

Prekoncepce studentů o síle a pohybu

DITA ČÍŽKOVÁ – DANA MANDÍKOVÁ

Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

1 Úvod

V našich školách se často setkáváme s tím, že žáci se dokáží naučit mnoho pouček a zákonů nazpaměť, bohužel bez hlubšího pochopení. Tím, že žáci naučené pojmy a poznatky správně nechápou a neumějí je využívat, obracejí se často při řešení fyzikálních problémů ke svým hlouběji zakotveným představám. Tyto představy označujeme jako *prekoncepce*. Prekoncepce jsou představy, které si člověk vytváří od raného dětství na základě bezprostředního vnímání a pozorování okolního světa, na základě manipulace s objekty tvořícími tento svět a na základě intuitivního zobecňování svých zkušeností. Prekoncepce bývají často v rozporu s vědeckými poznatky a znesnadňují jejich správné pochopení. Takové chybné prekoncepce se označují jako *miskoncepce*. Miskoncepce bývají velmi odolné a snahy učitelů o správné pochopení fyzikálních zákonitostí často nezanechají na studentech žádné následky. Proto je důležité tento problém vnímat a soustředit se na něj.

Problematika prekonceptů začala být aktuální v 80. letech minulého století, kdy se v této oblasti prováděla řada výzkumů. V letech 1981/82 a 1983/84 provedla u nás D. Hejnová průzkum představ studentů MFF UK a gymnázií o pohybu makroskopických těles [2], který ukázal na existenci řady chybných představ i u studentů, kteří si vybrali fyziku za svůj obor studia na vysoké škole. Zajímalo nás, jak by si se stejnými úlohami poradili současní studenti, a proto jsme průzkum zopakovali a výsledky porovnali. Zda se situace po více jak pětadvaceti letech zlepšila a ubylo miskonceptů mezi studenty, o tom více v následujícím článku.

2 Podmínky a průběh průzkumu

Průzkum byl proveden pomocí testu, který tvořilo šest kvalitativních úloh^{*)}, k jejichž vyřešení nebylo potřeba výpočtů. Průzkumu se zúčastnilo celkem 343 studentů. Na vyřešení testu měli studenti 45 minut. Podrobnější údaje o tom, kteří studenti se průzkumu zúčastnili, kolik jich bylo a kdy jim byly testy zadávány, najdeme v následující tabulce 1.

Tabulka 1: Přehled respondentů

Kdo se průzkumu zúčastnil?	Kolik studentů se průzkumu zúčastnilo?	Kdy byl průzkum prováděn
1. ročník MFF UK	59 studentů	v průběhu října a listopadu 2006
2. ročník MFF UK	47 studentů	v průběhu října a listopadu 2006
1. ročník učitelství MFF UK	17 studentů ^{**)}	začátkem října 2007
Gymnázium A (2 třídy)	50 studentů	v průběhu listopadu a prosince 2006
Gymnázium L (2 třídy)	50 studentů	v průběhu listopadu a prosince 2006
Gymnázium Š (2 třídy)	46 studentů	v průběhu listopadu a prosince 2006
Gymnázium Ž (3 třídy)	74 studentů	v průběhu listopadu a prosince 2006

3 Zadání testu, výsledky a nejčastější prekoncepce

Dále uvádíme zadání jednotlivých úloh testu, spolu se správným řešením. U každé úlohy jsou shrnuty nejčastější nesprávné představy studentů nyní a před více jak pětadvaceti lety a na ukázkou je zde uvedeno několik typických chybných odpovědí.

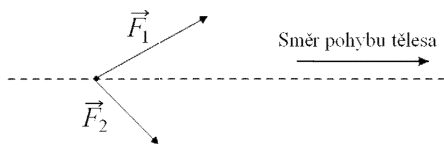
V úvodu testu bylo zdůrazněno, aby studenti všechny úlohy řešili vzhledem k inerciální vztažné soustavě.

