

## ***Státní závěrečná zkouška oboru „Fyzikální měření a modelování“***

Státní závěrečná zkouška oboru „Fyzikální měření a modelování“ se skládá ze tří předmětů

- I. Modely, simulace
- II. Matematika pro fyziky
- III. Teoretická fyzika

Část I má **písemnou** formou (klauzurní část) a ústní formu, části II a III pouze ústní formou. Klauzurní část předchází část ústní o jeden až pět dní, na vypracování má student 200 minut času, poté své výsledky předloží zkoušejícímu, který může ještě položit dodatečné otázky. Každá z ústních zkoušek trvá maximálně 45 minut a studentovi jsou zadány jedna otázka z části I a dvě otázky z částí II a III. Na přípravu má student dalších 45 minut pro každou zkoušku.

## I. Modely, simulace

### Písemná část - praktická

Zkouška z tohoto předmětu završuje kursy Programování pro pokročilé I, II, Modelování a simulace I, II; Počítač a tvorba modelů I, II; Laboratorní měření a modelování I, II. Student si předem zvolí, zda bude zkoušku skládat ze skupiny A, B nebo C.

#### A. Modelování a simulace elektronických obvodů; měření s podporou počítače

Studentovi bude zadán problém, který vyřeší buď v laboratoři pomocí počítače nebo pomocí softwaru MC10 firmy Spectrum Software na školním počítači. Odevzdá pak vytištěné výstupy přímo z příslušného softwaru doplněné svým vlastním závěrem.

1. Navrhněte odporovou síť se 6 rezistory a dvěma stejnosměrnými zdroji  $U_{e1} = 6\text{V}$ ,  $R_{i1} = 0,5 \Omega$ ,  $U_{e2} = 12 \text{V}$ ,  $R_{i2} = 0,2 \Omega$ . Stejnosemřnou analýzou určete svorková napětí zdrojů, proudy a úbytky napětí na šesti rezistorech.
2. Navrhněte dolnofrekvenční propust s T-článkem LCL, na výstup bude připojen rezistor s odporem  $R_Z = 2 \text{k}\Omega$ . Navrhněte kapacitu a indukčnost tak, aby výstupní napětí pokleslo na polovinu napětí vstupního při frekvenci 800 Hz. Použijte frekvenční analýzu.
3. Navrhněte hornofrekvenční propust s T-článkem CLC, na výstup bude připojen rezistor s odporem  $R_Z = 2 \text{k}\Omega$ . Navrhněte kapacitu a indukčnost tak, aby výstupní napětí dosáhlo poloviny napětí vstupního při frekvenci 1200 Hz. Použijte frekvenční analýzu.
4. Navrhněte nf zesilovač s jedním tranzistorem, stabilizovaný emitorovým odporem. Vstupní kondenzátor  $C_b = 20 \mu\text{F}$ , výstupní  $C_k = 25 \mu\text{F}$ , výstup zatížen odporem  $300 \Omega$ . Ostatní rezistory volte tak, aby při napájecím napětí  $U_B = 9 \text{V}$  byl klidový proud kolektoru  $I_{k0} = 10 \text{mA}$  a zesilovač pracoval ve třídě A. Vyberte vhodný tranzistor a zjistěte frekvenční charakteristiku v intervalu slyšitelných frekvencí.
5. Navrhněte astabilní obvod se dvěma tranzistory, generující obdélníkové kmity s frekvencí 800 Hz. Na výstupu druhého tranzistoru má být signál s frekvencí 800 Hz a výstupní napětí má být rovno napětí napájecímu 5 V po dobu  $t_1 = 0,1 \text{T}$ . Použijte stejnosměrnou a transientní analýzu.
6. Navrhněte harmonický oscilátor RC s Wienovým členem ve zpětné vazbě a s operačním zesilovačem nebo s RC řetězcem ve zpětné vazbě a s jedním tranzistorem. Výstupní signál ved'te přes kondenzátor  $C_v = 100 \text{nF}$  na zátěž  $R_Z = 2 \text{k}\Omega$ . Zvolte napájecí napětí  $U_B = 9\text{V}$ . Frekvence signálu má být 1 kHz. Použijte stejnosměrnou a transientní analýzu.

Poznámka: pro návrh zapojení lze použít skriptum „Hubeňák: *Elektronika pro učitele*, dostupné na serveru <http://kurzy.uhk.cz>

## B. Modelování na počítači

Studentovi bude zadán problém z oblasti fyziky, který bude následně modelován na počítači. Přípustný je školní počítač i osobní notebook studenta. Je možné modelovat v jakémkoliv prostředí dle volby studenta. Výsledek poté student předvede přímo na počítači examinatorovi, případně po diskusi upraví. Následně vytiskne zdrojový kód programu a vlastní slovní závěr.

