

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 1: Fyzikální systém a jeho popis

Fyzikální systém

- Vymezení fyzikálního systému (klasický, kvantový, makroskopický, mikroskopický).
- Interakce s okolím a možnosti jejího započtení.
- Model fyzikálního systému a jeho adekvátnost.

Stav fyzikálního systému

- Obecné vymezení pojmu stav a jeho konkretizace v různých fyzikálních disciplínách a situacích.
- Klasická mechanika: částice a jejich soustavy, tuhé těleso, kontinuum.
- Elektrodynamika: elektromagnetické pole.
- Kvantová mechanika: jednotlivý mikroobjekt a soubor stejných mikroobjektů.
- Termodynamika a statistická fyzika: makrostav, veličiny stavové a nestavové, stavové rovnice; mikrostav, fázový prostor, funkce statistického rozdělení, statistické střední hodnoty, souvislost makroskopického a mikroskopického popisu.

Příklady popisu konkrétních fyzikálních systémů

- Částice v homogenním gravitačním poli: vrhy, matematické kyvadlo, pohyb po kružnici.
- Částice v centrálním poli.
- Systém dvou částic.
- Tuhé těleso: těžiště, střed hmotnosti, rotace.
- Vlnění: mechanické, elektromagnetické.
- Mikroobjekt ve stacionárním poli – obecném, homogenním, centrálním, kulombovském.
- Harmonický oscilátor – klasický, kvantový.
- Makroskopický systém: ideální plyn – makroskopický a mikroskopický popis.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 2: Děje probíhající ve fyzikálních systémech

Veličiny charakterizující fyzikální systém v závislosti na čase a prostorových souřadnicích

- Časově a prostorově závislé fyzikální veličiny skalární, vektorové, tenzorové.
- Příklady z různých oblastí fyziky (mechanika, elektrodynamika, kvantová mechanika, termodynamika).

Klasifikace dějů podle typu závislosti fyzikálních veličin na čase

- Obecné (nestacionární) děje, stacionární děje, kvazistacionární děje, matematická charakteristika.
- Příklady z různých oblastí fyziky – přehled.

Mechanika tekutin

- Statická rovnováha tekutin.
- Popis proudění tekutin pomocí trajektorií, popis pomocí proudnic.
- Definice ustáleného proudění, vztah popisu proudění pomocí trajektorií, resp. proudnic při ustáleném proudění.
- Obecná rovnice kontinuity v integrálním a diferenciálním tvaru, pohybové rovnice.
- Rovnice kontinuity v integrálním a diferenciálním tvaru v případě ustáleného proudění pro obecnou tekutinu a pro ideální kapalinu, Bernoulliho rovnice, ustálené proudění viskózní kapaliny a rychlostní profil.

Elektřina, magnetismus a elektrodynamika

- Maxwellovy rovnice, jejich stacionární verze a interpretace.
- Diskuse kvazistacionárního případu na příkladu Maxwellovy rovnice $\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}$ z hlediska materiálových vlastností prostředí (vztah frekvence časově proměnného elektromagnetického pole a permitivity a vodivosti prostředí).

Termodynamika a statistická fyzika

- Stav termodynamické soustavy, stavové veličiny, termodynamická rovnováha.
- Vratné a nevratné děje, veličiny závislé na probíhajících dějích.
- Vratné kruhové děje, účinnost.

Kvantová mechanika

- Časový vývoj kvantově-mechanické soustavy (schrödingerovská reprezentace).
- Stacionární případ časového vývoje.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 3: Časový vývoj fyzikálního systému

Příčinnost, pohybové zákony pro klasické a kvantové systémy

- Souvislost aktuálního stavu systému s jeho stavem počátečním.
- Vliv vnějšího působení a způsoby jeho započtení.
- Newtonovy pohybové zákony a jejich důsledky.
- Maxwellovy rovnice a jejich důsledky.
- Obecná Schrödingerova rovnice a její důsledky.
- Makroskopické systémy a jejich časový vývoj, šipka času.

Pohybové rovnice a jejich řešení

- Druhý Newtonův zákon, Lagrangeovy rovnice, Hamiltonovy rovnice.
- Maxwellovy rovnice (řešení pro vakuum).
- Obecná Schrödingerova rovnice (řešení pro stacionární pole).
- Formulace počátečních a okrajových podmínek pro tyto případy a jejich vliv na řešení těchto rovnic.

