1 Úvod k řešení fyzikálních úloh

K čemu slouží sbírka fyzikálních úloh

Ve fyzice se seznamujete s mnoha zajímavými přírodními jevy, poznáváte důležité fyzikální zákony, učíte se chápat nejrůznější děje probíhající v přírodě a technické praxi.

K tomu, abyste si dobře osvojili učivo fyziky, nestačí naučit se zpaměti řadu definic, pouček a vztahů (vzorců). Ke zvládnutí fyzikálního učiva je nutné také všem definicím, poučkám a vztahům rozumět, umět je vysvětlit vlastními slovy a naučit se je používat při řešení praktických problémů jak ve škole, tak doma při přípravě na další hodiny výuky. Osvojení fyzikálního učiva tedy nespočívá *na pamětném učení*, jak je tomu v některých jiných vyučovacích předmětech, ale *na správném porozumění* studovanému učivu.

To však není tak snadné, jak by se na první pohled zdálo. Má-li být studium fyziky úspěšné, vyžaduje to nejen pozorně sledovat výklad učitele a doma se soustavně připravovat podle učebnice, ale také samostatně řešit fyzikální úlohy. A právě k tomu má přispět tato sbírka. Najdete v ní jak otázky a úlohy jednoduššího rázu, tak úlohy a problémy složitější, jejichž řešení vyžaduje kromě vlastní znalosti učiva navíc náročnější fyzikální úvahu a někdy i trochu nápaditosti a vynalézavosti.

Pro všechny otázky, úlohy a problémy obsažené v této sbírce používáme společný název **fyzikální úlohy.** Hledání a nalézání odpovědí na dané otázky a provádění všech s tím souvisejících činností nazýváme **řešení fyzikální úlohy.**

Než se však pustíte do vlastního řešení fyzikálních úloh, pročtěte si pozorně následující dva články. V prvním uvádíme základní typy fyzikálních úloh, ve druhém článku se pak seznámíte s osvědčenými postupy, které lze doporučit, chcete-li být při řešení úloh úspěšní.

Které typy fyzikálních úloh sbírka obsahuje

Tato sbírka obsahuje fyzikální úlohy několika základních typů, které se liší různou formou zadání, různým stupněm obtížnosti, popřípadě různými postupy řešení. Jsou to:

1. číselně zadané úlohy,
2. obecně zadané úlohy,
3. graficky zadané úlohy,
4. úlohy vyžadující grafické řešení,
5. problémové úlohy,
6. experimentální úlohy.

Všimněme si, co je pro uvedené typy úloh charakteristické.

1. V největším počtu jsou v této sbírce zastoupeny **číselně zadané úlohy.** Jsou to úlohy, v kterých jsou dány číselné hodnoty určitých fyzikálních veličin, pomocí nichž máme vypočítat hodnoty jiných veličin. Při tom používáme známé fyzikální vztahy, do nichž buď dané číselné hodnoty přímo dosazujeme, nebo je ještě před dosazením hodnot upravujeme. Výsledkem řešení je pak opět číselná hodnota fyzikální veličiny. Tyto úlohy jsou nejběžnějším typem fyzikálních úloh a najdeme je v každé učebnici fyziky. Číselně zadaná je např. následující úloha:

„Automobil, který jede rychlostí 54 km . h^{-1}, zvětší za dobu 10 s svoji rychlost na 90 km . h^{-1}. Jakou dráhu ujede, předpokládáme-li, že jeho pohyb je rovnoměrně zrychlený?"

Při řešení této úlohy určíme nejprve ze vztahu $v = v_0 + at$ velikost zrychlení $a = 1$ m . s^{-2}, potom ze vztahu $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ dráhu $s = 200$ m. Automobil ujede rovnoměrně zrychleným pohybem dráhu 200 m. Při výpočtu jsme nejprve vyjádřili rychlost v jednotce m . s^{-1}.

2. Náročnější na řešení jsou **obecně zadané úlohy**, v nichž jsou dané fyzikální veličiny dány nikoli číselnými hodnotami, ale pouze smluvenými značkami. Při jejich řešení používáme také známé fyzikální vztahy, jejichž úpravami docházíme k obecnému řešení. Obecným řešením úlohy je opět fyzikální vztah, který vyjadřuje hledanou fyzikální veličinu v symbolické formě pomocí značek veličin daných. Výsledkem řešení není tedy číselná hodnota fyzikální veličiny, ale fyzikální vztah. Táž úloha na stanovení dráhy automobilu může být obecně zadána např. takto:

„Automobil, který jede rychlostí v_0, zvětší za dobu t rychlost na hodnotu v. Jakou dráhu s ujede?"