Úloha č. 1

Těleso se pohybuje stálou rychlostí po přímkové trajektorii. Přitom na něj působí tři síly. Na obr. 1 jsou vyznačeny vektory jen dvou těchto sil F_1 a F_2 . Zakreslete pečlivě do obrázku třetí sílu F_3 , která na těleso působí.

^{*)} Pět úloh bylo převzato z obdobného průzkumu provedeného prof. Nachtigallem [3].

^{**)} Z toho bylo 6 studentů prezenčního studia a 11 studentů kombinovaného studia.



Obr. 1

Správná odpověď: Podle 1. Newtonova zákona (zákon setrvačnosti) se těleso pohybuje rovnoměrně přímočaře tehdy, je-li výslednice sil na něj působících nulová. Třetí síla, která na těleso působí, má tedy velikost jako výslednice prvních dvou sil, ale opačný směr.

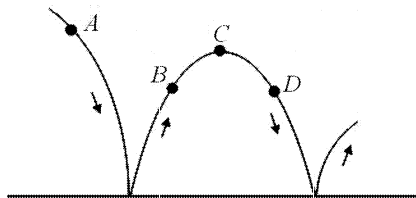
Nejčastější nesprávnou odpovědí studentů v 80. letech i nyní bylo, že třetí síla je orientovaná ve směru pohybu a je to buď výslednice prvních dvou sil, nebo jiná síla.

Příklady nesprávných odpovědí studentů

- „Třetí síla F_3 je rovna výsledné síle působící na těleso, která je vektorovým součtem obou působících sil.“
- „Výslednice sil F_1 a F_2 je ve směru pohybu. Síla F_3 musí být tedy menší a opačného směru.“

Úloha č. 2

Na vodorovný stůl je hozen míč. Jeho trajektorie je znázorněna na obr. 2. Zakreslete do obrázku vektory sil, které na míč působí, když se nalézá v bodech A , B , C , D . Vektory vyznačte pečlivě, aby bylo zřejmé, zda jsou či nejsou stejně velké a jaký mají směr (vodorovný nebo svislý, kolmý nebo tečný k trajektorii apod.). Zanedbejte odpor vzduchu.



Obr. 2

Zdůvodněte svoji odpověď pro bod: A : B : C : D :

Správná odpověď: V této úloze se jedná o šikmý vrh, tedy pohyb tělesa v tíhovém poli. Předpokládáme-li, že odpor vzduchu (a také vztlačová síla) jsou zanedbatelně malé, působí ve všech vyznačených bodech na míč pouze tíhová síla.

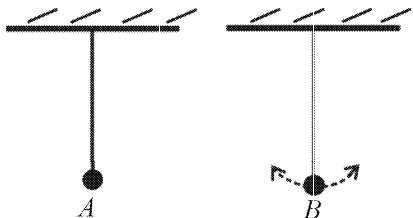
Ve druhé úloze se v letech 1981/82, 1983/84 a také u většiny současných studentů mezi chybnými odpověďmi nejčastěji vyskytovala řešení, kdy výslednice sil má ve všech bodech směr tečny k trajektorii a je orientovaná ve směru pohybu míčku, resp. na míček působí ve všech vyznačených bodech tečná a tíhová síla. Pouze u studentů učitelství z roku 1981/82 a u studentů gymnázia L z roku 2006/07 převládala odpověď, kdy v různých bodech působí na míč různé kombinace vodorovných a svislých sil různých orientací.

Příklady nesprávných odpovědí studentů

- V bodě *A*: „Směr výsledné síly je tečný (působí tíhová a dopředná složka síly).“
- V bodě *B*: „Směr výsledné síly je tečný (dopředná složka je stále stejná, svislá složka míří nahoru, je menší než v bodě *A*, dochází zde k tlumení).“
- V bodě *C*: „Zde je pouze dopředná složka síly (směr tečny), bod se nepohybuje ani nahoru ani dolů.“
- V bodě *D*: „V bodě *D* je situace stejná jako v bodě *B*, jen svislá složka směřuje dolů.“

Úloha č. 3

Dva hmotné body *A*, *B* o stejné hmotnosti visí na stejných vláknech (tj. na vláknech, která mají stejnou délku a stejné vlastnosti). Hmotný bod *A* je v klidu. Hmotný bod *B* kývá ve svislé rovině a právě prochází nejnižším bodem své trajektorie.



