

# Otázky ke státní závěrečné zkoušce

## Nanotechnologie

(magisterské studium)

Katedra experimentální fyziky

Univerzita Palackého v Olomouci

### 1. Nanotechnologie (KEF/SZZM1)

1. Stavba a struktura pevných látek, krystalové struktury, symetrie mřížky, elementární buňka. Kohezní energie, popis typických krystalů (inertních plynů, solí, polovodičů, kovů).
2. Studium prostorového uspořádání krystalu pomocí rozptylu rentgenového záření. Reciproká mřížka, Brillouinova zóna, Braggův zákon rozptylu, indexy krystalových rovin.
3. Popis dynamiky krystalové mřížky, podélné/příčné, akustické/optické fonony. Tepelné vlastnosti mřížky.
4. Kovy, model volných elektronů, Fermiho-Diracovo rozdělení, Fermiho energie, chemický potenciál, tepelné a elektrické vlastnosti kovů, Fermiho plochy.
5. Polovodiče, energetická pásová struktura, Blochův teorém, Schrödingerova rovnice v jednoelektronovém přiblížení, kvazičástice elektron a díra. Přímý/nepřímý zakázaný pás. Vlastní/příměsová vodivost.
6. Fyzikálně-chemické metody přípravy nanostrukturních materiálů, fyzikální syntetické parametry ovlivňující tvorbu nanostrukturních materiálů, možnosti kontrolování fyzikálních vlastností nanostrukturních materiálů intrinsickými a vnějšími faktory.
7. Kvantové jámy, dráty a tečky, velikostní jevy, vodivostní elektrony a dimenzionalita, Fermiho plyn a hustota stavů, potenciálové jámy a jejich aplikace pro popis vlastností kvantových nanostruktur, hustota stavů kvantových nanostruktur s ohledem na dimenzionalitu.
8. Jednoelektronové tunelování, Coulombova blokáda a schodiště, supravodivost a kvantové struktury.
9. Nanoelektronika (omezení současné elektroniky, problémy nanoelektroniky, vybrané koncepty – molekulární elektronika, rezonanční tunelování, kvantové celulární automaty, jednoelektronová zařízení, memristor)
10. Mikro- a nanosystémové technologie (definice, materiály, ukázky senzorů, SAW, MOEMS, RF MEMS, nosník jako MEMS, mikrofluidika, NEMS aktuátory a senzory, NEMS logické prvky)

## 2. Metody studia nanostruktur (KEF/SZZM2)

1. RTG prášková difrakce, elektronová a neutronová difrakce, nukleární magnetická rezonance, Mössbauerova spektroskopie.
2. Termická analýza, měření specifického povrchu, dynamický rozptyl světla.
3. Vibrační spektroskopie, Ramanův rozptyl
4. Fourierova transformace a její využití
5. Vzorkování a kvantování signálů, modulace signálů, základy teorie informace
6. Rezonátorová optika, módy rezonátoru, Fabryův-Perotův etalon, modová struktura laseru, výběr módu, transport laserových svazků, tvarování příčného profilu. Výpočet stability sférického rezonátoru.
7. Generace femtosekundových impulsů, femtosekundový zesilovač, cavity dumping, generace druhé a třetí harmonické, bílého kontinua, optický parametrický zesilovač, autofokusace, periodicky pólované materiály.
8. Generace fotonových páru typu I a II, aplikace. Detekce jednotlivých fotonů. Interference čtvrtého řádu. Chování fotonu na děliči svazku, jednofotonová interference.
9. Polarizace světla, generace, úprava a detekce polarizovaného světla, depolarizace.
10. Základy optické spektroskopie, disperzní a difrakční spektrometry, monochromátory.
11. Detektory světla, měření pomocí osciloskopu, spektrální analyzátor signálu, elektronika pro měření synchronních událostí.
12. Klasická interferometrie s volnými svazky, Machův-Zehnderův a Michelsonův interferometr. Interferometrie v bílém světle. Vizibilita, vztah spektra a autokorelační funkce.
13. Měření posunutí tuhého tělesa s využitím pole koherenční zrnitosti, měření složek tenzoru malé deformace.

