# 9 Astronomie a fyzika mikrosvěta

Nejstarší lidská měření, která se alespoň částečně blíží dnešním vědeckým standardům, se zabývala nebeskými tělesy. Lidé dokázali relativně přesně najít a popsat hvězdy a planety na obloze a změny jejich polohy. Sledování nebeských těles a vysvětlování jejich původu bývalo často doménou náboženství – jejich pohyby byly totiž příliš fascinující, než aby zůstaly opomenuty. Tento popis nebyl ani nahodilý či nepřesný, ale lidskou zvědavost utišil spíše líbivými příběhy, než objektivním poznáním.

Až díky pevně stanoveným vědeckým pravidlům a úsilí mezinárodní vědecké komunity se podařilo popis sluneční soustavy a jiných nebeských těles postavit na pevné základy. Dozvěděli jsme se díky tomu spoustu pozoruhodných věcí Planety okolo Slunce obíhají po eliptických drahách, které dokážeme přesně popsat pomocí Keplerových zákonů. Existuje omezení nejvyšší rychlosti, jakou můžeme ve vesmíru cestovat – rychlostí světla. Víme, že Slunce je koule žhavého vodíku a hélia a poznali jsme i všemožné jiné objekty jako kvazary, pulzary nebo černé díry.

Snad nejdůležitější ze všeho je však škála, na které se ve vesmíru pohybujeme. Člověk v každodenním životě přebývá v budovách s velikostí na škále cca $10^1$ m. Na své domovské planetě jsou mu pak ty nejvzdálenější destinace dostupné při $10^7$ m, Slunce je od Země vzdáleno $10^{11}$ m, druhá nejbližší hvězda pak $10^{16}$ m a naše galaxie má poloměr $10^{20}$ m. Tyto vzdálenosti jsou pro běžného člověka nepředstavitelné, ale díky matematice je můžeme uchopit a zacházet s nimi. V následujících úlohách se tak vždy zabýváme jevy ležícími mimo škálu lidského vnímání – měříme poloměr Země v úloze Eráta sténavá z Kyrény, aplikujeme Keplerovy zákony v úloze Kepler volá domů či přemýšlíme o mezihvězdném cestování v úloze Do nekonečna ještě dál.

Podíváme se však taktéž do jiných škál opačným směrem. Poloměr atomu, základního stavebního bloku hmoty, je cca $10^{-10}$ m a zabýváme-li se např. elektrony či subjadernými částicemi, je škála ještě nižší. Do tohoto atomového světa nahlédneme v prvních dvou úlohách, než naši pozornost vrátíme k obloze, stejně jako v následujícím experimentu.

## Planetární rotace

9

Legendární Hermes Trismegistos napsal ve své slavné Smaragdové desce „Jak nahoře, tak dole.“[1] I tímto principem se řídí fyzika, která předpokládá, že dění na nebeské sféře se nijak fundamentálně neliší od dění, které pozorujeme na Zemi. Můžeme tedy doma sestavovat modely, které nám objasní dění na jiných planetách, což je také smyslem tohoto krátkého demonstrativního experimentu.

[1] Zde jsme si dovolili trochu přimhouřit oko nad správným překladem z arabštiny, ve které jsou napsány některé nejstarší verze tohoto textu. Zájemce bychom rádi upozornili, že navzdory pověsti, kterou Smaragdová deska získala v populární kultuře, tento text nikdo nikdy nedržel jako do kamene tesanou písemnou památku. Vše je v opisech a název textu je získaný dodatečně.

Jsou k němu potřeba špejle, nůžky, izolepa/lepidlo a papír. Z papíru vystřihněte dvě kolečka o poloměru cca 2 cm a k tomu až 8 tenkých pásků (mohly by fungovat už i 4) dlouhých alespoň jako polovina špejle. Do koleček udělejte díru a navlékněte je obě na špejli tak, aby od sebe byly vzdáleny alespoň na půl délky špejle. Jedno z koleček upevněte na místě izolepou. Následně toto pevné kolečko spojte s volně posouvatelným kolečkem pomocí zmíněných pásků z co nejvíce stran. Vznikne tak model „kostry" planety, kde špejle funguje jako její osa otáčení. Když pak planetu pomocí špejle roztočíte, můžete pozorovat, jaký bude točení mít vliv na její tvar. Tento pohyb je analogický rotační deformaci skutečných planet.

# Zadání úloh

## Úloha 1 ... Odhal svoje vnitřnosti! (řešení na str. 147)

Odhadněte počet elektronů ve svém těle.

## Úloha 2 ... Temelín II (řešení na str. 148)

V jaderných elektrárnách se energie získává z jaderné reakce, kde se rozpadá uran a mění se na jiné těžké prvky. Při těchto reakcích vzniká energie ve formě tepla, která ohřívá vodu v tzv. *primárním okruhu*. Tato voda je pod vysokým tlakem, takže její teplota je vyšší než 100 °C. Primární okruh pak ohřívá vodu *sekundárního okruhu*, která se vaří. Vzniklá pára roztáčí turbíny, které pak produkují elektrickou energii. Jednoduché, ne?