1. Napište program pro výpočet brzdné dráhy automobilu. Konstanty jsou tíhové zrychlení, reakční doba řidiče a časová prodleva brzd. Z klávesnice budou zadávány hodnoty počáteční rychlosti a součinitel smykového tření. Výstup bude pouze numerický. Bude obsahovat dobu brždění a brzdnu dráhu.
2. Simulujte na počítači průběh napětí na výstupu transformátoru, připojeného na síť. Dále v grafu simulujte průběh napětí na výstupu jednocestného usměrňovače a dvojcestného usměrňovače. Na obrazovce mají být tři grafy nad sebou.
3. Simulujte na počítači vrh šikmý bez odporu prostředí a v homogenním tíhovém poli. Na obrazovce má být graf trajektorie, závislost  $v_x(t)$  a závislost  $v_y(t)$ .
4. Odměrný válec výšky  $h$  je naplněn vodou. Uprostřed výšky je odkryjeme otvor, z něhož voda vytéká. Simulujte na počítači závislost výtokové rychlosti na čase pro časový interval, během něhož poklesne hladina na  $\frac{3}{4}h$ .
5. Simulujte na počítači hod dvěma kostkami. Pro velký počet hodů zjistíte četnost součtů 2,3...až 12. Zjistěte, který součet má nejvyšší četnost pro velká  $N$  – počet hodů. Zdávejte  $N$  a na výstupu bude tabulka četnosti  $N(2)$ ,  $N(3)$  atd. a relativní četnosti  $N(2)/N$ ,  $N(3)/N$  atd.

## C. Reálné modelování elektronických obvodů

Studentovi bude zadán problém, který bude řešen prakticky pomocí stavebnice RC 2000. Odevzdá pak vytištěné výstupy přímo z příslušného softwaru doplněné svým vlastním závěrem a teoretickým rozbořem problému.

1. Navrhněte obvod pro měření VA charakteristiky diody, obvod pro měření jednocestného usměrňovače bez filtru ( $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$ ) a s filtrem  $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ . Změřte zvlnění. Dále navrhněte obvod pro dvoucestný usměrňovač bez filtru ( $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$ ) a s filtrem ( $R_Z = 10 \text{ k}\Omega$ ) a  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $2 \text{ }\mu\text{F}$  a  $10 \text{ }\mu\text{F}$ . Změřte zvlnění. Vstupní hodnoty obvodu AC  $U = 5 \text{ V}$ ,  $f = 100\text{Hz}$ .
2. Navrhněte a zobrazte časové a fázorové diagramy pro dolní a horní propust (stejně mezní frekvence  $f_G$ ). Vstupní hodnoty obvodu AC  $U = 5\text{V}$ ,  $f = 318,3 \text{ Hz}$ . Obvod je tvořen rezistorem  $R = 5 \text{ k}\Omega$  a kondenzátorem  $C = 100 \text{ nF}$ . Pro tyto obvody zobrazte amplitudové a fázově frekvenční charakteristiky.
3. Navrhněte a zobrazte amplitudové a fázově frekvenční charakteristiky pro RLC sériový obvod – pásmová propust pro různé hodnoty tlumících odporů  $R = 100, 200$  a  $500 \text{ }\Omega$ . Hodnota  $L = 1 \text{ H}$  a  $C = 3 \text{ }\mu\text{F}$ . Výsledky popište.

4. Navrhňte a zobrazte amplitudové a fázově frekvenční charakteristiky pro RLC sériový obvod – pásmová zadrž pro různé hodnoty tlumících odporů  $R = 100, 200$  a  $500 \Omega$ . Hodnota  $L = 1 \text{ H}$  a  $C = 3 \mu\text{F}$ . Výsledky popište.
5. Navrhňte a zobrazte rezonanční a frekvenční charakteristiku pro Wienův článek s rezistory  $R = 50 \text{ k}\Omega$  a kondenzátory  $C = 33 \text{ nF}$ . Vstupní hodnoty obvodu AC  $U = 5\text{V}$ ,  $f = 80 \text{ Hz}$ . Výsledky popište.

## Ústní část - teoretická

### 1. Algoritmizace, jednoduché příkazy

definice algoritmu, vlastnosti algoritmu, typy zápisu algoritmu, vývojový diagram, Jednoduché příkazy: přiřazovací příkazy, příkazy vstupu a výstupu, aritmetické a logické výrazy, operátory - zápis ve vývojovém diagramu a VBA, ošetření výjimek. Příklady použití.

### 2. Strukturované příkazy

Větvení, Podmíněný příkaz, zápis ve vývojovém diagramu a v programovacím jazyce VBA. Příklady použití.

Opakování, cyklus s konečným počtem opakování, cykly s podmínkou, rekurze - zápis ve vývojovém diagramu a v programovacím VBA. Příklady použití.