Příklady pohybových rovnic pro konkrétní fyzikální situace (jejich sestavení a řešení)

- Částice v homogenním poli.
- Částice v centrálním poli.
- Nabitá částice v elektrickém a magnetickém poli
- Systém dvou částic.
- Rotace tuhého tělesa.
- Vlnění: mechanické, elektromagnetické.
- Mikroobjekt ve stacionárním poli – obecném, homogenním, centrálním, kulombovském.
- Harmonický oscilátor – klasický, kvantový.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 4: Fyzikální pole

Veličiny popisující pole

- Fyzikální pole jako veličiny závislé na čase a prostorových souřadnicích, skalární pole, vektorová pole, tenzorová pole.
- Příklady skalárních, vektorových a tenzorových polí v mechanice a elektrodynamice.
- Stacionární a nestacionární pole – klasifikace podle závislosti, resp. nezávislosti na čase.

Matematický popis polí (rovnice a další vztahy pro popis polí)

- Skalární pole a plochy jejich konstantní hodnoty (např. ekvipotenciální plochy).
- Vektorová pole, jejich integrální křivky (proudnicе, siločáry, indukční čáry, ...) a parametrické rovnice těchto křivek, konzervativní silová pole a jim odpovídající potenciálová pole.
- Zdroje polí, tok vektorového (např. silového, rychlostního, ...) pole plochou, Gaussova-Ostrogradského věta, Stokesova věta.

Fyzikální pole, jejich pohybové rovnice a zákony zachování

- Mechanika tekutin: ideální plyn, ideální kapalina, veličiny popisující statickou rovnováhu tekutin, rozložení tlaku v rovnovážné kapalině, veličiny popisující proudění tekutin, ustálené proudění, rovnice kontinuity v integrálním a diferenciálním tvaru, Bernoulliova rovnice pro ideální kapalinu, laminární a turbulentní proudění (kvalitativně).
- Elektřina, magnetismus a elektrodynamika: veličiny popisující elektrické a magnetické pole, základní experimentální zákony elektřiny a magnetismu (Coulombův zákon, Faradayův zákon elektromagnetické indukce, Biotův-Savartův zákon), materiálové vztahy (Ohmův zákon), Maxwellovy rovnice a jejich stacionární verze, pohyb nabitých částic v elektrických a magnetických polích.
- Kvantová mechanika: časový vývoj stavu popsáního vlnovou funkcí, případ stacionárních polí.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 5: Axiomatická výstavba fyzikálních teorií

Fyzikální realita a její modely

- Význam experimentu při konstrukci fyzikální teorie, třídění experimentálních dat (systemizace a hierarchizace), vytváření hypotéz a jejich experimentální testování.
- Fyzikální axiom jako zobecněná experimentální zkušenost, Newtonovy zákony, základní termodynamické postuláty, kvantový charakter interakce mezi elektromagnetickým zářením a látkou, ... a další příklady.

Schéma axiomatické výstavby fyzikálních teorií

- Základní schéma: experiment (zjišťovací) → zobecnění a hypotéza → formulace principů (axiomů) → odvozená tvrzení (fyzikální zákony) → experiment (ověřovací)
- Úloha matematického aparátu

Příklady axiomatické výstavby fyzikálních teorií

- Klasická Newtonova mechanika
- Klasická Lagrangeova mechanika (variační princip)
- Speciální teorie relativity
- Elektřina, magnetismus a elektrodynamika
- Optika
- Termodynamika
- Kvantová fyzika

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 6: Úloha experimentu ve fyzice

Úloha experimentu při vytváření a ověřování fyzikálních teorií

- Experimentální data a jejich třídění (systemizace a hierarchizace), vytváření a modifikace pojmů, formulace hypotéz, zobecňování (rozšiřování platnosti) popisu, teoretická předpověď experimentálně ověřitelných důsledků; příklady.
- Experimentální test a jeho možné výsledky, doplnění, oprava, odmítnutí testované verze teoretického popisu; příklady.

Klíčové experimenty

- Heuristické – příklady.
- Verifikační – příklady.

