahrnuje 3 okruhy otázek.

### *I. Širší základ*

Předpokládá se znalost obecných zákonitostí a pojmů z fyziky. Znalosti z okruhu mechanika, molekulová fyzika a termika, termodynamika, hydrodynamika, mechanika kontinua a optika budou zkoušeny především v rámci otázek z předmětů profilujících obor.

### *II. Pokročilé partie oboru*

#### *II.1. Povinná část*

##### *II.1.1 Dynamická meteorologie*

Termodynamika otevřených a uzavřených systémů, fázové přechody. Typy atmosférického proudění, interpretace ageostrofických složek, proudová funkce a divergenční potenciál. Teorie tlakových změn, interpretace základních rovnic dynamiky atmosféry, teorém potenciální vorticity, cirkulační teorémy, gravitační a inerční oscilace, vlny v zónálním proudění, baroklinní instabilita, transformace energie v atmosféře, prediktabilita atmosférických dějů, cirkulace v různých atmosférických měřítkách.

##### *II.1.2 Synoptická meteorologie*

Využití numerických předpovědních metod v prognóze počasí, zvláštnosti synoptických procesů nad střední Evropou, předpovědi nebezpečných jevů a stavů, regionální vlivy na atmosférické fronty a na počasí uvnitř vzduchových hmot, kvazigeostrofický přístup v synoptické analýze, využití konceptu PV thinking pro synoptickou analýzu, principy izentropické analýzy.

##### *II.1.3 Mezní vrstva atmosféry*

Turbulence v atmosféře, transformace kinetické energie v mezní vrstvě, řešení problému uzávěru, modely turbulence, Moninova a Obuchovova teorie podobnosti, stabilitní parametry, interakce mezi zemským povrchem a atmosférou, proudění přes horské překážky, transport a reakce znečišťujících příměsí v atmosféře.

##### *II.1.4 Klimatologie*

Klimatický systém, zpětné vazby, prediktabilita klimatu. Fyzikální a chemické procesy v klimatickém systému, horizontální a vertikální struktura atmosférické a oceánské cirkulace, interakce mezi atmosférou a oceánem. Variabilita v klimatickém systému, cirkulační indexy, módy variability. Struktura klimatických modelů, globální cirkulační modely, modely na omezené oblasti. Vlivy antropogenní činnosti na klimatický systém. Vliv urbanizace na klima.

### *II.2. Volitelná část*

Doktorand si vybere jeden z uvedených tematických okruhů:

### II.2.1 Numerické předpovědní metody

Typy parciálních diferenciálních rovnic používaných při formulaci meteorologických modelů (hyperbolické, parabolické a eliptické rovnice včetně okrajových úloh). Rovnice mělké vody, baroklinní modely. Matematická formulace meteorologických předpovědí, celokoulové modely a modely na omezené oblasti. Parametrizace a asimilace dat. Numerické řešení rovnic atmosférické dynamiky.

### II.2.2 Fyzika oblaků a srážek

Fyzikální vlastnosti oblačných a srážkových částic, mikrofyzikální procesy v oblacích, dynamika vrstevnatých a konvekčních oblaků, mezosynoptické konvekční systémy, chemie oblaků a srážek, oblačná elektřina, využití meteorologických radiolokátorů při měření srážek, interakce aerosolů s oblačností a vliv na intenzitu srážek - nepřímé radiční vlivy aerosolů, parametrizace a modely tvorby oblačnosti a srážek.

### II.2.3 Atmosférická optika a akustika

Rozptyl a absorpce elektromagnetického záření v atmosféře, výklad základních optických a akustických jevů v atmosféře, meteorologická aplikace radarů, sodarů a metod dálkového průzkumu.

### II.2.4 Transport znečišťujících příměsí v atmosféře

Znečišťující příměsí a jejich zdroje, rozptyl znečištění, depozice na zemském povrchu, vymývání srážkami, základy chemismu atmosféry, chemie ozónu, monitoring znečištění ovzduší, metody měření emisí, modely šíření znečišťujících příměsí v různých prostorových měřítkách, ekologické důsledky znečišťování ovzduší, mikrofyzika a chemie aerosolů.

### II.2.5 Vyšší vrstvy atmosféry

Střední atmosféra, její struktura a změny během roku. Cirkulace ve střední atmosféře, Brewer-Dobsonova cirkulace, polární cirkulace. Výměna mezi troposférou a stratosférou. Role vlnových procesů v dynamice střední atmosféry. Ozon ve stratosféře, destrukce ozonu a ozonová díra. Vliv vulkanických erupcí a sluneční aktivity.

### II.2.6 Aplikovaná klimatologie

Klima města a specifika jeho modelování. Klimatologické aspekty solární a větrné energetiky. Biometeorologie – otázka tepelného komfortu, dopad vln veder a chladu na člověka a jeho zdraví. Základy fenologie. Vybrané partie technické klimatologie (klima vnitřních prostor, vliv klimatu a počasí na dopravu a průmysl).

Požadovaný obsah SDZ je možno upravit, event. doplnit ve vztahu ke konkrétnímu ISP doktoranda a k tématu jeho dizertace.

## Doporučená literatura

Andrews, D. G., Holton, J. R., Leovy, C. B.: **Middle Atmosphere Dynamics**. Academic Press, New York, 1987.

Arya, Paul S. **Introduction to micrometeorology**. Vol. 79. Elsevier, 2001.

Bigg, G. R.: **The Oceans and Climate**. Cambridge University Press, Cambridge, 1999.

G. Brasseur, S. Solomon: **Aeronomy of the middle atmosphere (third edition)**. Atmos. Oceanograph. Sci. Lib, Springer, Dordrecht, The Netherlands (2005), (369 ff.)

Boucher: **Atmospheric Aerosols: Properties and Climate Impacts**. Springer, 2015.