Při řešení úlohy určíme ze vztahu $v = v_0 + at$ velikost zrychlení $a = (v - v_0)/t$, které dosadíme do vztahu pro dráhu $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$. Po úpravě dostaneme $s = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$, což je obecné řešení pro hledanou dráhu automobilu.

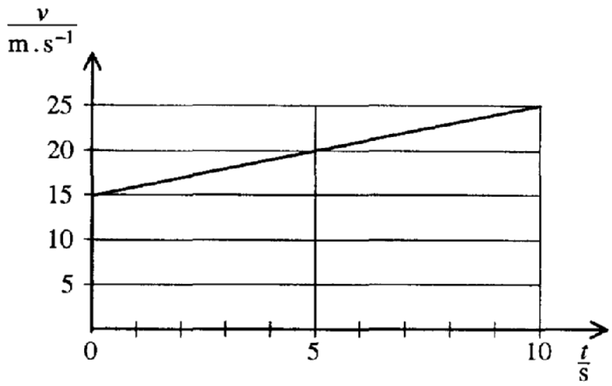
Je vhodné, naučíme-li se uvedeným postupem řešit také úlohy zadané číselně. V našem případě určíme tedy nejprve dráhu automobilu obecně, tzn. vyjádříme ji výsledným vztahem $s = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$, do něhož pak dosadíme dané číselné hodnoty a vypočítáme $s = 200$ m.

3. **Graficky zadané úlohy** předkládají údaje potřebné k řešení nikoliv číselnými hodnotami v textu, ale grafickými prostředky, tj. grafy, diagramy nebo schémata. Zvláště důležité jsou grafy závislosti jedné fyzikální veličiny na veličinách jiných, např. grafy závislosti dráhy na čase v kinematice, grafy

závislosti okamžité výchylky na čase v nauce o kmitání nebo grafy závislosti proudu na elektrickém napětí v elektřině.

Z grafů lze vyčíst nejen údaje potřebné k řešení, ale také některé zákonitosti, které určitý děj charakterizují.

Předchozí úloha o automobilu by mohla být např. zadána graficky podle obr. 1-1. Z grafu poznáváme, že pohyb automobilu je rovnoměrně zrychlený (grafem závislosti je část přímky), snadno určíme rychlost automobilu v libovolném čase do 10 s (např. v čase 5 s je rychlost 20 m . s^{-1}) i velikost zrychlení 1 m . s^{-2}. Pomocí obsahu plochy pod grafem lze pak vypočítat dráhu 200 m.



Obr. 1-1

4. U úloh zadaných graficky je graf vždy východiskem pro řešení úlohy. Je-li graf cílem řešení, pak jde o **úlohy vyžadující grafické řešení**. Na základě údajů obsažených v textu úlohy, nejčastěji v textu číselně zadané úlohy, sestrojujeme graf, schéma nebo jinou geometrickou konstrukci. Takto můžeme např. sestrojit graf závislosti rychlosti na čase, je-li dána počáteční a konečná rychlost vozidla (v předchozí úloze viz obr. 1-1), výslednici několika sil působících v jednom bodě tuhého tělesa, schéma elektrického obvodu s různě zapojenými rezistory apod.

Součástí řešení úlohy může být kromě grafu nebo schématu také stanovení číselné hodnoty některé fyzikální veličiny; např. z průsečíku dvou přímek vyjadřujících grafy závislosti dráhy dvou vozidel na čase můžeme určit místo a čas jejich setkání nebo míjení.

Grafy závislosti fyzikálních veličin zakreslujeme do pravoúhlé soustavy souřadnic, přičemž každou osu označujeme symbolem příslušné veličiny a značkou její jednotky a na obou osách sestrojíme vhodnou stupnici. Přesnější konstrukce provádíme na milimetrový papír. Má-li graf sloužit jen k lepší orientaci v dané úloze, lze ho načrtnout jen od ruky.

5. Pro správné porozumění fyzikálním poznatkům mají velký význam **problémové úlohy**. Tyto úlohy řešíme logickou úvahou, někdy graficky nebo experimentálně. Při tom často neprovádíme matematické operace, tj. nedosazujeme do vztahů číselné hodnoty, vztahy neupravujme, nepočítáme. Opíráme se především o slovní vyjádření fyzikálních zákonů a výsledkem úlohy je také jen slovní odpověď. Jednoduché odpovědi vyžadují např. úlohy:

„Kterým fyzikálním zákonem vysvětlíme vyklepávání koberců?"