Problematika měření – principiální východiska

- Klasická jednoznačnost; zdroje experimentálních chyb, chyby náhodné a systematické, střední hodnota a směrodatná odchylka (nejistota) přímo měřených veličin, nejistota nepřímo měřených veličin (zákon přenosu nejistoty), aproximace experimentálních závislostí, metoda nejmenších čtverců.
- Kvantová neurčitost; jednorázové měření, opakovaná měření, přesná měřitelnost fyzikální veličiny, současná přesná měřitelnost různých fyzikálních veličin, redukce výchozího kvantověmechanického stavu provedeným měřením.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 7A: Symetrie fyzikálních systémů a její důsledky

Symetrie jako transformace invariance a jejich důsledky

- Časoprostorové symetrie (homogenita času, homogenita a izotropnost prostoru).
- Newtonova mechanika (Galileiova transformace jako důsledek časoprostorových symetrií, Galileiův princip relativity a invariance pohybových rovnic). Speciální relativita (princip stálé rychlosti světla, Lorentzova transformace jako důsledek časoprostorových symetrií).
- Lagrangeova a Hamiltonova mechanika (Lagrangeova funkce volné částice jako důsledek časoprostorových symetrií, symetrie Lagrangeovy funkce a zákony zachování – cyklické souřadnice a zachování zobecněných hybností, nezávislost na čase a zachování energie, Hamiltonova funkce).

Příklady zákonů zachování

- Mechanika hmotných bodů a jejich soustav.
- Mechanika kontinua.
- Elektřina a magnetismus (zákony pro elektrické obvody).
- Elektrodynamika.
- Kvantová fyzika.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 7B: Symetrie fyzikálních systémů a její důsledky

Symetrie a stavba látek

- Uspořádání na blízko a na dálku, charakteristika amorfních a krystalických látek.
- Základní pojmy krystalografie, klasifikace krystalů podle symetrie. (Translační a bodová symetrie, primitivní a elementární buňka, přímá a reciproká mřížka, krystalografické soustavy a Bravaisovy mřížky, grupy symetrie).
- Základní metody strukturní analýzy (určení orientace a mřížkových parametrů krystalů).

Vlastnosti pevných látek a jejich souvislost se symetrií

- Popis elektronů v pevných látkách jako důsledek jejich symetrie (translační a bodová symetrie, Blochovy funkce, Blochovy teorémy), základy pásové teorie pevných látek, kovy, polovodiče, izolátory.
- Mechanické, tepelné, elektrické, magnetické, optické vlastnosti pevných látek a jejich praktické využití (elektrotechnika, elektronika).

Makroskopická symetrie fyzikálních systémů

- Symetrie fyzikálních veličin charakterizujících stav fyzikálního systému (např. tenzor deformace, tenzor napětí, tenzor elektromagnetického pole).
- Symetrie charakteristik fyzikálního systému zprostředkujících lineární vztahy mezi veličinami (např. moment setrvačnosti tělesa a jeho symetrie vyplývající z rozložení hmotnosti, permitivita resp. polarizovatelnost = dielektrická susceptibilita).
- Materiálové charakteristiky prostředí a jejich symetrie vyplývající z mikroskopické struktury (např. modul pružnosti, permitivita, index lomu – opticky izotropní, jednoosá a dvojosá prostředí, permeabilita, magnetická susceptibilita).

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 8A: (Klasické) systémy mnoha částic (makroskopické systémy)

Dvě alternativy popisu makroskopických systémů

- Makroskopický (termodynamický) a mikroskopický (statistický) popis: obecná charakteristika.
- Rozdíly, podobnost a vzájemná souvislost obou přístupů.

Základní pojmy a představy makroskopického popisu

- Makrostav, stavové a nestavové veličiny, stav termodynamické rovnováhy, stavové rovnice, procesy vratné a nevratné.
- Základní termodynamické postuláty a jejich důsledky, charakteristické funkce (termodynamické potenciály) a jejich užití k výpočtu rovnovážných hodnot termodynamických veličin, relaxace makroskopických systémů, podmínky termodynamické rovnováhy.

Základní pojmy a představy mikroskopického popisu

- Mikrostav, funkce statistického rozdělení, kanonická rozdělení, termodynamická rovnováha ze statistického hlediska – fluktuace.
- Maxwellovo-Boltzmannovo, Maxwellovo a Boltzmannovo rozdělení.
- Statistická interpretace termodynamiky: termodynamické veličiny (tlak, teplota, entropie), základní termodynamické postuláty, výpočet termodynamických potenciálů na základě mikroskopického modelu.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 8B: (Kvantové) systémy více částic

Princip nerozlišitelnosti mikročástic

- Princip nerozlišitelnosti stejných mikročástic a jeho důsledky: vlnové funkce popisující stavy systémů stejných mikročástic.
- Příklad bosonů, případ fermionů, výměnná interakce a její projevy.