- Cotton, W. R., Anthes, R. A.: **Storm and Cloud–Dynamics**. *Int. Geoph. Series, vol. 44, Academic Press, New York, 1989.*
- Curry, J. A., Webster, P. J.: **Thermodynamics of Atmospheres and Oceans**. *Academic Press, New York, 1999.*
- Dutton, J. A.: **Dynamics of Atmospheric Motion**. *Dover, New York, 1995.*
- Houze Jr., R. A.: **Cloud Dynamics**. *International Geophysics Series, vol. 53, Academic Press, New York, 1993.*
- Jacobson, M. Z.: **Fundamentals of Atmospheric Modeling**. *Cambridge University Press, Cambridge, 1999.*
- McGuffie, K., Henderson–Sellers, A.: **A Climate Modelling Primer**. *John Wiley & Sons, New York, 1999.*
- T. R. Oke, G. Mills, A. Christen, J. A. Voogt: **Urban Climates**. *Cambridge University Press, 2017.*
- Pedlosky, J.: **Geophysical Fluid Dynamics**. *Springer–Verlag, Berlin, 1995.*
- Pechala, F., Bednář, J.: **Příručka dynamické meteorologie**. *Academia, Praha, 1991.*
- Peixoto, J. P., Oort, A. H.: **Physics of Climate**. *American Inst. of Physics, New York, 1992.*
- Pruppacher, H. R., Klett, J. D.: **Microphysics of Clouds and Precipitation**. *Atmospheric and oceanographic sciences library, vol. 18, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997.*
- Rayner, J. N.: **Dynamic Climatology**. *Blackwell Publishers, Inc., Malden, Mass. USA, 2001.*
- Seinfeld J.H., Pandis S. N.: **Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change**. *John Wiley and Sons, Inc., New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Toronto 1998*
- Stull, Roland B.: **An introduction to boundary layer meteorology**. *Vol. 13. Springer Science Business Media, 2012.*
- Vitaly I. Khvorostyanov, Judith A. Curry: **Thermodynamics, Kinetics, and Microphysics of Clouds**. *1st Edition, Cambridge University Press, 2014*

Strukturu doporučené literatury je možno upravit, event. doplnit ve vztahu ke konkrétnímu ISP doktoranda a k tématu jeho dizertace.

## Studijní program P4F9 Částicová a jaderná fyzika

### Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f9> .

### Spolupracující ústavy

- Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.  
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8

<http://www.fzu.cz/>

- Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i.  
Husinec – Řež č. p. 130, PSC 250 68  
<http://www.ujf.cas.cz/>

## Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f9>.

## Poskytovaná výuka

Posluchač si musí doplnit povinné přednášky magisterského studia na MFF UK v oboru odpovídajícím jeho specializaci, pokud je již neabsolvoval v rámci svého magisterského studia. Vedle toho si vybírá z volitelných předmětů, které doporučujeme zejména z následujícího seznamu pokročilých přednášek:

Kód	Název	ZS	LS
NJSF008	<b>Biologické účinky ionizujícího záření</b>	—	2/0 Zk
NJSF024	<b>Jaderné analytické metody</b>	2/0 Zk	—
NJSF030	<b>Kvantová teorie pole při konečné teplotě</b>	—	2/0 Zk
NJSF031	<b>Klasický a kvantový chaos</b>	—	2/0 Zk
NJSF056	<b>Problém mnoha těles ve struktuře jádra</b>	2/0 Zk	—
NJSF058	<b>Jaderné reakce s těžkými ionty</b>	2/0 Zk	—
NJSF146	<b>Kvantová teorie pole II</b>	—	4/2 Z+Zk
NJSF069	<b>Kvantová teorie pole II</b>	—	4/2 Z+Zk
NJSF070	<b>Detektory a urychlovače částic</b>	2/0 Zk	—
NJSF071	<b>Úvod do supersymetrie</b>	2/1 Zk	—
NJSF072	<b>Elektroslabé interakce II</b>	2/1 Zk	—
NJSF073	<b>Experimentální prověrka standardního modelu</b>	—	2/1 Z+Zk
NJSF075	<b>Detektory pro fyziku vysokých energií</b>	2/0 Zk	—
NJSF079	<b>Kvantová teorie pole III</b>	4/2 Z+Zk	—
NJSF082	<b>Vybrané partie teorie kvantovaných polí I</b>	3/0 Zk	—
NJSF083	<b>Vybrané partie teorie kvantovaných polí II</b>	—	3/0 Zk
NJSF084	<b>Chirální symetrie silných interakcí</b>	—	2/0 Zk
NJSF091	<b>Seminář částicové a jaderné fyziky I</b>	0/2 Z	—
NJSF092	<b>Seminář částicové a jaderné fyziky II</b>	—	0/2 Z
NJSF101	<b>Polovodičové detektory v jaderné a subjaderné fyzice.</b>	2/0 Zk	—
NJSF102	<b>Jaderná astrofyzika</b>	2/0 Zk	—
NJSF107	<b>Statistická jaderná fyzika</b>	2/0 Zk	—
NJSF112	<b>Jaderné procesy ve vesmíru</b>	2/0 Zk	—
NJSF125	<b>Seminář teoretické částicové fyziky I</b>	0/2 Z	—
NJSF126	<b>Seminář teoretické částicové fyziky II</b>	—	0/2 Z
NJSF129	<b>Pokročilé koncepty symetrie</b>	—	2/2 Zk
NJSF130	<b>Kosmické záření</b>	—	2/0 Zk
NJSF132	<b>Teorie nanoskopických systémů I</b>	2/0 Zk	—
NJSF133	<b>Teorie nanoskopických systémů II</b>	—	2/0 Zk

NJSF139	Částicová fyzika za standardním modelem I	2/1 Zk	—
NJSF140	Částicová fyzika za standardním modelem II	—	2/1 Zk
NJSF141	Zpracování experimentálních dat	—	2/0 Zk
NJSF142	Teorie grup a algeber v částicové fyzice	—	2/1 Zk
NJSF143	Statistické metody ve fyzice vysokých energií	3/0 Zk	—
NJSF157	Fyzika máločásticových jaderných systémů	2/0 Zk	—
NJSF158	Úvod do počítačové jaderné fyziky	1/1 Zk	—
NJSF193	Kolektivní dynamika mnohočásticových systémů	2/0 Zk	—
NJSF195	Silná interakce při vysokých energiích	2/0 Zk	—
NJSF196	Mikroskopická teorie jádra II	2/0 Zk	—

## Požadavky k průběhu doktorského studia

### 1) Studijní povinnosti

V prvních dvou ročnících by měl student absolvovat minimálně dvě přednášky ukončené zkouškou. Průběžně seminář ÚČJF.

### 2) Požadavky na tvůrčí činnost

Řešení tématu dizertační práce; prezentace na WDS (Week od Doctoral Studies) v 1. či 2. ročníku studia; alespoň jedna časopisecká publikace týkající se tématu dizertační práce; prezentace výsledků na semináři či vhodné konferenci

### 3) Požadavky na absolvování stáží

V souladu se standardy studijních programů na UK je součástí studijních povinností v doktorském SP absolvování části studia na zahraniční instituci v souhrnné délce alespoň jednoho měsíce nebo další forma přímé účasti studenta na mezinárodní spolupráci. Delší zahraniční stáž je žádoucí, ale není podmínkou.