Obr. 3

Určete všechny síly, které na oba hmotné body působí, a zakreslete je do obr. 3. Dbejte, aby z nákresu bylo zřejmé, zda síly mají či nemají stejnou velikost a jaké mají orientované směry. Síly tření a odporu vzduchu zanedbejte. Vzájemné působení bodů A , B neuvažujte.

Zdůvodněte:

Správná odpověď: a) Těleso je v klidu, síly, které na něj působí, musí být v rovnováze. Tíhová síla F_G (svisle dolů) je tedy co do velikosti rovna tahové síle vlákna F_1 (svisle nahoru).

b) Při řešení této části úlohy můžeme využít poznatky o matematickém kyvadle. Hmotný bod B se pohybuje po části kružnice. Na obrázku je bod zachycen při průchodu rovnovážnou polohou, kde má nulové tečné a nenulové dostředivé zrychlení. Dostředivé zrychlení má směr vlákna a je orientované k bodu závěsu. Na bod B tedy působí tíhová síla F_G a tahová síla vlákna F_2 , pro které platí $F_2 > F_G$.

Třetí úloha byla rozdělena na dvě části. Nejčastější chybnou odpovědí u všech skupin studentů (dříve i nyní) v první části bylo, že na hmotný bod působí pouze tíhová síla. Ve druhé části této úlohy uváděli studenti gymnázií a učitelství v roce 1981/82 a 1983/84 a dále také studenti gymnázií A, Ž z roku 2006/07 jako nejčastější chybnou odpověď variantu, kde se domnívají, že na hmotný bod působí výsledná síla tečná k trajektorii orientovaná ve směru pohybu. Studenti fyziky na MFF UK z roku 1981/82 i z roku 2006/07 a studenti učitelství z roku 2007/08 volili nejčastěji chybnou odpověď, kdy na hmotný bod působí tíhová síla a tahová síla závěsu, které mají stejnou velikost a jsou opačně orientované – výslednice je nulová. U studentů gymnázií L a Š převládala odpověď, kdy na hmotný bod působí tíhová síla (popř. tíhová síla a tahová síla závěsu, které mají stejnou velikost a jsou opačně orientované), dále působí na hmotný bod dvě síly tečné k trajektorii, které mají stejnou velikost a jsou opačně orientované.

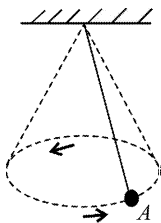
Příklady nesprávných odpovědí studentů

- „V bodě B působí síla gravitační, odstředivá, síla vlákna a síla setrvačná (tečná k trajektorii).“
- „Na bod B působí tahová síla provázku, proti ní působí stejně velká gravitační síla, navíc na bod B působí setrvačná síla F_s udržující hmotný bod v pohybu, tato síla má směr tečny k trajektorii.“

Úloha č. 4

Na obr. 4 je kónické kyvadlo. Hmotný bod A je zavěšen na závěsu

a pohybuje se po kruhové trajektorii ve vodorovné rovině. Závěs opisuje při pohybu plášť kužele. Doba oběhu je konstantní. Odpor vzduchu a tření závěsu jsou zanedbatelné. Výsledná síla, která působí na hmotný bod A , má následující orientovaný směr:



Obr. 4

- a) svisle dolů,
- b) svisle vzhůru,
- c) podél závěsu do bodu závěsu,
- d) podél závěsu od bodu závěsu,
- e) ke středu dráhy ve směru poloměru,
- f) od středu dráhy ve směru poloměru,
- g) ve směru tečny ke dráze.

Zatrhněte správnou odpověď a výslednici vyznačte do obrázku.

Zdůvodněte:

Správná odpověď:

Pro řešení této úlohy využijeme poznatky o rovnoměrném pohybu po kružnici, při kterém má těleso nenulové dostředivé zrychlení a nulové tečné zrychlení. Na hmotný bod A působí tíhová síla a tahová síla závěsu. Jejich výslednice F_d směřuje do středu trajektorie a uděluje hmotnému bodu dostředivé zrychlení.