„Proč jsou u železobetonových staveb dilatační mezery?"

Poměrně složitější odpověď se očekává např. při řešení úlohy:

„Na miskách rovnoramenných vah je vyvážena nádoba s vodou. Do vody ponoříme prst tak, abychom se při tom nádoby nedotkli. Poruší se rovnováha? Vysvětlete a ověřte pokusem."

Do skupiny problémových úloh patří rovněž úlohy požadující zdůvodnění nebo zhodnocení odpovědi. Často se např. setkáte s úlohou, v níž je uvedeno „Odpověď zdůvodněte". U některých úloh se požaduje nalezení chyby v daném tvrzení nebo schématu.

6. Uvedená ukázka problémové úlohy o rovnováze na vahách je současně příkladem **experimentální úlohy.** Ve sbírce jsou zařazeny jen takové experimentální úlohy, které si můžete provést s jednoduchými pomůckami i sami. Samostatné provádění pokusů podpoří vaši vynalézavost, vzbudí váš zájem o fyziku a usnadní vám lépe porozumět probíranému učivu.

Jak budeme řešit fyzikální úlohy

Řešení fyzikálních úloh nemusí být pro každého studenta snadné. Úspěšnost při řešení úloh závisí totiž na třech základních předpokladech: 1. na znalosti učiva v rozsahu jednotlivých článků učebnice, 2. na zvládnutí potřebných matematických dovedností (úprava algebraických výrazů, dosazování číselných hodnot a jednotek fyzikálních veličin do vztahů, operace s číselnými výrazy, používání kapesních kalkulaček, čtení a sestrojování grafů), 3. na osvojení určité strategie řešení úloh s použitím vhodných pracovních postupů. Zaměříme se na třetí předpoklad – na strategii řešení úloh.

Strategie řešení fyzikálních úloh zahrnuje u většiny úloh (zejména úloh zadaných číselně, kterých je ve sbírce většina) celkem osm základních činností, osm základních kroků:

1. porozumění obsahu úlohy,
2. zápis úlohy,
3. fyzikální rozbor situace,
4. obecné řešení úlohy,
5. určení jednotky výsledku,
6. řešení pro dané hodnoty,
7. diskuse řešení,
8. formulace odpovědi.

Jestliže si při řešení fyzikálních úloh osvojíte tuto strategii, velmi si usnadníte práci a snadno pak překonáte obtíže, s nimiž se při řešení úloh setkáte. Proto rozebereme jednotlivé kroky naší strategie podrobněji.

1. **Porozumění obsahu úlohy**. Nejprve se na základě textu nebo obrazu seznámíme s obsahem úlohy. Text úloh čteme pozorně, abychom správně pochopili, co je dáno a co se od nás žádá. Svou pozornost zaměřujeme především na části textu nebo obrazu, které jsou pro řešení úlohy podstatné. Např. v naší již dříve uvedené úloze:

„Automobil, který jede rychlostí 54 km . h^{-1}, zvětší za dobu 10 s svoji rychlost na 90 km . h^{-1}. Jakou dráhu ujede, předpokládáme-li, že jeho pohyb je rovnoměrně zrychlený?“

se zaměříme na veličiny *rychlost, doba, dráha* a na pojem *pohyb rovnoměrně zrychlený*, s nímž souvisí veličina *zrychlení*.

2. **Zápis úlohy.** Fyzikální veličiny, s nimiž budeme v úloze pracovat, označíme smluvenými symboly, např. v naší úloze označíme veličiny rychlost, čas a dráha postupně písmeny v, t, s, která v případě vícenásobného použití rozlišujeme indexy. Pak zapíšeme hodnoty zadaných veličin, které převedeme na jednotky soustavy SI, a hledanou veličinu označíme otazníkem. Uvedená úloha může být zapsána např. takto:

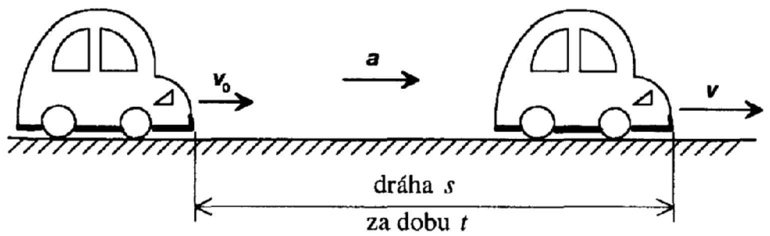
$v_0 = 54\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1} = 15\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$v = 90\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1} = 25\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$t = 10\ \text{s}$

