

# PRAKTICKÁ CVIČENÍ Z BIOFYZIKY

Monika Kuchařová

Pavel Bárta

Veronika Nováková

## Praktická cvičení z biofyziky

Monika Kuchařová, Pavel Bárta, Veronika Nováková

---

Recenzovali:

Dr. Ing. Libor Husník

Mgr. Miroslav Balvín

Vydala Univerzita Karlova

Nakladatelství Karolinum

Praha 2021

Sazba DTP Nakladatelství Karolinum

Vydání první elektronické, odpovídá čtvrtému tištěnému vydání

© Univerzita Karlova, 2021

© Monika Kuchařová, Pavel Bárta, Veronika Nováková, 2021

ISBN 978-80-246-4987-0

ISBN 978-80-246-5044-9 (online : pdf)



Univerzita Karlova

Nakladatelství Karolinum

[www.karolinum.cz](http://www.karolinum.cz)

[ebooks@karolinum.cz](mailto:ebooks@karolinum.cz)

# Obsah

|  |    |
|--|----|
| <b>1/ Úvod</b> .....                                     | 5  |
| 1.1 Zásady bezpečnosti práce v laboratoři .....          | 5  |
| 1.2 Zpráva o provedeném měření – protokol .....          | 6  |
| <b>2/ Měření hustoty</b> .....                           | 9  |
| 2.1 Teoretické základy .....                             | 9  |
| 2.1.1 Měření hustoty kapalin .....                       | 9  |
| 2.1.2 Měření hustoty pevných látek .....                 | 10 |
| 2.2 Úloha: Pyknometrické stanovení hustoty .....         | 11 |
| 2.2.1 Úkol 1 .....                                       | 11 |
| 2.2.2 Úkol 2 .....                                       | 13 |
| <b>3/ Měření viskozity</b> .....                         | 14 |
| 3.1 Teoretické základy .....                             | 14 |
| 3.2 Úloha: Měření viskozity kapalin .....                | 15 |
| 3.2.1 Úkol .....   | 15 |
| <b>4/ Měření tepla</b> .....                             | 17 |
| 4.1 Teoretické základy .....                             | 17 |
| 4.2 Úloha: Měření tepelné kapacity .....                 | 18 |
| 4.2.1 Úkol 1 .....                                       | 18 |
| 4.2.2 Úkol 2 .....                                       | 19 |
| <b>5/ Měření difuze</b> .....                            | 21 |
| 5.1 Teoretické základy .....                             | 21 |
| 5.2 Úloha: Měření kinetických parametrů difuze .....     | 22 |
| 5.2.1 Úkol .....   | 22 |
| <b>6/ Měření lomu světla – refraktometrie</b> .....      | 25 |
| 6.1 Teoretické základy .....                             | 25 |
| 6.2 Úloha: Refraktometrická měření .....                 | 27 |
| 6.2.1 Úkol 1 .....                                       | 27 |
| 6.2.2. Úkol 2 .....                                      | 29 |
| <b>7/ Měření optické otáčivosti – polarimetrie</b> ..... | 31 |
| 7.1 Teoretické základy .....                             | 31 |
| 7.2 Úloha: Polarimetrická měření .....                   | 32 |
| 7.2.1 Úkol .....   | 32 |
| <b>8/ Měření světelné absorpce</b> .....                 | 35 |
| 8.1 Teoretické základy .....                             | 35 |
| 8.2 Úloha: Spektrofotometrická měření .....              | 37 |

|   |           |
|---|-----------|
| 8.2.1 Úkol 1 .....  | 37        |
| 8.2.2 Úkol 2 .....  | 38        |
| <b>9/ Biomechanika krevního oběhu .....</b>                                       | <b>39</b> |
| 9.1 Teoretické základy .....  | 39        |
| 9.2 Úloha: Měření krevního tlaku a rychlosti toku krve v periferních cévách ..... | 41        |
| 9.2.1 Úkol 1 .....  | 41        |
| 9.2.2 Úkol 2 .....  | 42        |
| <b>10/ Biofyzika vidění .....</b>   | <b>44</b> |
| 10.1 Teoretické základy .....   | 44        |
| 10.2 Úloha: Měření akomodační šíře a zrakové ostrosti očí .....                   | 45        |
| 10.2.1 Úkol 1 .....   | 45        |
| 10.2.2 Úkol 2 .....   | 47        |
| <b>11/ Biofyzika slyšení – audiometrie .....</b>                                  | <b>49</b> |
| 11.1 Teoretické základy .....   | 49        |
| 11.2 Úloha: Měření citlivosti sluchu ve slyšitelném frekvenčním spektru .....     | 49        |
| 11.2.1 Úkol .....   | 49        |