### 3. Programovací jazyky

Program, programovací jazyk, základní pojmy, typy programovacích jazyků, strukturované programovací jazyky, objektově orientované programovací jazyky; interprety, kompilátory.

### 4. Deklarace datových typů a proměnných

definice datového typu, definice proměnné, jejich druhy – číselné, textové, pole, Boolean. Vlastní funkce ve VBA for Excel, složené datové typy v Excelu.

### 5. Základy objektově orientovaného programování

Definice pojmů: objekt, třída, vlastnost objektu, metoda, událost

Základní objekty používané v objektovém programování ve VBA – Command Button, Text Box, Label, List box a jejich použití.

Události objektu, hlavní událost objektu. Události spojené s klávesnicí a myší.

Metody. Příklady použití.

6. **Pojem model**, model jako přiblížení reality, konceptuální model, systémový homomorfismus ve vztahu reálný systém, funkce vědeckého modelování – modelový systém, příklady systémového homomorfismu v informatice a přírodních vědách.

7. **Základní reprezentace modelů** používané ve vědeckém bádání, příklady z informatiky a přírodních věd. Proces tvorby modelu – vědecké modelování, validace konceptuálního modelu.

8. **Pojem počítačová simulace**, simulační model, systémový izomorfismus ve vztahu konceptuální model – simulační model, příklady systémového isomorfismu v informatice a přírodních vědách.

9. **Funkce počítačové simulace** ve vědeckém bádání; výhody, nevýhody a hrozby použití počítačových simulací ve vědeckém bádání, příklady z informatiky a přírodních věd.

10. **Proces tvorby simulačního modelu**, verifikace simulačního modelu.

## II. Matematika pro fyziky

Studentovi jsou zadány dvě otázky, jedna ze sekce A, jedna ze sekce B. Očekává se stručné vysvětlení pojmů a ilustrace na příkladech.

### A. Matematická analýza a lineární algebra

A1. Vektory, lineární prostory: lineární kombinace, lineární závislost, báze, dimenze, skalární součin, prostor se skalárním součinem, ortogonální vektory, norma, lineární operátory, vlastní čísla a vlastní vektory.

A2. Funkce více proměnných: spojitost, limita, parciální derivace, derivace ve směru, diferenciální operátory (gradient, divergence, rotace, Laplaceův operátor), totální diferenciál, Taylorova věta.

A3. Extrémy funkcí více proměnných: lokální extrémy funkcí více proměnných, vázané a globální extrémy.

A4. Obyčejné diferenciální rovnice: separace proměnných, snížení řádu diferenciální rovnice, lineární diferenciální rovnice 1. řádu, homogenní lineární diferenciální rovnice s konstantními koeficienty, soustavy lineárních rovnic.

A5. Integrální počet funkcí více proměnných: dvojný a trojný integrál, Fubiniova věta, substituce ve vícenásobném integrálu, křivkový a plošný integrál.

### Doporučená literatura:

KOPÁČEK, J.: Matematika pro fyziky, I. - IV. díl, skriptum (kterékoli vydání), Praha, Matematicko-fyzikální fakulta UK, 1979.

BLANK, J., EXNER, P., HAVLÍČEK, M. ; Vybrané kapitoly z matematické fyziky: Teorie lineárních operátorů na Hilbertově prostoru I, skriptum (kterékoli vydání), Praha, Matematicko-fyzikální fakulta UK, 1975.

## **B. Zpracování měření**

B1. Náhodný jev a pravděpodobnost. Teorie náhodných chyb, binomický a normální zákon četnosti, směrodatná odchylka, mezní chyba.

B2. Hodnocení přesnosti měřené veličiny. Nejpravděpodobnější hodnota měřené veličiny, metoda nejmenších čtverců, výběrová směrodatná odchylka, interval spolehlivosti.

B3. Hodnocení přesnosti vypočtené veličiny. Gaussův zákon hromadění chyb, směrodatná odchylka vypočtené veličiny ve zvláštních případech – uvést příklady.

B4. Grafická analýza dat měření. Zobrazování funkcí lineárním grafem. Aplikace grafu k řešení fyzikálních problémů – ilustrovat na vhodných příkladech.

B5. Regresní analýza. princip regresní analýzy. Lineární regrese. Typy nelineárních regresních funkcí. Hodnocení kvality modelu regrese.

### **Doporučená literatura:**

Horák, Z.: Praktická fyzika. SNTL, Praha 1958.

Rektorys, K. at al: Přehled užití matematiky II. Prometheus, Praha 1995

Vybíral, B.: Zpracování dat fyzikálních měření. Knihovnička FO č. 52, MAFY, Hradec Králové 2002.