### 4) Další studijní povinnosti

Účast na vhodné zimní či letní škole nebo konferenci; zkouška z anglického jazyka; doporučené vedení cvičení bakalářského nebo magisterského studia pod vedením zkušených přednášejících, případně výuka v praxi jaderné fyziky.

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Při výběru otázek se zohledňuje zaměření studenta a téma doktorské práce.

### I. Širší základ

Formální schéma a základní postuláty kvantové teorie. Relace neurčitosti. Schrödingerova rovnice a její řešení pro jednoduché systémy v rámci nerelativistické kvantové mechaniky. Kvantování a skládání momentu hybnosti. Spin. Přibližné metody kvantové mechaniky. Základy kvantové teorie rozptylu. Teorie mnohočásticových systémů, druhé kvantování, soustavy identických částic, metoda selfkonzistentního pole. Symetrie a zákony zachování. Základy speciální teorie relativity. Rovnice relativistické mechaniky a klasické teorie pole. Poincarého grupa. Klein—Gordonova a Diracova rovnice, jejich řešení pro volné částice a částice v elektromagnetickém poli. Základy kvantové teorie pole. Feynmanovy diagramy. Procesy kvantové elektrodynamiky v nejnižším řádu. Diagramy s jednou uzavřenou smyčkou. Základní techniky regularizace a renormalizace.

## II. Částicová fyzika

Detekční metody pro registraci elementárních částic. Urychlovače částic a detektory. Systematika a měření charakteristik elementárních částic. Geneze současného standardního modelu mikrosvěta z experimentálního hlediska. Hadronová fyzika: kvarkový model, partonový model, evidence pro barvu. Základy kvantové chromodynamiky: interakční lagrangián, běžící vazbová konstanta, evoluční rovnice. Experimentální testy kvantové chromodynamiky. Teoretické základy a experimentální testy standardního modelu elektroslabých interakcí. Neutrální a nabitý proudy. Vlastnosti intermediálních bosonů. Higgsův boson. Elementární procesy v nejnižším řádu. Narušení CP-invariance. Kobayashi—Maskawova matice. Oscilace neutrin.

## III. Jaderná fyzika

Základní charakteristiky jader. Jaderné síly, deuteron, málonukleonové systémy. Stupně volnosti jaderné dynamiky, jednočásticové a kolektivní pohyby. Elektromagnetické přechody. Beta přechody. Alfa přechody. Střední pole a zbytkové interakce krátkého a dlouhého dosahu. Párové korelace, Hartree-Fokova—Bogoljubovova metoda. Mikroskopické modely pro popis kolektivních excitací. Základní pojmy a mechanismy jaderných reakcí. Štěpení jader a princip jaderných reaktorů. Jaderná astrofyzika. Průchod nabitých částic, neutronů a fotonů prostředím. Detektory a spektrometry jaderného záření. Měření časových a úhlových korelací. Urychlovače nabitých částic a zdroje neutronů.

## Doporučená literatura

- Cahn, R., Goldhaber, G.: **Experimental foundations of particle physics.** *Cambridge University Press, Cambridge, 1989.*
- Cejnar, P.: **A Condensed Course of Quantum Mechanics.** *Karolinum, Praha, 2013.*
- Davídek, T., Leitner, R.: **Elementární částice od prvních objevů po současné experimenty.** *Matfyzpress, Praha, 2012.*
- Davídek, T., Leitner, R.: **Řešené příklady z fyziky elementárních částic.** *Matfyzpress, Praha, 2014. e-kniha*
- Davídek, T., Leitner, R.: **Elementární částice - Fenomenologie a experiment.** *Matfyzpress, Praha, 2021.*
- Ferbel, T.: **Experimental techniques in high energy nuclear and particle physics.** *World Scientific, Singapore, 1991.*
- Formánek, J.: **Úvod do kvantové teorie.** *Academia, Praha, 2004.*
- Formánek, J.: **Úvod do relativistické kvantové mechaniky a kvantové teorie pole.** *Karolinum, Praha, 2000.*
- Greiner, W., Maruhn, J. A.: **Nuclear Models.** *Springer-Verlag, New York, 1996.*
- Griffiths, D.: **Introduction to Elementary Particles.** *Wiley, New York, 1987.*
- Heyde, K.: **Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics.** *Institute of Physics Publishing, London, 1994.*
- Heyde, K.: **The Nuclear Shell Model.** *Springer-Verlag, New York, 1994.*
- Hořejší, J.: **Fundamentals of electroweak theory.** *Karolinum, Praha, 2002.*
- Cheng, T.-P., Li, L.-F.: **Gauge theory of elementary particle physics.** *Clarendon Press, Oxford, 1984.*
- Itzykson, C., Zuber, J.-B.: **Quantum field theory.** *McGraw-Hill, New York, 1980.*

- Knoll, G. F.: **Radiation Detection and Measurement**. Wiley, New York, 2000.
- Leo, W. R.: **Techniques for nuclear and particle physics experiments**. Springer, Berlin, 1994.
- Mandl, F., Shaw, G.: **Quantum Field Theory**. Wiley, New York, 1988.
- Nilsson, S. G., Ragnarsson, I.: **Shapes and Shells in Nuclear Structure**. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- Peskin, M., Schroeder, D.: **An Introduction to quantum field theory**. Addison–Wesley, Reading, 1995.
- Ring, I. P., Schuck, P.: **The Nuclear Many–Body Problem**. Springer–Verlag, New York, 1980.
- Thomson M.: **Modern Particle Physics**. Cambridge University Press, Cambridge, 2013.
- Weinberg, S.: **The quantum theory of fields I, II**. Cambridge University Press, Cambridge, 1995, 1996.
- Wilson, E.: **An Introduction to Particle Accelerators**. Oxford University Press, Oxford 2001.
- Žáček, J.: **Úvod do fyziky elementárních částic**. Karolinum, Praha, 2005.

## Studijní program P4F11 Matematické a počítačové modelování

### Anotace programu

Na rozdíl od jiných programů doktorského studia je tento program kombinovaný mezi matematikou a fyzikou. Je zaměřen na modelování ve fyzice pevných látek, kapalin, plynů a plazmatu, s aplikacemi ve vědě o materiálech, v chemii, v biologii a v lékařství. Podle tématu doktorské práce se lze věnovat buď kontinuálnímu, částicovému nebo hybridnímu modelování, s akcenty buď v matematice či fyzice. Kontinuální modelování je zaměřeno na studium modelů mechaniky a termodynamiky kontinua jak tekutin (tedy kapalin nebo plynů) tak tuhých látek, či na související matematickou a numerickou analýzu odpovídajících systémů parciálních diferenciálních rovnic a případně na jejich numerické řešení. Částicové a hybridní modelování je zaměřeno na studium makromolekul, tenkých vrstev a povrchů a na studium nízkoteplotního a vysokoteplotního plazmatu v úzké vazbě na experimentální data, často s cílem pomoci při interpretaci získaných experimentálních výsledků a vývoji nových diagnostických metodik.

### Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f11> .

### Spolupracující ústavy

- Matematický ústav AV ČR, v.v.i.  
Žitná 25, 115 67 Praha 1  
<http://www.math.cas.cz>

- Ústav termomechaniky AV ČR, v.v.i.  
Dolejšková 1402/5, 182 00 Praha 8  
<http://www.it.cas.cz/>

## Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f11> .

## Poskytovaná výuka

Volbu předmětů stanoví student ve spolupráci se školitelem a se souhlasem obořové rady. Lze absolvovat jakýkoliv předmět vyučovaný na Univerzitě Karlově v Praze, v případě potřeby po domluvě i na jiných školách (ČVUT, VŠCHT). Nabídka zahrnuje především předměty navazujícího magisterského studia MOD a NUM, které student neabsolvoval během dřívějšího studia. Jejich seznam je uveden níže, v rámci požadavků na státní doktorskou zkoušku.

Kód	Název	ZS	LS
NMMO561	<b>Regularita řešení Navier-Stokesových rovnic</b>	2/0 Zk	—
NMMO533	<b>Nelineární diferenciální rovnice a nerovnice 1</b>	3/1 Z+Zk	—
NMMO534	<b>Nelineární diferenciální rovnice a nerovnice 2</b>	—	3/1 Z+Zk
NMMA452	<b>Seminář z parciálních diferenciálních rovnic</b>	0/2 Z	0/2 Z
NMMA431	<b>Seminář z diferenciálních rovnic</b>	0/2 Z	0/2 Z
NMMA583	<b>Kvalitativní vlastnosti slabých řešení parciálních diferenciálních rovnic</b>	2/0 Zk	—
NMMA584	<b>Regularita slabých řešení parciálních diferenciálních rovnic</b>	—	0/2 Z
NMMA621	<b>Analýza matematických modelů, popisujících pohyb tělesa v tekutině I</b>	2/0 Zk	—
NMMA622	<b>Analýza matematických modelů, popisujících pohyb tělesa v tekutině II</b>	—	2/0 Zk
NMMA623	<b>Nové výsledky v teorii Eulerových rovnic</b>	—	2/0 Zk
NMNV461	<b>Techniky aposteriori odhadování chyby</b>	2/0 Zk	—
NMNV462	<b>Numerické modelování problémů elektrotechniky</b>	—	2/0 Zk
NMNV463	<b>Modelování materiálů — teorie, redukce modelů a efektivní numerické metody</b>	0/2 Z	0/2 Z
NMNV464	<b>Aposteriorní numerická analýza metodou vyvážených toků</b>	—	2/0 Zk
NMNV561	<b>Bifurkační analýza dynamických systémů 1</b>	2/0 Zk	—
NMNV562	<b>Bifurkační analýza dynamických systémů 2</b>	—	2/0 Zk
NMNV627	<b>Moderní algoritmy numerické optimalizace</b>	2/0 Zk	—
NGEO112	<b>Fourierova spektrální analýza</b>	—	2/1 Z+Zk
NGEO076	<b>Obrácené úlohy a modelování ve fyzice</b>	—	2/0 Zk

NGEO102	<b>Inverzní modelování v geodynamice</b>	2/0 Zk	—
NEVF160	<b>Moderní počítačová fyzika I</b>	2/1 KZ	—
NEVF161	<b>Moderní počítačová fyzika II</b>	—	2/1 KZ
NEVF523	<b>Numerické metody počítačové fyziky I</b>	2/2 Zk	—
NEVF529	<b>Numerické metody počítačové fyziky II</b>	—	2/2 Zk
NEVF525	<b>Fyzika plazmatu a počítačové modelování v plazmatu I</b>	2/2 Z	—
NEVF531	<b>Fyzika plazmatu a počítačové modelování v plazmatu II</b>	—	2/2 Zk
NBCM321	<b>Základy počítačové fyziky I</b>	2/2 KZ	—
NBCM322	<b>Základy počítačové fyziky II</b>	—	2/2 Zk
NMMO566	<b>Plasticita a creep</b>	—	2/0 Zk

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Zkouška se skládá ze tří částí:

*I — Metody analýzy parciálních diferenciálních rovnic*

*II — Metody numerické matematiky a vědeckých výpočtů*

*III — Metody fyziky kontinua a fyziky plazmatu*

Školitel v koordinaci se studentem a garantem programu volí z každé části po jednom tématu. Jedno téma (tzv. speciální) je zaměřené na problematiku disertační práce, zpravidla jde o studium nejnovějších článků či knih v daném oboru. Předpokládá se, že toto téma se primárně týká jedné z částí I, II nebo III. Ze zbylých dvou částí se volí zpravidla témata, která tvoří nadstavbu nad znalostmi navazujícího magisterského studia daného studenta. Zpravidla jde o problematiku, pokrytou jednou až dvěma pokročilými výběrovými přednáškami, které student absolvoval během doktorského studia, nebo jejichž obsah nastudoval student sám. Současná nabídka zahrnuje například tyto přednášky:

*I Metody analýzy parciálních diferenciálních rovnic*

Kód	Název	ZS	LS
NMMO539	<b>Matematické metody v mechanice neneutronovských tekutin</b>	2/0 Zk	—
NMMO535	<b>Matematické metody v mechanice pevných látek</b>	2/0 Zk	—
NMMO532	<b>Matematická teorie Navierových-Stokesových rovnic</b>	—	2/0 Zk
NMMO536	<b>Matematické metody v mechanice stlačitelných tekutin</b>	—	2/0 Zk
NMMO561	<b>Regularita řešení Navier-Stokesových rovnic</b>	2/0 Zk	—
NMMO533	<b>Nelineární diferenciální rovnice a nerovnice 1</b>	3/1 Z+Zk	—
NMMO534	<b>Nelineární diferenciální rovnice a nerovnice 2</b>	—	3/1 Z+Zk
NMMA531	<b>Parciální diferenciální rovnice 3</b>	2/0 Zk	—