# 1/ Úvod

Tato skripta jsou určena posluchačům Farmaceutické fakulty v Hradci Králové jako pomůcka k praktickým cvičením povinného předmětu Biofyzika, který je vyučován v 1. úseku studia. Jsou také jedním z podkladů ke zkoušce z předmětu Biofyzika. Obsahují úlohy určené k získání základních praktických dovedností při fyzikálních měřeních. Před každou úlohou jsou stručně shrnuty základní fyzikální výpočetní vztahy a teorie potřebná k výpočtům. Podrobnější informace o jednotlivých tématech budou předneseny na přednáškách v předmětu Biofyzika.

Úlohy jsou vybrány tak, aby znalosti zde získané mohli posluchači využít v dalších předmětech studia, zejména ve fyzikální chemii, farmaceutické technologii nebo v analytické chemii. Úlohy si kladou za cíl demonstraci základních principů fyzikálních měření, nikoli seznámení posluchačů s běžnou praxí.

Při sestavování skript byli autoři vedeni snahou přiblížit posluchačům fyzikální a biofyzikální měření tak, aby byla pro ně přínosem v dalším studiu. Důraz byl kladen na stručnost, jasnost, výstižnost a srozumitelnost předkládaného textu. Autoři se však nebrání připomínkám a námětům ze strany čtenářů a uvítají je jako podněty pro svou další práci.

Hradec Králové, 2021  
Autoři

## 1.1 Zásady bezpečnosti práce v laboratoři

Při práci v laboratoři je nutno dodržovat určité zásady, aby byl zajištěn plynulý průběh praktického cvičení a byla vyloučena možnost ohrožení zdraví všech zúčastněných osob. Předpisy jsou pro posluchače závazné a seznámení s nimi stvrzují svými podpisy před zahájením praktické výuky. Soustavné či hrubé porušování zásad bude sankcionováno podle platných pravidel Farmaceutické fakulty.

### **Seznam zásad pro práci v laboratorním cvičení:**

- a) Laboratorní práce se mohou provádět v místnostech k tomu určených. Není dovoleno vstupovat do místností, které nebyly určeny k práci nebo oddechu. Před opuštěním místnosti je třeba nepřítomnost a předpokládanou dobu jejího trvání nahlásit asistentovi. Cizím osobám není povolen vstup do laboratoře určené pro praktikum.
- b) Posluchači jsou povinni se při práci chránit vhodným pracovním oděvem, tj. laboratorním pláštěm. Vyžaduje-li to situace, použijí ochranné pomůcky (brýle, rukavice).
- c) Jakýkoli úraz je třeba okamžitě hlásit asistentovi, a to i v případě banálních úrazů, např. škrábnutí nebo říznutí.

- d) Při potřísnění chemikáliemi si posluchač okamžitě postižené místo omyje vodou a teprve potom hlásí událost asistentovi. Při zasažení oka je nutnost okamžitého vypláchnutí vodou ještě naléhavější, neboť v některých případech rozhodují o zachování zraku vteřiny.
- e) V laboratoři musí být udržována čistota a pořádek, únikové a manipulační cesty musí být trvale volné. Vstup do laboratoře je možný po přezutí a pouze s nezbytně nutnými zavazadly, tzn. batoh, taška. Bundy a kabáty posluchači nechávají v šatně fakulty.
- f) Vznik požáru a únik plynů je každý povinen neprodleně ohlásit asistentovi a řídit se jeho pokyny.
- g) V laboratoři je povoleno provádět pouze práce přikázané, nebo povolené asistentem, nebo práce související s daným úkolem.
- h) Laboratorní nádobí se nesmí používat k jídlu, pití a přechovávání potravin.
- i) Po skončení práce je každý povinen přesvědčit se, zda jsou uzavřeny přívody vody a plynu, zda jsou vypnuty elektrické spotřebiče a zda je pracoviště v bezpečném a požárně nezávadném stavu. Okna před odchodem z laboratoře musí být zavřena.
- j) Střepy musí být odkládány do zvláštní nádoby k tomu určené a označené.
- k) Kouření je zakázáno v celé budově Farmaceutické fakulty.
- l) Manipulace s elektrickými obvody síťového charakteru je zakázána.
- m) Před započítím úlohy, jejíž součástí jsou jakékoli elektrické obvody, je posluchač povinen sestavit obvod nejprve bez připojení ke zdroji napětí. Teprve po schválení asistentem smí připojit obvod do zdroje napájení.