Správné řešení – zatržena odpověď e).

Ve čtvrté úloze byla nejčastější nesprávnou odpovědí u studentů gymnázií z roku 1983/84 a u studentů gymnázií A, Š, Ž z roku 2006/07 odpověď, kde se studenti domnívají, že výsledná síla působící na hmotný bod má směr tečny k trajektorii. Studenti fyziky a učitelství z roku 1981/82 tuto úlohu převážně neřešili nebo jejich odpovědi byly velmi rozmanité. U studentů fyziky z roku 2006/07 a u studentů gymnázia L se mezi nesprávnými řešeními nejčastěji vyskytovala odpověď, kdy výsledná síla působící na hmotný bod má směr závěsu a je orientovaná od bodu závěsu. Studenti učitelství z roku 2007/08 měli stejné zastoupení nesprávných odpovědí, kde se buď domnívali, že výsledná síla působící na hmotný bod má směr tečny k trajektorii nebo kde výsledná síla působící na hmotný bod má směr závěsu a je orientovaná od bodu závěsu.

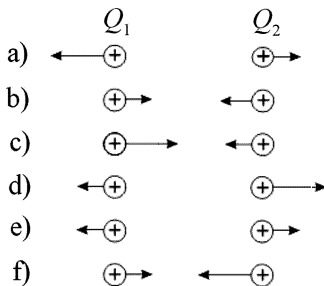
Příklady nesprávných odpovědí studentů

- „Složením tíhové síly a síly odstředivé vznikne výsledná síla směřující podél závěsu od bodu závěsu.“ (Místo odstředivé síly bývá někdy uváděna síla setrvačná.)

- „Výsledná síla uvádí hmotný bod do pohybu (udává mu zrychlení), má tedy stejný směr jako rychlost.“
- „Síla vždy působí jako tečna ke dráze, ale provázek nenechá kuličku vyletět.“

Úloha č. 5

Na obr. 5 a) až f) jsou znázorněny vždy dva kladné elektrické náboje Q_1 , Q_2 . Náboj Q_1 je dvakrát tak velký jako náboj Q_2 . Orientovanými úsečkami jsou vyznačeny vektory elektrických sil, kterými jeden náboj působí na druhý. Který obrázek je správný? Zatrhněte ho a zdůvodněte.



Obr. 5

Zdůvodnění:

Správná odpověď: Dva souhlasně nabité náboje se odpuzují. Ze zákona akce a reakce víme, že tělesa na sebe působí stejně velkou silou opačného směru.

Správná odpověď – zatržena odpověď e).

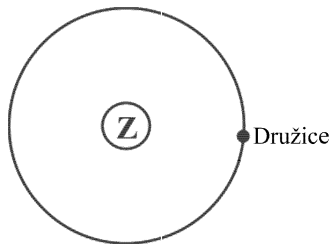
V páté úloze všichni studenti, kteří se zúčastnili průzkumu (dříve i nyní), uváděli nejčastěji chybnou odpověď d), kdy se souhlasné náboje navzájem odpuzují a náboj o menší velikosti je odpuzován větší silou.

Příklady nesprávných odpovědí studentů

- „Dva kladné náboje a stejně tak dva záporné náboje (tzn. náboje téže polarity) se navzájem odpuzují. Jelikož je náboj Q_1 dvakrát větší, síla kterou působí na Q_2 je větší (s větší razancí ho odmrští).“
- „Dva náboje stejného druhu se odpuzují. Náboj Q_1 má sílu dvakrát větší.“

Úloha č. 6

Na obrázku 6 je znázorněna družice obíhající po kruhové trajektorii kolem Země. Vliv ostatních těles zanedbáme. Vyjmenujte všechny síly, které pohyb družice po kruhové trajektorii kolem Země způsobují, zakreslete je do obrázku a vyznačte jejich výslednici. Působí také nějaká síla (nebo více sil) na Zemi? Zakreslete ji (je) do obrázku.