1. V typickém reaktoru je asi 1,5 t radioaktivního uranu. Spočítejte, kolik je to atomů. Prozradíme vám, že jádro radioaktivního uranu se skládá z 235 nukleonů (protonů a neutronů), hmotnost elektronů zanedbejte. Hmotnost protonu uvažujte jako
$$m_\mathrm{p} \doteq 1{,}67 \cdot 10^{-27}\,\mathrm{kg}\,.$$

2. Rozpadem jednoho atomu uranu vzniká energie pouze $3{,}2 \cdot 10^{-11}$ J. Energie, která se za sekundu uvolní v celém reaktoru, je ale až 3 GJ. Spočítejte, jaká hmotnost uranu se tedy v reaktoru za sekundu rozpadá.

3. Voda primárního okruhu protéká reaktorem a ohřívá se. Na vstupu do reaktoru má teplotu 200 °C. Spočítejte, jakou teplotu má na výstupu z reaktoru, pokud je její průtok[2] reaktorem $24\,\mathrm{m^3{\cdot}s^{-1}}$. Předpokládejte, že všechno teplo uvolněné v reaktoru se spotřebuje na ohřátí vody. Měrnou tepelnou kapacitu vody uvažujte jako $c = 4{,}2\,\mathrm{kJ{\cdot}kg^{-1}{\cdot}{}^\circ C^{-1}}$.

4. Palivo v reaktoru se považuje za vyhořelé již tehdy, když se rozpadne 25 % z jeho původní hmotnosti. Spočítejte, za kolik dní nepřetržitého běhu reaktoru jedna sada paliva vyhoří.

9

[2] To znamená, že za sekundu do reaktoru vteče 24 m³ „studené" vody a vyteče rovněž 24 m³ ohřáté vody.

## Úloha 3 ... Nafouknutá planeta

(řešení na str. 150)

Již na začátku 18. století objevil Isaac Newton slavný gravitační zákon popisující gravitační sílu mezi dvěma tělesy

$$F_\mathrm{g} = G\frac{mM}{r^2}\,. \tag{9.1}$$

V této rovnici $m$ a $M$ vyjádřují hmotnosti dvou těles a $r$ vzdálenost jejich těžišť. $G$ je gravitační konstanta,[3] která má v soustavě SI velikost

$$\{G\} = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\,.$$

1. Z rovnice (9.1) určete jednotku gravitační konstanty v soustavě SI.
2. Je-li poloměr Země $r = 6\,378\,\mathrm{km}$ a její hmotnost $M = 5{,}97 \cdot 10^{24}\,\mathrm{kg}$, vypočítejte gravitační zrychlení $g$ na povrchu Země.

   *Pomůcka:* Porovnejte rovnici (9.1) se vzorečkem pro tíhovou sílu, který znáte z hodin fyziky.
3. Představme si, že by se poloměr Země zdvojnásobil, ovšem její hmotnost by se nezměnila. Jaké by bylo gravitační zrychlení $g'$ na takovéto Zemi?
4. Víme, že Měsíc obíhá kolem Země přibližně po kruhové dráze s poloměrem $R$. Ve vztažné soustavě spojené s Měsícem se gravitační síla Země na Měsíc vyrovnává s odstředivou silou o velikosti

   $$F_\mathrm{o} = \frac{M_\mathrm{m} v^2}{R}\,,$$

   kde $v$ je rychlost pohybu Měsíce kolem Země a $M_\mathrm{m}$ hmotnost Měsíce. O kolik by se změnila vzdálenost $R$, pokud se Země zvětší stejně jako v předešlém bodě?

## Úloha 4 ... Jablko nepadlo daleko od stromu

(řešení na str. 151)

Ačkoliv se historka o jablku spadnuvším na Newtonovu hlavu pravděpodobně odehrála jinak nebo se neodehrála vůbec, poskytuje nám tak i tak dobré fyzikální cvičení. Představme si, že Newton sedí pod stromem a spadlo na něj jablko. Odhadněte:

9

1. Jak velkou gravitační silou působí jablko na Newtona a Newton na jablko v okamžiku, kdy se jablko Newtona dotýká? Odhadněte všechny potřebné veličiny.

   K výpočtu gravitační síly využijte Newtonův gravitační zákon

   $$F_\mathrm{g} \doteq G\frac{mM}{r^2}\,.$$

   $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{m^3{\cdot}s^{-2}{\cdot}kg^{-1}}$ v tomto vzorci značí gravitační konstantu, $r$ vzdálenost těžišť dvou těles, mezi nimiž působí síla a $m$, resp. $M$ značí

[3] Někdy se tato konstanta značí i řeckým písmenem $\varkappa$.