## 1.2 Zpráva o provedeném měření – protokol

Pro vědu je charakteristické zveřejňování informací o experimentech. Informace o experimentu je možné podat různou formou, v různém rozsahu a na různém stupni podrobnosti. Ačkoli se např. článek v časopise, odborná monografie, učebnice, diplomová práce nebo referát z fyzikálního praktika z těchto hledisek liší, musí všechny obsahovat některé základní nezbytné údaje o teoretických předpokladech, praktickém provedení, způsobu vyhodnocení a výsledcích daného experimentu. Umožňuje se tak jejich kritika a prověření.

Úspěšné provedení úloh vyžaduje přípravu před měřením, která spočívá především v nastudování příslušné úlohy ve skriptech.

Po proměření každé úlohy vypracují posluchači protokol. Jeho účelem je ujasnění si smyslu úlohy, setřídění výsledků a formulace závěru. **Protokol vypracuje každý posluchač samostatně, a to i v případě, že měření probíhalo ve dvojici či trojici.**

### Protokol musí obsahovat

- a) **jméno, číslo studijní skupiny a pracovní podskupiny posluchače, datum měření**
- b) **plný název úlohy** – shodný s názvem ve skriptech
- c) **úkol** – uvedený ve skriptech
- d) **princip úlohy** včetně uvedení základních vztahů – při formulaci principu úlohy necitujeme doslova text skript, ale svými slovy se pokusíme stručně shrnout použité metody, uvedeme zákony a vztahy, na kterých je měření založeno apod.
- e) **výsledky** – prezentujeme je přehledně a kompletně formou tabulek a grafů (pokud je vyžadováno), uvádíme výpočty i pomocné výpočty včetně všech hodnot použitých při výpočtech, zaznamenáme rovněž podmínky, za kterých bylo měření provedeno. Při zpracování dbáme na správné dosazení naměřených výsledků do vztahů, kontrolujeme zejména jednotky měřených veličin.

### Grafické vyhodnocení úlohy

Výsledky měření fyzikální závislosti můžeme vyjádřit nejen početně, ale také graficky. Protože každé měření je zatíženo chybou, neleží body grafu získané měřením přesně na křivce vyjadřující matematickou

závislost, ale jsou kolem ní rozptýleny na obě strany. Rozptýlení je tím větší, čím větší je chyba měření. Kdybychom křivku vedli naměřenými body, byla by nepravidelná a neodpovídala by naměřené závislosti. Je nutné ji proto proložit tak, aby naměřené body byly kolem ní rozloženy co nejtěsněji z obou stran, a přitom aby byla hladká a plynulá. Druh závislosti většinou známe buď z teorie, nebo z početního zpracování výsledků měření. Křivku grafu prokládáme v tom případě tak, aby tomuto druhu závislosti odpovídala. Před proložením můžeme zjistit parametry křivky početně.

**Při vypracovávání grafů postupujeme následovně:**

- 1) Grafy rýsuje na milimetrový papír obyčejnou tužkou pomocí pravítka nebo křívítka, nebo je sestrojíme v programu MS Office Excel.
- 2) Na milimetrový papír narýsuje pravoúhlé osy, nebo sestrojíme z naměřených hodnot graf v programu MS Office Excel, kdy v obou případech popíšeme osy grafu symboly příslušných fyzikálních veličin a jejich jednotek, přičemž na svislou osu  $y$  vynášíme závislou veličinu a na vodorovnou osu  $x$  veličinu nezávisle proměnnou. Na obou osách na milimetrovém papíru vyznačíme stupnici pomocí bodů rozložených ve stejné vzdálenosti od sebe a přiřadíme jim odpovídající číselné hodnoty veličin, v případě grafu v Excelu to provede program sám anebo sami vhodně osy upravíme. Nulové hodnoty nemusí odpovídat počátkům os. Není nutné, aby měřítko byla na obou osách shodná, ale volíme je tak, abychom co nejlépe využili plochu grafu.
- 3) V případě grafu na milimetrovém papíru vyneseme jednotlivé body do grafu. Jejich hodnoty už nevyznačujeme na osách a do grafu nevyznačujeme ani žádné pomocné čáry. Naměřené hodnoty by měly být obsaženy v tabulkách uvedených v protokolu.
- 4) Podle typu závislosti (lineární, exponenciální atd.) proložíme body v grafu přímkou nebo plynulou křivkou (narýsovanou s použitím křívítka v případě grafu na milimetrovém papíru).
- 5) V záhlaví každého grafu uvedeme jeho název vystihující znázorněnou závislost.