Obr. 6

Zatrhňte tvrzení, která jsou podle vašeho názoru správná:

- a) Na družici působí jediná síla, kterou jsem zakreslil(a).
- b) Na družici působí více sil, jejichž výslednici jsem zakreslil(a).
- c) Na družici působí více sil, ale ty se navzájem vyruší.
- d) Na Zemi v systému Země – družice působí jediná síla, kterou jsem zakreslil(a).
- e) Na Zemi působí více sil, jejichž výslednici jsem zakreslil(a).
- f) Na Zemi působí více sil, které se navzájem vyruší.
- g) Žádná z uvedených odpovědí není správná, ale platí:

Zdůvodnění odpovědí:

- 1) které se týkají družice:
- 2) které se týkají Země:

Správná odpověď:

Ze zákona akce a reakce vyplývá, že tělesa na sebe působí stejně velkými silami, opačného směru.

Země působí na družici gravitační silou, tato síla je pro družici silou do-
středivou, proto se družice pohybuje rovnoměrně po kružnici.

Družice působí na Zemi stejně velkou gravitační silou opačného směru, účinek této síly se však vzhledem k velké hmotnosti Země zřetelně neprojevuje.

Správné odpovědi – zatržena odpověď a), d).

Poslední šestá úloha byla rozdělena na více částí. V části týkající se Země studenti gymnázií z roku 1983/84 uváděli velmi různorodé odpovědi. U studentů fyziky z roku 1981/82 a studentů 2. ročníku fyziky z roku 2006/07 se nejčastěji vyskytovaly odpovědi, kde se studenti domnívají, že

na Zemi působí dostředivá a odstředivá síla, které se vzájemně vyruší. Studenti gymnázií z roku 2006/07, studenti učitelství z roku 1981/82 i z roku 2007/08 a studenti 1. ročníku obecné fyziky z roku 2006/2007 část úlohy týkající se Země nejčastěji vůbec neřešili. Druhá část této úlohy se týkala družice. U studentů fyziky z roku 1981/82 i z roku 2006/07 se v této části úlohy nejvíce objevovaly chybné odpovědi, kdy na družici působí dostředivá a odstředivá síla, které se vzájemně vyruší. Stejně tomu bylo i u studentů učitelství z roku 1981/82, zde ale k těmto odpovědím přibyla stejně početná řešení, kdy výsledná síla, která na družici působí, je tečná k trajektorii a je orientovaná ve směru pohybu. Tuto odpověď volili nejčastěji také studenti gymnázií A, Š z roku 2006/07 a studenti učitelství z roku 2007/08. Studenti gymnázií z roku 1983/84 a studenti gymnázia Ž z roku 2006/07 tuto část úlohy často neřešili nebo jejich odpovědi byly velmi rozmanité. U studentů gymnázia L z roku 2006/07 se vyskytovala nejčastěji chybná odpověď, kde se studenti domnívají, že na družici působí dostředivá síla a síla tečná k trajektorii.

Příklady nesprávných odpovědí studentů

Pro družici:

- „Na družici působí gravitační síla Země (jinak by odlétla), síla vesmíru (zabraňuje, aby si Země družici úplně přitáhla) a síla, která udržuje družici v pohybu po kružnici (tečna k trajektorii).“
- „Výsledná síla působící na družici je tečnou k trajektorii, jinak by se družice nepohybovala v kruhu kolem Země.“

Pro Zemi:

- „Na Zemi nepůsobí žádné konkrétní síly.“
- „Lze uvažovat, že družice na Zemi působí gravitační silou, ale ta musí být zanedbatelně malá.“

Vidíme, že studenti pro zdůvodnění svých nesprávných řešení nejčastěji využívali představu síly, která působí ve směru pohybu tělesa a je tečná k jeho trajektorii. Tato představa převládá především u studentů gymnázií, a to jak v roce 1983/84, tak v roce 2006/07. Pozorujeme, že při porovnání příslušných skupin studentů nedošlo během pětadvaceti let k výrazným změnám v nejčastěji se vyskytujících nesprávných představách.