$s = ?$

3. **Fyzikální rozbor situace.** Jde o nejdůležitější krok strategie řešení fyzikální úlohy, který obvykle zahrnuje několik dílčích kroků. Prvním dílčím krokem je náčrtek situace nebo schématu, do něhož zapíšeme symboly fyzikálních veličin, kterých se úloha týká, tedy veličin zadaných i hledaných. Dobrý náčrtek nebo schéma velmi usnadňuje orientaci v úloze a pomáhá pochopit podstatu řešené úlohy. Na základě náčrtku a zápisu úlohy (viz druhý krok řešení) bychom měli být schopni celé zadání úlohy (bez nahlížení do textu úlohy) volně reprodukovat. Proto se vyplatí použít náčrtek i v případě tak jednoduché situace, jakou již známe z naší ukázkové úlohy (viz obr. 1-2).



Obr. 1-2

Druhým dílčím krokem rozboru je popis situace pomocí pojmů příslušného učiva. Uvážíme, o jaký fyzikální děj jde, které zákonitosti pro něj platí a za kterých předpokladů lze tyto zákonitosti použít. Někdy jsou zjednodušující předpoklady uvedeny přímo v textu úlohy, jindy je formulujeme až při řešení úlohy. Např. v naší úloze je předpoklad o rovnoměrně zrychleném pohybu již zadán, z čehož vyplývá, že rychlost automobilu se během doby t plynule zvětšuje z počáteční rychlosti v_0 na konečnou rychlost v při konstantním zrychlení a.

Třetím dílčím krokem je zápis vztahů, kterými jsou dané a hledané veličiny navzájem vázány. Např. v naší úloze zapíšeme pro rychlost a dráhu rovnoměrně zrychleného pohybu pro nenulovou počáteční rychlost vztahy

$$v = v_0 + at, \quad s = v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2 .$$

Při řešení náročnějších úloh bývá fyzikální rozbor situace složitější. Často musíme dané veličiny doplnit veličinami dalšími, jejichž hodnoty vyhledáme ve fyzikálních tabulkách. Někdy je třeba přesněji vymezit zjednodušující podmínky, např. v úlohách z dynamiky zanedbat tření a odpor prostředí, v termodynamice zavést představu ideálního plynu, v elektřině zanedbat vnitřní odpor zdroje apod. Fyzikální rozbor situace je poměrně náročná myšlenková činnost, na které převážně závisí zdárné vyřešení celé úlohy.

4. **Obecné řešení úlohy.** Ze vztahů, ke kterým jsme dospěli při rozboru situace, vyjádříme hledanou veličinu pomocí veličin daných (postup je uveden v odstavci „Obecně zadané úlohy"). Dostaneme rovnici, na jejíž levé straně je symbol označující hledanou veličinu a na pravé straně symboly označující dané veličiny. Výslednou rovnici nazýváme obecné řešení. V případě naší úlohy vyjadřuje obecné řešení rovnice

$$s = \tfrac{1}{2}(v_0 + v)t .$$

Ve složitějších případech, kdy při řešení úlohy vycházíme z více než dvou vztahů, bývá někdy vyjádření hledané veličiny komplikovanější. Pak postupujeme tak, že místo důsledného obecného řešení postupně provádíme dílčí číselné výpočty. Např. v naší úloze můžeme napřed z rovnice $a = (v - v_0)/t$ určit číselnou hodnotu zrychlení $1\ \mathrm{m\,.\,s^{-2}}$, kterou pak dosadíme přímo do rovnice pro dráhu $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$.

5. **Určení jednotky výsledku.** Dříve než přistoupíme k řešení pro dané hodnoty (viz další krok), je vhodné předem stanovit jednotku hledané veličiny. Do obecného řešení dosadíme za symboly daných veličin jejich jednotky, s nimiž pak pracujeme jako s algebraickými výrazy (násobíme je nebo dělíme). Tím obdržíme jednotku hledané veličiny. Např. dosadíme-li do rovnice $s = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$ za rychlost v jednotku $\mathrm{m\,.\,s^{-1}}$ a za dobu t jednotku s, dostaneme $\mathrm{m\,.\,s^{-1}\,.\,s = m}$, tj. jednotku pro dráhu.