Jednočásticová aproximace pro kvantové systémy stejných částic

- Popis víceelektronových atomů v rámci jednočásticové aproximace.
- Fyzikální výklad periodické tabulky prvků.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 9: Přibližné metody řešení fyzikálních úloh

Zdroje nepřesností ve fyzikálních teoriích

- Přesně a přibližně formulovaná fyzikální úloha z hlediska zvoleného modelu (přesný a přibližný model) a z hlediska teorie (přesná a přibližná teorie), příklady.
- Přesné a přibližné matematické řešení úlohy, příklady.

Přibližné úlohy v klasické fyzice

- Periodický pohyb částice při působení vratné síly, obecný vztah pro periodu, harmonická aproximace.
- Mechanika: matematické a fyzické kyvadlo (harmonická aproximace jako aproximace „malých“ výchylek a její chyba), harmonický a anharmonický lineární oscilátor, dvoučásticová izolovaná soustava (Keplerova úloha, redukovaná hmotnost, zákon zachování mechanické energie částice v gravitačním poli Země), speciální teorie relativity a její klasická limita.
- Elektřina a magnetismus: střídavé obvody RLC, lineární aproximace závislosti magnetizace na vnějším poli, lineární aproximace voltampérové charakteristiky elektrických prvků, ...
- Optika: aproximace geometrické optiky (zobrazení optickými prvky v aproximaci paraxiálních paprsků), aproximace vlnové optiky (difrakce – formulace a přibližná řešení).
- Optická odezva látky na vnější podnět, lineární aproximace (permitivita a vodivost, index lomu), odraz a lom na rozhraní.

Přibližné úlohy v kvantové fyzice

- Kvantový lineární harmonický oscilátor jako příklad harmonické aproximace v kvantové mechanice.
- Klasická a kvaziklasická aproximace v kvantové mechanice.
- Teorie poruch v kvantové mechanice: poruchy časově nezávislé pro nedegenerované stavy, variační metoda určení základního stavu.
- Systémy mnoha částic a jednočásticová aproximace.

Aproximace funkcí

- Přibližné vyjádření funkčních hodnot funkce jedné, resp. více reálných proměnných pomocí rozvoju (polynomy – Taylorova řada, trigonometrické polynomy – Fourierova řada).
- Odhad chyby aproximace vyjádření funkčních hodnot funkce jedné, resp. více proměnných.
- Lineární aproximace, příklady z různých oblastí fyziky.
- Kvadratická aproximace (rozvoj funkčních závislostí v okolí stacionárních bodů), příklady z různých oblastí fyziky.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 10: Periodické děje

Harmonické kmity

- Vratná síla lineárně závislá na výchylce (Hookeův zákon), pohybová rovnice jednorozměrného harmonického oscilátoru a její řešení, potenciální a kinetická energie harmonického oscilátoru, pohybová rovnice tlumených a vynucených harmonických kmitů, její řešení (výsledek a jeho diskuse), rezonance, rezonanční křivka.
- Příklady: těleso na pružině, LC obvod.

Anharmonické kmity

- Taylorův rozvoj potenciální energie anharmonického oscilátoru, vliv sudých a lichých mocnin v Taylorově rozvoji.
- Harmonická aproximace malých kmitů fyzikálních systémů, příklady: kyvadlo, kmity molekul, tepelné kapacity.

Periodické vlnové děje, šíření vln

- Vlnová rovnice a příklady jejího řešení: postupná vlna v jedné dimenzi, rovinná postupná vlna v prostoru.
- Interference vlnění, stojatá vlna.
- Huygensův princip, Huygensův – Fresnelův princip. Difrakce – příklady.

Vybrané příklady vlnových dějů

- Mechanické vlnění (stojatá vlna v lineárním řetězci hmotných bodů, stojatá vlna na struně, zvuk, vlny na vodní hladině).
- Elektromagnetické vlnění, vlnová rovnice, Poyntingův vektor.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 11A: Stavba hmoty – elementární částice a atomová jádra

Čtyři základní interakce

- Gravitační, elektromagnetická, slabá a silná interakce: charakteristika, jejich projevy v makrosvětě a mikrosvětě.
- Elementární částice a vývoj jejich klasifikace, částice látkové a polní (zprostředkující), standardní model mikrosvěta.
- Snahy o sjednocení interakcí.