### 3. Nanomateriály (KEF/SZZM3, volitelné)

1. Nanoklastry a nanočástice; dva obecné typy změn vlastností materiálů při přechodu do nanorozměrů; disperze; koordinační číslo; mikrodeformace; rekonstrukce povrchu; geometrická struktura a magická čísla nanoklastřů a nanočástic; elektronová struktura a magická čísla nanoklastřů a nanočástic.
2. Diskrétní vs. pásová elektronová struktura; efekty dimensionalit a symetrie v kvantových strukturách; přechod nekov-kov; elektronová struktura kovových nanomateriálů; elektronová struktura polovodičových nanomateriálů.
3. Termodynamika pro systémy s konečnou velikostí: limity makroskopické termodynamiky; konceptuální změny při přechodu do nanorozměrů; základy kapilarity a efekt lotosového květu.
4. Klasická nukleární teorie; kontrola tvaru nanokrystalů, základy samouspořádávání; fázové chování a dynamika nanoklastřů; 2D systémy a jejich fázové přechody.
5. Koloidy, hydrosoly vs. organosoly; mechanismus vzniku koloidů; stabilita koloidních systémů: základní principy, mezičásticové síly; ovlivnění stability a zánik koloidních nanomateriálů.
6. Dva základní typy příprav nanomateriálů a jejich mechanismy, příklady; fragmentace nanočástic; růst ze zárodků; základní principy ekologicky šetrných syntéz nanomateriálů.
7. Vybrané důležité vlastnosti nanomateriálů a jejich spojitost s charakterizačními technikami: vlastnosti kinetické; mechanické; rozptyl světla; vodivost iontů v pevných látkách konečných rozměrů; reaktivita, Kirkendallův efekt, galvanické nahrazování.
8. Katalýza kovovými nanočásticemi: typy katalýzy; monometalické katalyzátory: vliv velikosti, náboje a tvaru nanomateriálů, vliv typu adsorbátu, vliv deformace/napínání materiálu vs. nanomateriálu na katalýzu; bimetalické katalyzátory, segregace na povrchu; vliv externího napětí či interakce kov-podložka.
9. Nanomateriály podle aplikací (uvést pro každou dále jmenovanou aplikaci aspoň jeden příklad a diskutovat princip využití unikátních vlastností nanomateriálů): medicína, životní prostředí, elektronika, magnetismus, nanoinženýrství povrchů, katalýza, kosmetika, nanofotonika; kompozitní nanomateriály a multimodální sondy; Janusovy částice; supermřížky z nanoklastřů.
10. Nanomateriály podle prvkového složení – C: nanodiamanty, saze vs. grafit vs. grafen, nanotrubičky, nanotečky, fulereny, nanouhlovodíky, polycyklické aromatické uhlovodíky, polymerní vlákna – blokové kopolymery a pH či termosenzitivní polymery, fluorescenční rozpoznávače postavené na DNA, lipozomy.
11. Nanomateriály podle prvkového složení – Si a prvky hlavní skupiny periodické soustavy prvků: silanoly, silanizace, sol-gel chemie,  $\text{SiO}_2$ , samouspořádávání částic  $\text{SiO}_2$ , micely, templátová syntéza a její úskalí, periodické mesoporézní  $\text{SiO}_2$  (PMS), využití PMS, polydimethylsiloxany (PDMS) vs.  $\text{SiO}_2$ , samouspořádání využito pro PDMS, využití PDMS – soft litografie, in vivo aplikace.
12. Nanomateriály podle prvkového složení – vybrané přechodné kovy: Fe (nulamocné, oxidované) – různé typy, vlastnosti a aplikace; Ti – oxid titaničitý a jeho aplikace; popř. další nejčastěji využívané nanomateriály obsahující kombinaci prvků II B a VI A skupin periodické soustavy prvků (Zn / Cd dohromady s S/Se/Te apod.): charakteristické vlastnosti + jejich aplikace.
13. Nanomateriály podle prvkového složení – ušlechtilé kovy (Cu, Ag, Au): Mieho teorie a podmínka rezonance, povrchový plasmon; využití optických vlastností – MEF, SERS, SERRS, zobrazování, hypertermie, molekulární rozpoznávání.
14. Fáze v kovových soustavách (krystalizace, fázové diagramy, rovnovážné diagramy železo-uhlík, tepelné zpracování).
15. Plasty, skla, slinuté materiály, kompozity.
16. Mechanické vlastnosti materiálů. Zkoušky mechanických vlastností. Fraktografie. Metalografie.