(Pokračování)

Tři náměty do výuky molekulové fyziky

VOJTĚCH ŽÁK

Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

Úvod

V tomto článku uvádíme náměty na tři úlohy z molekulové fyziky. Všechny tři úlohy (spíše jedna aktivita a dvě úlohy) byly prověřeny ve výuce fyziky (podrobněji viz poznámky u každé úlohy). Hlavním důvodem, proč seznamujeme čtenáře s těmito úlohami, je fakt, že molekulová fyzika patří na českých středních i základních školách k nejméně oblíbeným partitům fyziky. Vyplynulo to z výzkumu, který uskutečnila Katedra didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze v rámci projektu 2E06020 Národního programu výzkumu II, Fyzikální vzdělávání pro všestrannou přípravu a rozvoj lidských zdrojů na úrovni základních a středních škol (podrobněji o závěrech z projektu viz [1]).

Konkrétně byla žákům základních škol a nižšího stupně víceletých gymnázií (celkem asi 1 900 respondentů) položena otázka: Které fyzikální obory se ti zdají ve výuce fyziky zajímavé? Nabídnuata byla následující témata – pohyb; síla; energie; teplo; elektřina a magnetismus; světlo; zvuk; atomy a molekuly; Země a vesmír. Žáci měli zajímavost těchto témat ohodnotit na čtyřstupňové škále: 1 – velmi zajímavá, 2 – spíše zajímavá, 3 – spíše nezajímavá, 4 – velmi nezajímavá. Nejhůře ze všech bylo hodnoceno téma „atomy a molekuly“, a to přibližně 2,3.

Stejná otázka byla položena více než 2 000 žáků vyššího stupně víceletých gymnázií, čtyřletých gymnázií a středních odborných škol. Těmto respondentům byly nabídnuty k ohodnocení následující obory – mechanika; kmitání a vlnění; molekulová fyzika a termika; elektřina a magnetismus; optika; fyzika mikrosvěta; speciální teorie relativity; astrofyzika. Na stejné škále dosáhla nejhoršího hodnocení molekulová fyzika a termika, a to přibližně 2,7.

Dalším důvodem, proč se snažíme formulovat a diskutovat úlohy z molekulové fyziky, je zjištění (ve stejném výzkumu), že nejméně oblíbenou činností, kterou by žáci jak základních, tak středních škol chtěli dělat ve

výuce fyziky, je „počítání příkladů (řešení početních úloh)“. U žáků základních škol a nižšího stupně víceletých gymnázií to byla nejhůře hodnocená činnost z 15 nabídnutých (hodnocení přibližně 2,9) a u žáků vyššího stupně víceletých gymnázií, čtyřletých gymnázií a středních odborných škol se jednalo o nejhůře hodnocenou činnost z 16 nabídnutých (přibližně 3,0).

Domníváme se, že molekulová fyzika (stavba a vlastnosti látek) je důležitou součástí středoškolské fyziky (fyziky na základních školách) a že také počítání příkladů (přesněji: řešení kvantitativních úloh) má svoji nezastupitelnou roli ve výuce fyziky. Považujeme proto za rozumné snažit se formulovat pro žáky takové úlohy, které mají šanci je zaujmout a samozřejmě jim fyzikálně „něco dát“. Na níže navržené úlohy je zřejmě možné v některých obměnách narazit ve sbírkách úloh či učebnicích. V podobě, ve které je zde uvádíme, jsou ale vyzkoušeny v praxi a je tedy ověřeno, že mají potenciál žáky zaujmout.

1. Velké počty aneb krájení chleba až na atom

Úvodní poznámka

Tato aktivita je určena pro žáky různého věku (od 12 do 19 let). Následující text je psán s ohledem na ty mladší, kteří ještě neumí pracovat s mocninami a velkými čísly. Starším a zdatnějším žákům poskytneme jen některé informace a pochopitelně na vyšší úrovni. (Např. je možné řešit problém pomocí exponenciální rovnice.) Tato aktivita byla vyzkoušena na kroužku fyziky pořádaném pro žáky středních a základních škol na Matematicko-fyzikální fakultě UK (více o kroužku fyziky viz [2]) a svým pojetím je tedy spíše neformální.