## FYZIKA

### II Metody numerické matematiky a vědecké výpočty

Kód	Název	ZS	LS
NMMO537	Sedlobodové úlohy a jejich řešení	—	2/2 Z+Zk
NMNV412	Analýza maticových iteračních metod – principy a souvislosti	—	4/0 Zk
NMNV436	Metoda konečných prvků 2	—	2/2 Z+Zk
NMNV537	Matematické metody v mechanice tekutin 1	2/0 Zk	—
NMNV538	Matematické metody v mechanice tekutin 2	—	2/0 Zk
NMNV464	Aposteriorní numerická analýza metodou vyvážených toků	—	2/0 Zk
NMNV540	Základy nespojité Galerkinovy metody	—	2/0 Zk
NEVF523	Numerické metody počítačové fyziky I	2/2 Zk	—
NEVF529	Numerické metody počítačové fyziky II	—	2/2 Zk

### III Metody fyziky kontinua a fyziky plazmatu

Kód	Název	ZS	LS
NMMO432	Klasické úlohy mechaniky kontinua	—	2/1 Z+Zk
NMMO543	Modelování v biomechanice	3/0 Z+Zk	—
NMMO541	Teorie směsí	2/1 Z+Zk	—
NOFY026	Klasická elektrodynamika	—	2/2 Z+Zk
NTMF034	Elektromagnetické pole a speciální teorie relativity	—	2/1 Zk
NEVF525	Fyzika plazmatu a počítačové modelování v plazmatu I	2/2 Z	—
NEVF157	Počítačové modelování ve fyzice plazmatu II	—	1/1 KZ
NEVF526	Počítačová fyzika I	2/2 Z	—
NBCM322	Základy počítačové fyziky II	—	2/2 Zk
NGEO102	Inverzní modelování v geodynamice	2/0 Zk	—

## Doporučená literatura

Addison, P. S.: **The Illustrated Wavelet Transform Handbook.** *Institute of Physics Publishing, Bristol, 2002.*

Callen, H. B.: **Thermodynamics and an introduction to thermostatics.** *John Wiley & Sons, New York, 1985.*

Ciarlet, P. G.: **Mathematical elasticity. Vol. I. Three-dimensional elasticity.** *Studies in Mathematics and its Applications, 20. North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1988.*

Ciarlet, P. G.: **Linear and nonlinear functional analysis with applications.** *SIAM, Philadelphia, 2013.*

Ciarlet, P. G., Lions, J.L. (eds.): **Finite Element Methods. Handbook of Numerical Analysis, part 1.** *3rd ed. North-Holland-Elsevier, 2007.*

- Elman, H., Silvester, D., Wathen, A.: **Finite Elements and Fast Iterative Solvers (with applications in incompressible fluid dynamics)**. *Oxford Science Publications, Oxford University Press, Oxford, 2008*.
- Evans, L.: **Partial Differential Equations**. *AMS, 2010 (druhé rozšířené vydání)*.
- Feireisl, E., Novotný, A.: **Singular Limits in Thermodynamics of Viscous Fluids**. *Advances in Mathematical Fluid Mechanics, Birkhäuser Basel, 2009, 2. vydání 2017*.
- Feireisl, E.: **Dynamics of viscous compressible fluids**. *Oxford Lecture Series in Mathematics and its Applications, 26. Oxford University Press, Oxford, 2004*.
- Feireisl, E. Karper, T. G. Pokorný, M.: **Mathematical theory of compressible viscous fluids. Analysis and numerics**. *Advances in Mathematical Fluid Mechanics. Lecture Notes in Mathematical Fluid Mechanics. Birkhäuser/Springer, Cham, 2016*.
- Feistauer, M., Felcman, J., Straškraba, I.: **Mathematical and computational methods for compressible flow**. *Numerical Mathematics and Scientific Computation. The Clarendon Press–Oxford University Press, Oxford, 2003*.
- Feistauer, M.: **Mathematical Methods in Fluid Mechanics**. *Longman Scientific and Technical Series, Harlow, 1993*.
- Gurtin, M. E., Fried, E., Anand, L.: **The mechanics and thermodynamics of continua**. *Cambridge University Press, Cambridge, 2010*.
- Gershenfeld, N.: **The Nature of Mathematical Modelling**. *Cambridge University Press, Cambridge, 1999*.
- Haille, J. M.: **Molecular Dynamics Simulation: Elementary Methods**. *J. Wiley, New York, 1992*.
- Hockney, R. W., Eastwood, J. W.: **Computer Simulation Using Particles**. *Taylor & Francis, New York, 1988*
- Hrach, R.: **Počítačová fyzika I**. *PF UJEP, Ústí nad Labem, 2003*.
- Hrach, R.: **Počítačová fyzika II**. *PF UJEP, Ústí nad Labem, 2004*.
- Chadwick, P.: **Continuum Mechanics: Concise Theory and Problems**. *2nd ed. Dover Publications, Dover, 1999*.
- Chen, F. F.: **Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion**. *Springer, New York, 2006*.
- Kružík, M., Roubíček, T.: **Mathematical methods in continuum mechanics of solids**. *Interaction of Mechanics and Mathematics. Springer, Cham, 2019*.
- Kvasnica, J.: **Statistická fyzika**. *Academia, Praha, 1983*.
- Landau, D. P., Binder, K.: **A Guide to Monte Carlo Simulation in Statistical Physics**. *Cambridge University Press, Cambridge, 2005*.
- Liesen, J., Strakoš, Z.: **Krylov subspace methods. Principles and analysis**. *Numerical Mathematics and Scientific Computation, Oxford University Press, Oxford, 2013*.
- Lukeš, J.: **Zápisky z funkcionální analýzy**. *MFF UK, Karolinum, 1998*.
- Málek, J., Nečas, J., Rokyta, M., Růžička, M.: **Weak and Measure-valued solutions to evolutionary equations**. *Chapmann & Hall, 1996*.
- Málek, J., Rajagopal, K.R.: **Mathematical issues concerning the Navier–Stokes equations and some of its generalizations**. *Evolutionary equations, vol. II, p. 371–459, Handb. Differ. Equ., ed. C.M. Dafermos, E. Feireisl. Elsevier/North–Holland, Amsterdam, 2005*.