## 4. Nanofotonika (KEF/SZZM4, volitelné)

1. Jednomódové vlnovody a jejich vlastnosti, disperzní rovnice, módová struktura, vazba mezi módy.
2. Optické vlastnosti tenkých vrstev, způsoby jejich přípravy, maticová metoda výpočtu parametrů soustav tenkých vrstev, příklady použití (antireflektování, periodické soustavy tenkých vrstev).
3. Maxwellovy rovnice v nelineárním prostředí, nelineární susceptibilita, nelineární jevy 2. a 3. řádu, anharmonický oscilátor jako model nelineárního prostředí. Generace druhé harmonické, sfázování nelineárního procesu, parametrické procesy.
4. Ramanův a Brillouinův rozptyl, čtyřvlnové směšování, Kerrův jev, optická bistabilita, nelineární absorpce. Nelineární optické časově rozlišené jevy, autoindukovaná transparence, solitony.
5. Spontánní sestupná frekvenční konverze jako příklad parametrického procesu. Generace fotonových párů, kvantová provázanost fotonových párů. Současné fotonické zdroje fotonových párů.
6. Kvantování elektromagnetického pole, pojem fotonu, kvantové fluktuace optických polí, stlačené stavy. Statistické vlastnosti světla o nízkých intenzitách.
7. Lasery a laserové diody, princip fungování a konstrukce, režimy činnosti. Generace pulzního laserového záření a diagnostika optických pulzů.
8. Detekce jednotlivých fotonů. Vnitřní a vnější fotoelektrický jev. Fotodiody PIN a lavinové diody, fotonásobiče.
9. Maticové detektory. Vědecké CCD kamery. Intenzifikované CCD kamery. EMCCD kamery.
10. Popis interakce světla s látkou, Maxwellovy rovnice a materiálové vztahy, optické konstanty, vlnová rovnice.
11. Popis absorpce látky pomocí komplexních materiálových veličin, Kramersovy-Kronigovy disperzní relace.
12. Anizotropie, zavedení tenzorových veličin, Fresnelova rovnice, indexový elipsoid, indexová plocha, jednoosé a dvouosé optické materiály.

## 5. Bionanotechnologie (KEF/SZZM5, volitelné)

1. Biologické nanostruktury (biomakromolekuly - nukleové kyseliny, proteiny, lipidy, polysacharidy, látky produkované imunitním systémem, produkty biomineralizace)
2. Environmentální a zdravotní rizika nanomateriálů, proces hodnocení rizik nanomateriálů, parametry nanomateriálů podílející se na jejich nebezpečnosti, základy epidemiologie nanomateriálů, hodnocení kvality životního a pracovního prostředí.
3. Nanoetika, legislativa vztahující se k nanomateriálům a životnímu prostředí, princip předběžné opatrnosti.
4. Nanotoxikologie: terminologie, toxikokinetika, biotransformace látek, expozice, toxikologicky významné parametry.
5. Nanotoxikologie: testy toxicity (in vitro, in vivo), příklady toxického působení (př. mutagenita, oxidativní stres aj.). Problematické aspekty testování toxicity nanomateriálů.
6. Biologické membrány, membránový transport, příjem a zpracování informace membránami.
7. Imunitní systém (imunogeny, protilátky, cytokiny), kinetika imunitní odpovědi.
8. Nanočástice a nanomateriály pro biomedicínské aplikace (složení, vlastnosti, povrchové modifikace).
9. Bioaplikace nanočástic in-vitro a in-vivo (biomagnetické separace, cílený transport léčiv, hypertermie, MRI).