Motivační úvod

V běžné věci, kterou můžeme vzít do ruky, je zhruba *milion miliard miliard částic* (atomů, molekul). To je dost krkolomně zapsáno a je to nepřehledné. Protože ale

tisíc zapíšeme jako jedničku a 3 nuly 1 000,
milion je jednička a 6 nul v řadě za ní 1 000 000,
miliarda jednička a 9 nul za ní 1 000 000 000,
je logicky milion miliard miliard jednička
a 24 nul 1 000 000 000 000 000 000 000 000,
což je ale zdlouhavé zapisovat, a tak slušní lidé volí zápis 10^{24} (deset na dvacátou čtvrtou, prostě 1 a 24 nul). Tím jsme zpřehlednili zápis počtu

částic, ale ještě by se nám nemuselo v předchozím odstavci líbit slovo „zhruba“. Co vlastně vědci zjistili?

Přesněji řečeno, vědci zjistili, že 12 gramů uhlíku je tvořeno přibližně $6 \cdot 10^{23}$ atomů (pochopitelně uhlíku C), to znamená 6 a 23 nul ... 600 000 000 000 000 000 000 000.

Na počest velkého italského fyzika a chemika *Amedea Avogadra*, je tehle počet nazván *Avogadrova konstanta*. Uhlík se nám ještě bude hodit, protože jak známo, uhlík se hojně vyskytuje ve věcech, které jsou organického (tedy živého původu).

Chceme provést pokus s organickým materiálem, ale zvířat je nám pro pokusy líto. tak vezmeme zavděk třeba krajícem chleba!

Výzkumná otázka

Kolikrát je potřeba rozpůlit krajíc chleba, aby nakonec zbyla jedna molekula nebo atom?

Půjdeme na to nejprve *teoreticky* a pak provedeme *experiment* (=pokus). Pokud je to možné, tak fyzikové používají obě tyto metody, které se vzájemně doplňují.

Teorie

Představme si, že krajíc chleba obsahuje zhruba (velmi zhruba) tolik atomů jako je Avogadrova konstanta. Je pravda, že krajíc chleba nemusí vážit zrovna 12 gramů a také je pravda, že není složen jen z atomů uhlíku. Na druhou stranu i když bude mít hmotnost třeba 50 gramů a i když víme, že kromě uhlíku C najdeme v chlebu kyslík O, vodík H, ... , nakonec si stejně ukážeme, že výsledný počet řezů to příliš neovlivní! Připraveni? Tak jdeme na to!

Připusťme tedy, že se krajíc chleba skládá z $6 \cdot 10^{23}$ atomů. Když ho rozpůlíme, zbude v každé ze dvou polovin polovina atomů, to je $3 \cdot 10^{23}$. Co jsme udělali? Nožem jsme rozkrojili krajíc na polovinu, matematicky jsme dělili dvěma. Teď budeme postup opakovat. Vezmeme jednu polovinu krajíce a opět ji rozpůlíme. Počet atomů klesne opět na jednu polovinu, to je $1,5 \cdot 10^{23}$. Asi nám je jasné, že každé půlení znamená vydělení počtu atomů dvojkou. Budeme tedy půlit neboli dělit 2, dokud nedostaneme na kalkulačce jedničku!

Stačí tedy vzít k ruce kalkulačku nebo chytřejší mobil s kalkulačkou, zapsat $6 \cdot 10^{23}$ a dělit dvojkami. Práce je to trochu zdlouhavá a taky fyzicky namáhavá – schválně, kdy vás začne bolet ruka!