- Málek, J., Strakoš, Z.: **Preconditioning and the conjugate gradient method in the context of solving PDEs.** *SIAM Spotlights, 1, SIAM, Philadelphia, 2015.*
- Maršík, F., Dvořák, I.: **Biodynamika.** *Academia, Praha, 1998.*
- Maršík, F.: **Termodynamika kontinua.** *Academia, Praha, 1999.*
- Nezbeda, I., Kolafa, J., Kotrla, M.: **Počítačové simulace.** *MFF UK, Praha, 1998.*
- Novotný, A., Straškraba, I.: **Introduction to the mathematical theory of compressible flow.** *Oxford Lecture Series in Mathematics and its Applications, 27. Oxford University Press, Oxford, 2004.*
- Ogden, R. W.: **Nonlinear elastic deformations.** *Ellis Horwood Series: Mathematics and its Applications. Ellis Horwood Ltd., Chichester; Halsted Press [John Wiley Sons, Inc.], New York, 1984.*
- Pavelka, M., Klika, V., Grmela, M.: **Multiscale Thermo-dynamics: Introduction to Generic.** *De Gruyter, 2018.*
- Perthame, B.: **Transport equations in biology.** *Frontiers in Mathematics. Birkhäuser Verlag, Basel, 2007.*
- Phan—Thien, N.: **Understanding Viscoelasticity.** *Springer, 2002.*
- Pratt, W. K.: **Digital Image Processing.** *Wiley, New York, 1991.*
- Press, W. H. et al.: **Numerical Recipes — The Art of Scientific Computing.** *3rd ed. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.*
- Rapaport, D. C.: **The Art of Molecular Dynamics Simulations.** *Cambridge University Press, Cambridge, 1995.*
- Robinson, J.C. Rodrigo, J.L. Sadowski, W.: **The three-dimensional Navier-Stokes equations. Classical theory.** *Cambridge Studies in Advanced Mathematics, 157. Cambridge University Press, Cambridge, 2016.*
- Roubíček, T.: **Nonlinear Partial Differential Equations with Applications. Second edition.** *International Series of Numerical Mathematics, 153. Birkhäuser/Springer Basel AG, Basel, 2013.*
- Spencer, A. J. M.: **Continuum Mechanics.** *Dover Books on Physics, Dover Publications, Dover, 2004.*
- Temam, R.: **Navier–Stokes equations and nonlinear functional analysis.** *2nd ed. CBMS–NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, 66. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, PA, 1995.*
- Truesdell, C.; Noll, W.: **The non-linear field theories of mechanics. Third edition. Edited and with a preface by Stuart S. Antman.** *Springer-Verlag, Berlin, 2004.*
- Tsai, T.-P.: **Lectures on Navier-Stokes equations.** *Graduate Studies in Mathematics, 192. American Mathematical Society, Providence, RI, 2018.*
- Zeidler, E.: **Applied Functional Analysis.** *Springer-Verlag, Berlin, 1995.*
- Zeidler, E.: **Nonlinear Functional Analysis and its Applications, vol. I–V.** *Springer-Verlag, Berlin, 1986–1995.*

# Studijní program P4F12 Didaktika fyziky a obecné otázky fyziky

## Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f12>.

## Spolupracující ústavy

- Astronomický ústav AV ČR, v.v.i.  
Fričova 298, 251 65 Ondřejov  
<http://www.asu.cas.cz/>

## Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f12>.

## Poskytovaná výuka

Kód	Název	ZS	LS
NDFY029	Problémy fyzikálního vzdělávání	0/2 Z	0/2 Z
NDFY054	Moderní trendy ve fyzikálním vzdělávání	—	0/2 Z
NDFY064	Doktorandský seminář f12 I	0/1 Z	—
NDFY065	Doktorandský seminář f12 II	—	0/1 Z
NDFY066	Fyzikální obraz světa II	—	0/2 Z
NDFY071	Úvod do řešeršni a výzkumné činnosti I	0/1 Z	—
NDFY072	Úvod do řešeršni a výzkumné činnosti II	—	0/1 Z
NDFY042	Vývoj fyzikálních experimentů	0/2 Z	—
NDFY070	Vývoj fyzikálních experimentů II	—	0/2 Z
NPED015	Pedagogický seminář I	0/2 Z	—
NPED016	Pedagogický seminář II	—	0/2 Z
NPOZ008	Fyzika jako dobrodružství poznání	—	0/3 Z

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Zkouška se skládá ze tří částí I. Širší základ, II. Partie fyziky související s tématem dizertační práce, III. Specializace.

### I. Širší základ

1. Zákony zachování ve fyzice, rovnice kontinuity. 2. Prostor a čas, inerciální a neinerciální systémy, speciálně relativistická kinematika a dynamika. 3. Energie, hybnost a moment hybnosti v různých oblastech fyziky. 4. Popis dynamiky různých systémů (pohybové rovnice, variační formulace fyzikálních zákonů, rovnice pole). 5. Oscilátor v klasické i kvantové fyzice. 6. Základy klasické elektrodynamiky (budování teorie z experimentů i deduktivní vyvození z Maxwellových rovnic). 7. Potenciály a jejich význam ve fyzice. 8. Vlnění (mechanické i elektromagnetické, vlastnosti, šíření, buzení). 9. Interakce elektromagnetického záření s hmotou (na klasické i kvantové úrovni). 10. Zákony specifické pro mikrosvět (kvantový popis, základní představy jaderné a částicové fyziky, aplikace). 11. Základní principy a aplikace termodynamického a statistického popisu.

12. Makroskopické vlastnosti látek a jejich mikroskopický výklad. 13. Měření fyzikálních veličin (veličiny a jejich jednotky, metody měření, základní fyzikální konstanty a jejich měření). 14. Fyzikální podstata jevů z běžného života a technické praxe (schopnost teorií vysvětlit pozorované jevy, aplikace výsledků fyziky). 15. Meze platnosti fyzikálních teorií (vztah klasické, kvantové a relativistické fyziky, další příklady typu elektrostatika — elektrodynamika).

Předpokládá se obecný přehled fyziky v duchu Feynmanova kursu. K tomu patří vysvětlení souvislosti základních fyzikálních zákonitostí a jejich důsledků s experimentálními výsledky a aplikacemi. Důraz je kladen i na schopnost vyložit dané téma také elementárnějšími prostředky.

### *II. Partie fyziky související s tématem dizertační práce*

Vzhledem k šíři tematiky prací spadajících do daného oboru stanoví Rada doktorského studijního oboru požadavky pro každého uchazeče individuálně. V této části zkoušky musí uchazeč prokázat hlubší fyzikální vhled do zvolené části fyziky související s tématem jeho dizertační práce.

### *III. Specializace*

Ve specializaci si uchazeč vybírá v návaznosti na téma disertační práce jedno ze zaměření oboru: a) didaktika fyziky, b) filozofie a metodologie fyziky, c) historie fyziky. Uchazeč musí prokázat celkový přehled v dané oblasti, umět vysvětlit její východiska, základní pojmy a jejich souvislosti (včetně vazby na jednotlivé obory fyziky), metodologii příslušných výzkumů a nejdůležitější výsledky. V návaznosti na konkrétnější zaměření dizertační práce může oborová rada požadavky z oblasti specializace upravit pro každého uchazeče individuálně.