**Chyby měření, statistické vyhodnocení úlohy**

Správnou hodnotu měřené veličiny nelze zjistit absolutně přesně, každé měření je zatíženo určitou chybou. Měřením se pouze přiblížíme ke správné hodnotě. Existuje možnost některé chyby omezit a odhadnout přesnost, s jakou bylo měření provedeno. Mějme nějakou fyzikální veličinu  $x$ , jejíž přesnou hodnotu se snažíme měřením zjistit. Provedeme-li  $n$  měření této veličiny, dostaneme soubor hodnot  $x_i$ , které se budou od přesné hodnoty více či méně lišit. Toto je způsobeno chybami měření, které vznikají díky omezené přesnosti měřících přístrojů, působením měřícího zařízení na měřenou veličinu a podobně. Pokud se nám podaří odstranit *hrubé chyby měření* (např. rozpojený el. obvod) a *chyby systematické* (např. špatná kalibrace přístroje), bude výsledek měření zatížen pouze *chybami náhodnými* (např. šum elektrických obvodů), které se sestávají z velkého počtu navzájem nezávislých náhodných procesů, mají rozložení blízké normálnímu (Gaussovu) rozložení a nejpravděpodobnější hodnotu výsledku měření můžeme vypočítat pomocí aritmetického průměru (střední hodnoty) podle vztahu:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{1}$$

kde  $n$  je počet opakování,  $x_i$  jsou naměřené hodnoty, tj. (tj.  $x_1, x_2, \dots, x_n$ )

Aritmetický průměr je statistická veličina, která je bodovým odhadem pro populační střední hodnotu. Samotná střední hodnota však postrádá hlubšího smyslu bez směrodatné odchylky. Bez směrodatné odchylky totiž nevíme nic o spolehlivosti odhadu střední hodnoty. Pro její charakterizaci se nejčastěji užívá tzv. výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru (směrodatná odchylka)  $s_{\bar{x}}$ . Její hodnotu vypočteme podle vztahu:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \tag{2}$$

kde  $n$  je počet opakování,  $x_i$  je konkrétní naměřená hodnota sledované veličiny a  $\bar{x}$  aritmetický průměr.

Směrodatná odchylka má stejnou jednotku, jako měřená veličina. Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. Zhruba řečeno vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti. Směrodatná odchylka je nejužívanější míra kolísání okolo průměru. Výsledek potom zapisujeme ve tvaru  $x = \bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ . Směrodatná odchylka charakterizuje „šířku“ Gaussova rozdělení a tím i velikost očekávané chyby. Z teorie normálního rozdělení vyplývá, že pravděpodobnost výskytu chyby našeho aritmetického průměru v intervalu  $(\bar{x} - s_{\bar{x}}, \bar{x} + s_{\bar{x}})$  je 0,683. Máme tedy 68,3% pravděpodobnost, že náš aritmetický průměr leží v oblasti  $\pm S_{\bar{x}}$  okolo skutečné hodnoty. Nebo obráceně: máme 68,3% pravděpodobnost, že skutečná hodnota leží v oblasti  $\pm s_{\bar{x}}$  okolo našeho průměru.

Protože odhad směrodatné odchylky není zdaleka přesný, lze ji zaokrouhlit na jednu, maximálně dvě platné číslice. Bývá také dobrým zvykem zaokrouhlit měřenou hodnotu na tolik desetinných míst, kolik jich má odhad směrodatné odchylky.

**f) závěr** – měl by obsahovat stručné zhodnocení úlohy, shrnutí výsledků a posouzení úspěšnosti vlastní práce s případným vysvětlením nesrovnalostí s teorií nebo tabulkami.

Cílem vypracování protokolu z praktika je mj. naučit se vypracovat zprávu o provedeném měření, která by mohla být publikována. Protokol proto musí splňovat všechny požadavky popsané v tomto odstavci, a kromě toho musí mít i dobrou grafickou úpravu. Měl by tvořit souvislý, dobře srozumitelný a stručný text, který přitom obsahuje všechny nezbytné údaje.