### III. Teoretická fyzika

Předmět se v souladu se studijním programem člení na čtyři díly. Jsou to:

- A) Teoretická mechanika
- B) Teorie elektromagnetického pole
- C) Kvantová fyzika
- D) Fyzika pevné a kapalných fází

U státní zkoušky student dostává jednu otázku z části A nebo B a jednu otázku z části C nebo D. Při státní zkoušce není podstatné, zda student zná „vzorce“ z paměti. Rozhodující je znalost myšlenkové cesty k nim, a pak jejich fyzikální interpretace. Proto student bude mít u státní zkoušky k dispozici sbírku „vzorců“, ovšem bez informace o významu veličin a bez podrobnějšího zařazení do kontextu.

Při výkladu teorie postupuje student co nejjednodušší, zpravidla standardní ověřenou cestou (tj. např. obecný výklad při užití více proměnných redukuje na postup jen s jednou či dvěma proměnnými, lze-li tak učinit). Výklad zásadně doprovází obrázky!

#### A. Teoretická mechanika

A1. Pohyb hmotného bodu. Rychlost a zrychlení. Newtonův gravitační zákon, pohyby v tíhovém a gravitačním poli, práce síly a kinetická energie, působení proměnlivé síly, pohyb tělesa s proměnnou hmotností.

A2. Pohyb tuhého tělesa. Kinematické veličiny (translačního a rotačního pohybu), první a druhá impulsová věta, moment hybnosti, tenzor setrvačnosti, kinetická energie rotačního pohybu.

A3 Pohyb podrobený vazbám. Klasifikace vazeb, stupně volnosti, princip uvolnění, Lagrangeovy rovnice pro konzervativní soustavu, malé kmity soustavy.

A4 Napětí a deformace. Napětí (normálové, smykové), tenzor napětí, deformace, Hookeův zákon, míra bezpečnosti a povolené napětí, deformace tahem, tlakem, smykem a krutem.

A5 Hydrostatika a hydrodynamika. Hydrostatický tlak, Pascalův zákon, Archimédův zákon, plování těles. Rovnice kontinuity (odvození). Bernoulliho rovnice.

#### B. Teorie elektromagnetického pole a teorie relativity speciální

B1. 2. Gaussův zákon elektrostatiky a jeho aplikace. Práce v elektrostatickém poli, potenciál, souvislost intenzity s potenciálem. Vektor polarizace dielektrika, vektor elektrické indukce, zobecnění Gaussova zákona pro dielektrikum. Kapacita vodičů, energie elektrostatického pole.

B2. Proudová hustota, Ohmův zákon v diferenciální (resp. lokálním) tvaru a jeho aplikace, elektromotorické napětí. Rovnice kontinuity, zavedení a význam Maxwellova proudu.

B3. Biotův-Savartův-Laplaceův zákon, indukce a intenzita magnetického pole. Zákon celkového proudu. Silové působení v mg. poli. Magnetický indukční tok. Elektromagnetická indukce.

B4. Maxwellovy rovnice v integrálním a diferenciálním tvaru, okrajové podmínky. Přepis soustavy hlavních Maxwellových rovnic pomocí skalárního a vektorového potenciálu.



B5. Zákon zachování energie v elektromagnetickém poli a zavedení Poyntingova vektoru. Zákon zachování hybnosti v elektromagnetickém poli – naznačit jen, že jej obsahují Maxwellovy rovnice a diskutovat fyzikální význam.

B6. Šíření elektromagnetického pole. Odvození vlnových rovnic pro intenzity  $E$  a  $H$ . Řešení vlnových rovnic pro rovinnou monochromatickou elmg. vlnu. Odraz a lom elmg. vlny na rozhraní prostředí. Vlastnosti a charakteristiky elmg. vlny.

### **C. Kvantová fyzika**

C1. Formulace postulátů kvantové fyziky, relace neurčitosti a výklad jejich důsledků. Vlnová funkce, její vlastnosti a interpretace Bornova (rovnice continuity pro hustotu pravděpodobnosti, tok pravděpodobnosti). Kvantování základních fyzikálních veličin, jejich vyjádření operátory.

C2. Konstrukce Schrödingerovy rovnice, stacionární stavy a integrály pohybu. Naznačit postup při řešení úloh: volná částice, částice v potenciálové jámě, tunelový jev, lineární harmonický oscilátor.

C3. Elementární teorie reprezentací. Kvantování momentu hybnosti, atom vodíku.

C4. Spin, Pauliho rovnice, popis soustavy mnoha částic, princip totožnosti částic a jeho důsledky (symetrizace vlnových funkcí, Pauliho princip).

### **D. Fyzika pevné a kapalné fáze**

D1. Struktura pevných látek, difrakční metody. Vazby, poruchy. Mechanické vlastnosti pevných látek.

D2. Elektronová teorie kovů, pásová teorie pevných látek, polovodiče, magnetika.

D3. Optické vlastnosti, luminiscence. Laser. Supravodivost. Kapalné krystaly.