Uchazeč musí prokázat celkový přehled v dané oblasti, umět vysvětlit její východiska, základní pojmy a jejich souvislosti (včetně vazby na jednotlivé obory fyziky), metody práce, nejdůležitější výsledky. V případě didaktiky fyziky i jejich aplikace ve vzdělávání, např. stanovování cílů výuky, volba metod výuky, metody řešení úloh, didaktické funkce experimentu a hodnocení výsledků výuky.

Rozsah je dán níže uvedenou literaturou. V návaznosti na konkrétnější zaměření dizertační práce může oborová rada požadavky z oblasti specializace upravit pro každého uchazeče individuálně.

## Doporučená literatura

Anděl, J.: **Statistické metody**. Matfyzpress, Praha, 2003.

Bell, J.: **Doing your research project: a guide for first-time researchers in education, health and social science**. Maidenhead: Open University Press, 2005.

Bennett, J.: **Teaching and learning science: a guide to recent research and its applications**. Continuum, London, 2003.

Bertrand, Y.: **Soudobé teorie vzdělávání**. Český překlad Portál, Praha, 1998.

Brdička, M., Hladík, A.: **Teoretická mechanika**. Academia, Praha, 1987.

Denzin, N. K., Lincoln, Y. S. (Eds.): **The SAGE handbook of qualitative research**. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc., 2005.

Dvořák, L., Kekule, M., Žák, V.: **Didaktika fyziky včera, dnes a zítra**. In I. Stuchlíková T. Janík (Eds.), *Oborové didaktiky: vývoj – stav – perspektivy* (pp. 123–157). Brno: Masarykova univerzita, 2015.

- Fenclová, J.: **Úvod do teorie a metodologie didaktiky fyziky.** SPN, Praha, 1982.
- Feynman, R. P. a kol.: **Feynmanovy přednášky z fyziky 1–3. Český překlad Fragment, Havlíčkův Brod, 2000–2002.**
- Fraser, J. B., McRobbie, C. J., Sands, M.: **Second international handbook of science education.** ,Dordrecht: Springer, 2012.
- Gavora, P.: **Úvod do pedagogického výzkumu.** Paido, Brno, 2000.
- Gilbert J.: **Science education: major themes in education.** Routledge, Vol. 1-4. 2006.
- Hendl, J.: **Přehled statistických metod zpracování dat.** Praha: Portál, 1999.
- Hendl, J.: **Kvalitativní pedagogický výzkum.** . In J. Průcha (Ed.), *Pedagogická encyklopedie (819–823).* Praha: Portál, 2009.
- Chráška, M.: **Didaktické testy.** Paido, Brno, 1999.
- Chráška, M.: **Metody pedagogického výzkumu. Základy kvantitativního výzkumu.** Grada, Praha, 2007.
- Chráška, M.: **Kvantitativní pedagogický výzkum.** In J. Průcha (Ed.), *Pedagogická encyklopedie (819–823).* Praha: Portál, 2009.
- Chvál, M., Straková, J., Procházková, I.: **Hodnocení výsledků vzdělávání didaktickými testy.** Česká školní inspekce. Praha, 2015.
- Janík, T. a kol.: **Kvalita (ve) vzdělávání: obsahově zaměřený přístup ke zkoumání a zlepšování výuky.** Brno, Masarykova univerzita, 2013.
- Kašpar, E. (Ed.): **Didaktika fyziky - obecné otázky.** Praha, SPN 1978.
- Korthagen, F. A. J., Kessels, J., Koster, B., Lagerwerf, B., Wubbels, T.: ). **Linking practice and theory: The pedagogy of realistic teacher education.** Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2001.
- Kuhn, T. S.: **Struktura vědeckých revolucí.** OIKOYMENH, Praha, 1997.
- Kvasnica, J.: **Teorie elektromagnetického pole.** Academia, Praha, 1985.
- Mawwell, J. A.: **Qualitative research design: an interactive approach.** .Los Angeles: SAGE Publications, Inc., 2013.
- Musilová, J. (Ed.): **Fyzikální vzdělávání [Monotematické číslo].** Československý časopis pro fyziku, 62(5–6) 2012.
- Popper, K.: **Logika vědeckého zkoumání.** OIKOYMENH, Praha, 1998.
- Průcha, J. (Ed.): **Pedagogická encyklopedie.** Portál, Praha, 2011.
- Skála, L.: **Úvod do kvantové mechaniky.** Praha: Karolinum 1999.
- Stuchlíková, I., Janík, T. (Eds.): **Oborové didaktiky: vývoj – stav – perspektivy.** Brno: Masarykova univerzita, 2015.
- Švaříček, R., Šedová K. (Eds.): **Kvalitativní výzkum v pedagogických vědách.** Praha: Portál, 2007.
- Teddlie, C., Tahakkori, A.: **Foundations of mixed methods research.** .Los Angeles: SAGE Publications, Inc., 2009.
- Yin, R. K.: **Case study research: design and methods.** . .Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc., 2003.
- Zajac, R., Pišút, J., Šebesta, J.: **Historické pramene súčasnej fyziky 2.** Univerzita Komenského, Bratislava, 1997.
- Zajac, R., Šebesta, J.: **Historické pramene súčasnej fyziky 1.** Alfa, Bratislava, 1990.

Žák, V.: *Kvalita fyzikálního vzdělávání v rukou učitele. Karolinum, Praha, 2018.*

## Studijní program P4F13 Fyzika nanostruktur a nanomateriálů

### Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4f13>.

### Spolupracující ústavy

- Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.  
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8  
<http://www.fzu.cz/>
- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i.  
Chaberská 57, 182 51 Praha 8  
<http://www.ufe.cz/>
- Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v.v.i.  
Dolejškova 2155/3, 182 23 Praha 8  
<http://www.jh-inst.cas.cz/>

### Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4f13>.