Atomové jádro

- Objev atomového jádra a jaderný model atomu.
- Vývoj představ a struktury jádra a jeho zdůvodnění.
- Stabilita jádra, jaderné síly, vazebná energie.
- Radioaktivita: druhy, vlastnosti, fyzikální podstata, rozpadový zákon, význam jevu při studiu mikrosvěta.
- Jaderná syntéza a jaderné štěpení.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 11B: Stavba hmoty – atomy a molekuly

Atomy

- Elektronový obal: kvantověmechanický popis v rámci jednočásticové aproximace.
- (Jednočásticové) stavy elektronů: hodnoty energie a jejich degenerace, hustota pravděpodobnosti nalezení elektronů v okolí jádra, radiální a úhlová hustota této pravděpodobnosti.
- Možnosti grafického znázornění rozložení nábojové hustoty: úhlové, vrstevnicové a hraniční diagramy, pojem orbitalu.

Molekuly

- Vazba mezi atomy, molekulové orbitály jako lineární kombinace atomových orbitalů, vazebné a nevazebné orbitály.
- Homonukleární a heteronukleární molekuly, vazba kovalentní, iontová a smíšená.

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 11C: Stavba hmoty – látky

Skupenství

- Tři základní skupenství: makroskopické a mikroskopické charakteristiky.
- Chemické potenciály, fázová rovnováha, fázové přechody prvního druhu (Clapeyronova-Clausiova rovnice), fázové diagramy.

Pevné látky

- Vazebné síly: vazba iontová, kovalentní, kovová, Van der Waalsova, charakteristika, srovnání, příklady.
- Krystaly a jejich symetrie.
- Elektrické, magnetické a tepelné vlastnosti látek: kovy, polovodiče, dielektrika, magnetika, tepelná kapacita, tepelná vodivost; teoretický popis (z makroskopického i mikroskopického hlediska).

Státní závěrečná zkouška

Magisterský program Fyzika, obor Učitelství fyziky pro střední školy

Otázka č. 12: Historie fyziky

Historický vývoj základních fyzikálních idejí (stavba hmoty, povaha světla, tepla)

Stavba hmoty

- D. Bernoulli, J. Dalton, A. Avogadro, J. B. Perrin.
- J. J. Thomson – elektron (Stoney), pudingový model atomu.
- E. Rutherford – rozptylové experimenty → jaderný model atomu.
- J. Balmer – série atomu vodíku, T. Lyman, F. S. Brackett, A. H. Pfund: série atomu vodíku ležící mimo viditelnou oblast.
- N. Bohr – kvantové postuláty → Bohrov model atomu.
- A. Sommerfeld – jemná struktura spektrálních čar → zdokonalení Bohrova modelu – eliptické dráhy, relativistické efekty.
- L. de Broglie, E. Schrödinger – kvantověmechanický model atomu vodíku.

Povaha světla

- Korpuskulární teorie: R. Descartes – Snellův zákon, I. Newton – korpuskulární představa o světle.
- Vlnová teorie: Ch. Huygens – Huygensův geometrický princip, T. Young – princip interference, A. Fresnel – fyzikální princip interference, ohyb světla.
- Experimenty: E. Malus – dvojlom, D. Brewster – polarizace světla, O. Römer, D. F. Arago, A. H. Fizeau – určování rychlosti světla.

Povaha tepla

- R. Boyle, I. Newton – teplo jako vnitřní pohyb.
- D. Bernoulli, M. Lomonosov – teplo forma pohybu.
- B. T. Rumford, H. G. Davy, H. V. Regnault, S. Carnot, B. Clapeyron: kalorická teorie a její vyvrácení.
- H. Helmholtz, A. Krönig, J. D. van der Waals, R. E. Clausius, J. C. Maxwell: molekulárně kinetická teorie.
- R. E. Clausius, W. Thomson, L. Boltzmann, J. C. Maxwell: termodynamika, I. a II. věta termodynamická a jejich statistická (mikroskopická) interpretace.

Přínos fyziky k poznání stavby a vývoje vesmíru

Kinematika

- K. Ptolemaios, M. Koperník – geocentrický a heliocentrický model sluneční soustavy.
- J. Kepler – eliptické dráhy a zákony pohybu planet.

Dynamika

- I. Newton – zákon všeobecné gravitace, pohyb Měsíce.
- P. S. Laplace, L. Lagrange – fyzikální model sluneční soustavy, stabilita sluneční soustavy.
- A. Einstein – kosmologický model vesmíru, E. P. Hubble – zákon rozpínání vesmíru.