Tomuto postupu se také říká „zkouška jednotkou". Nejde však o zkoušku v pravém slova smyslu. Určení správné jednotky hledané veličiny ještě totiž nezaručuje správnost obecného řešení. Pokud však při této „zkoušce" vychází nesprávná jednotka, je v obecném řešení chyba a je zbytečné pokračovat v řešení pro dané hodnoty.

6. **Řešení pro dané hodnoty** záleží v dosazení číselných hodnot daných veličin do obecného výsledku a v následném vypočítání hodnoty hledané veličiny. V naší úloze dostáváme

$$s = \frac{1}{2}(15\,\mathrm{m}\,.\,\mathrm{s}^{-1} + 25\,\mathrm{m}\,.\,\mathrm{s}^{-1})\,.\,10\,\mathrm{s} = \frac{1}{2}\,.\,40\,\mathrm{m}\,.\,\mathrm{s}^{-1}\,.\,10\,\mathrm{s} = 200\,\mathrm{m}$$

nebo jednodušeji

$$s = \frac{1}{2}(15 + 25)\,.\,10\,\mathrm{m} = \frac{1}{2}\,.\,40\,.\,10\,\mathrm{m} = 200\,\mathrm{m}.$$

U druhého zápisu dosazujeme za dané veličiny jen čísla bez jednotek a za celý výraz napíšeme jednotku, kterou jsme určili v předchozím kroku našeho postupu. Vlastní výpočet provádíme buď zpaměti, nebo pomocí kapesní kalkulačky.

7. **Diskuse řešení** slouží k ověření hodnověrnosti výsledku. Především zkoumáme, zda číselná hodnota vypočítané veličiny odpovídá alespoň přibližně skutečnosti. Opíráme se jednak o vlastní zkušenost, jednak o údaje zjištěné ve fyzikálních tabulkách či v odborné literatuře. Kdybychom např. vypočetli, že automobil urazil za dobu 10 s dráhu 2 000 m, znamenalo by to, že by musel jet průměrnou rychlostí $200\,\mathrm{m}\,.\,\mathrm{s}^{-1} = 720\,\mathrm{km}\,.\,\mathrm{h}^{-1}$, což není reálné; proto také dráha 2 000 m je patrně vypočtena chybně.

Diskutovat však můžeme také obecné řešení úlohy s tím, že zkoumáme, jak hledaná veličina závisí na veličinách daných. Např. v obecném vztahu pro zrychlení $a = (v - v_0)/t$ zjišťujeme, že zrychlení a je při daném čase přímo úměrné rozdílu rychlostí $v - v_0$ (při větším rozdílu rychlostí je zrychlení větší), nebo že zrychlení a je při daném rozdílu rychlostí nepřímo úměrné času t (při delším čase je zrychlení menší). Tyto závěry jsou opět ve shodě se skutečností.

8. **Formulace odpovědi.** Na závěr řešení formulujeme odpověď na otázku, která je uvedena v zadání úlohy. U číselně zadaných úloh obsahuje odpověď vždy číselnou hodnotu hledané veličiny, u obecně zadaných úloh jen obecné řešení.

Nyní se můžete pokusit pomocí uvedené strategie řešit jednotlivé úlohy. Nejprve řešte úlohy jednodušší a ty úlohy, jejichž celé řešení je naznačeno ve sbírce. Text řešení těchto úloh je však uveden většinou ve zkrácené formě; chybí v něm např. úplný fyzikální rozbor situace s příslušným náčrtkem a závěrečná diskuse řešení. U všech ostatních úloh najdete výsledky na konci knihy.

Uvedenou strategii lze použít v celém rozsahu osmi kroků u úloh zadaných číselně, kterých je ve sbírce většina. U obecně zadaných úloh vynecháváme šestý krok strategie, u problémových úloh často čtvrtý, pátý a šestý krok, stejně tak u úloh experimentálních a úloh vyžadujících grafické řešení. U posledních dvou typů přibude však další krok, a to „provedení pokusu" nebo „konstrukce grafu".

***

Na závěr poslední, ne však bezvýznamná poznámka. Až nabudete při řešení úloh zkušenosti a získáte určité dovednosti, poznáte, že jednotlivé kroky strategie nelze od sebe přesně oddělovat. Úvahy předepsané pro jednotlivé kroky se zčásti navzájem prostupují a ovlivňují. Např. již při čtení textu a zápisu úlohy začínáme uvažovat o fyzikálním rozboru situace a naopak se k rozboru znova vracíme při diskusi řešení, stejně jako při formulování odpovědi znovu čteme zadání úlohy.