### Poskytovaná výuka

Povinné předměty

Kód	Název	ZS	LS
NEVF534	<b>Fyzika nízkodimenzionálních struktur</b>	2/0 Zk	2/0 Zk
NFPL199	<b>Fyzikální metody studia nanostruktur</b>	—	2/0 Zk
NEVF535	<b>Nanomateriály I</b>	2/0 Zk	2/0 Zk
NEVF533	<b>Fyzikální metody technologie nanostruktur</b>	2/0 Zk	2/0 Zk
NFPL187	<b>Seminář — Nanomateriály: Fyzika, technologie, využití I</b>	0/2 Z	—
NFPL188	<b>Seminář — Nanomateriály: Fyzika, technologie, využití II</b>	—	0/2 Z

Další přednášky a semináře, volitelné dle zaměření dizertační práce z příbuzných oborů, např.:

Kód	Název	ZS	LS
NOOE070	<b>Optika nanomateriálů a nanostruktur</b>	—	2/0 Zk

NOOE121	<b>Metody laserové spektroskopie v polovodičové spintronice</b>	2/0 Zk	2/0 Zk
NBCM101	<b>Detekce a spektroskopie jednotlivých molekul</b>	2/0 Zk	—
NEVF515	<b>Metody fyziky povrchů a tenkých vrstev I</b>	—	2/0 Zk
NEVF516	<b>Metody fyziky povrchů a tenkých vrstev II</b>	2/0 Zk	—
MC240P58	<b>Nanomateriály II</b>	—	2/0 Zk
MC240P92	<b>Metody studia pevných látek a povrchů</b>	2/0 Zk	—
NOOE003	<b>Optoelektronické materiály a technologie</b>	2/0 Zk	—
NOOE009	<b>Optické vlastnosti pevných látek a optoelektronika</b>	—	2/0 Zk
NFPL013	<b>Rozptyl rtg záření na tenkých vrstvách</b>	2/0 Zk	—
NFPL173	<b>Elektronový transport v kvantových systémech</b>	—	3/0 Zk
NFPL085	<b>Elektronová teorie pevných látek</b>	—	2/0 Zk

## Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

### I. Širší základ

#### I.1. Strukturální vlastnosti a dynamika mřížky

Symetrie v pevných látkách, základy krystalografie 3D, 2D a 1D nanomateriálů, povrchová relaxace a rekonstrukce. Fonony, povrchové fononové stavy. Mechanické vlastnosti nanostruktur, plastická a elastická deformace

#### I.2. Elektronová struktura, optické a magnetické vlastnosti

Elektrony v periodickém prostředí, pásová struktura, chemická vazba. Důsledky redukováných dimenzí na elektronové stavy pevných látek (size effect, quantum confinement effect). Povrchové elektronové stavy, elektronové stavy v nízkodimenzionálních systémech. Teorie lineární odezvy, optické přechody. Transportní vlastnosti, rovnice kontinuity, transportní rovnice, mechanismy rozptylu, kvantový Hallův jev. Magnetické vlastnosti nízkodimenzionálních struktur.

### II. Fyzikální základy oboru

#### II.1. Základy technologie

Fyzikální a chemické metody růstu tenkých vrstev, nanočástic a dalších významných tříd nanomateriálů. Klasická teorie nukleace, teorie růstu tenkých vrstev, procesy samsopřádání. Metody přípravy nanostruktur použité v dizertační práci.

#### II.2. Metody analýzy nanostruktur

Difrakční metody (rtg a elektronová difrakce, neutronový rozptyl), elektronová mikroskopie, iontová mikroskopie, metody AFM, STM a jiné rastrovací metody. Metody povrchové elektronové a iontové spektroskopie (UPS, XPS, AR PES, AES aj.), optické metody studia nanostruktur (UV/VIS, FTIR spektroskopie, elipsometrie, Ramanův rozptyl, nelineární optická spektroskopie) transportní metody (elektrická vodivost, magnetorezistence a Hallův jev), elektrochemické metody a další speciální experimentální techniky dle zaměření doktorské práce.

### III. Vybrané partie z problematiky řešené v rámci dizertační práce

## Doporučená literatura

- Aoki, H., Dresselhaus, M.S.(eds): **Physics of graphene.** *Springer, 2014.*
- Bhushan, B. (ed.): **Springer Handbook of Nanotechnology.** *2nd ed. Springer, 2007.*
- Bimberg, D. et al.: **Quantum Dot Heterostructures.** *J. Wiley, 1999.*
- Delerue, C., Lannoo, M.: **Nanostructures, theory and modeling.** *Springer, 2004.*
- Edelstein, A. S., Cammarata, R.: **Nanomaterials, Synthesis, Properties and Application.** *Inst. of Physics Publishing, 1996.*
- Frank, L., Král, J.: **Metody analýzy povrchu, iontové, sondové a speciální techniky.** *Academia, Praha, 2002.*
- Gabrys, B. J. (ed.): **Applications of Neutron Scattering to Soft Condensed Matter.** *Gordon and Breach Science Publisher, 2000.*
- Grundmann, M.: **Nano-optoelectronics.** *Springer, 2002.*
- Guozhong, C.: **Nanostructures and Nanomaterials.** *Imp. Coll. Press, 2004.*
- Herman, M. A., Richter, W., Sitter, H.: **Epitaxy: Physical Principles and Technical Implementation.** *Springer, 2004.*
- Hirsch, P.: **Electron Microscopy of Thin Crystals.** *R. E. Krieger Publishing, 1977.*
- Hošek, J.: **Úvod do nanotechnologie.** *Skripta ČVUT, 2010.*
- Lowe, T. C., Valiev, R. Z. (eds.) **Investigations and Applications of Severe Plastic Deformation.** *NATO Science Series 80, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.*
- Lu, G. Q., Zhao, X. S.: **Nanoporous Materials Science and Engineering.** *Imperial College Press, 2004.*
- Michely, T., Krug, J.: **Atoms, Mounds and Atoms, Patterns and Processes in Crystal Growth Far from Equilibrium.** *Springer, 2004.*
- Mills, D. J., Bland, J. A. C. (eds): **Nanomagnetism.** *Elsevier, 2006.*
- Ozin, G. A., Arsenault, A. C.: **Nanochemistry.** *RSC Publ., 2005.*
- Pietsch, U. et al.: **High-resolution x-ray scattering from thin films and nanostructures.** *Springer, 2004.*
- Reich, S., Thomsen, C., Maultzsch, J.: **Carbon Nanotubes.** *J. Wiley, 2003.*
- Roe, R.-J.: **Methods of x-ray and Neutron Scattering in Polymer Science.** *Oxford University Press, Oxford, 2000.*
- Shchukin, V. A., Ledentsov, N. N., Bimberg, D.: **Epitaxy of Nanostructures.** *Springer, 2004.*
- Venables, J. A.: **Introduction to Surface and Thin Film Processes.** *Cambridge University Press, Cambridge, 2000.*
- Williams, D. B., Carter, C. B.: **Transmission Electron Microscopy, a Textbook for Material Science.** *Plenum Press, New York, 1996.*
- Wolf, E. L.: **Nanophysics and Nanotechnology, An Introduction to Modern Concepts in Nanoscience.** *Wiley-VCH, Berlin, 2006.*
- Vollath, D., **Nanomaterials.** *Wiley, 2010.*
- Xu, Y., David, D., Nitta, J. (eds): **Handbook of Spintronics** *Springer, 2015.*

Aktuální odborné publikace a přehledové články se vztahem k problematice řešené v rámci dizertační práce