Člověk je naštěstí bytost myslící a všímavá, a tak si všimněte, že když vydělíte $6 \cdot 10^{23}$ 10krát za sebou 2, dostaneme přibližně $5,9 \cdot 10^{20}$, což znamená, že vydělit 10krát dvojkou je skoro totéž jako vydělit tisícem, tj. „škrtnout 3 nuly“. Takže vydělíme-li znova 10krát dvojkou, zmenší se počet nul našeho čísla na 17, pak na 14, 11, 8, ... vždy o 3 nuly. Protože původní počet $6 \cdot 10^{23}$ je přibližně $10 \cdot 10^{23} = 10^{24}$ a zjistili jsme, že dělit 10krát dvojkou je skoro jako škrtnout 3 nuly, stačí 8krát poškrtnat 3 nuly ($8 \cdot 3 = 24$) a zbude jen 1 bez nul! Stačí tedy 8krát zopakovat dělení 10 dvojkami, to je zhruba *80krát rozpůlit původní krajíc chleba a drobek, který nám zbyl, bude atomem!*

Připusťme teď námitku, že krajíc neváží 12 gramů, ale třeba 50 gramů (asi 4krát více) a že je tvořen nejjednoduššími atomy, to je atomy vodíku H (jistě tam nějaké budou v molekulách vody H_2O). Hmotnost myšleného krajíce jsme tedy zvětšili zhruba 4krát a atom H má hmotnost asi 12krát menší než atom C (předpokládejme, že 16krát, ať se nám dobře počítá). Celkem je tedy v extrémním případě, když máme na stole „vodíkový krajíc“, potřeba krájením rozdělit 64krát více atomů ($4 \cdot 16 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2$), což znamená přidat 6 půlení.

Závěr

Krajíc chleba je potřeba rozpůlit ani ne 100krát (maximálně 86krát), aby nám zbyl 1 atom.

První diskuze

Tak nízký počet může být překvapivý, když jsme měli na počátku tolik atomů! Krajíc obsahuje velmi zhruba 10^{24} atomů a stačí ani ne 10^2 půlení a máme atom! Atomů strašně rychle ubývá. Přesně opačně jsou překvapeni sestavovatelé rodokmenů:

Dejme tomu, že pátráte jen po rodičích, babičkách a dědečcích, pradědečcích a prababičkách, praprababičkách a prapradědečcích atd. V ideálním případě máte 2 rodiče, babičky a dědečky dohromady 4, prababiček a pradědů je celkem 8, prapra ... je 16 atd. V každé generaci zpět máte tedy 2krát více přímých příbuzných než v generaci předcházející. Tak například v desáté generaci zpět (zhruba 300 let) čkejte $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 1\,024$ praprapra ... rodičů. Odborně se tomuto rychlému růstu říká *exponenciální nárůst*, zatímco u našeho chleba to byl *exponenciální pokles*. Člověka to může překvapit, ale je to tak. Prostě ne vše na světě se řídí přímou a nepřímou úměrností.

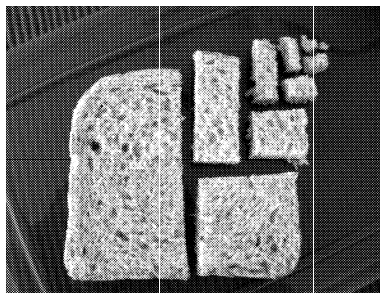
Tolik teorie a teď praxe!

Experiment

Ukrojte krajíc chleba a pulte, pulte, pulte! Možná se vám to povede 15krát, víckrát ale asi ne (obr. 1). Praktická nemožnost uskutečnit další půlení je vlastně dokladem toho, že půlky se rychle zmenšují (exponenciální pokles).

Druhá diskuze

Možná navrhnete vzít si k ruce – vlastně k oku – mikroskop, ale problém bude i s nožem. Jeho dokonalé ostří ztratí v porovnání s malým drobkem chleba vražednou eleganci a jeho počínání bude v nejlepším případě působit stejně neohrabaně jako motorová pila pokoušející se půlit podélně lidský vlas.



Obr. 1 Experimentální půlení krajíce toastového chleba

Překvapení ale pokračují ještě dál: Svět malých částíček je rozmazaný. Není to jeho vada ani vina – je takový, protože atomy a molekuly se hýbou, hlavně velmi rychle kmitají. Takže i kdybychom měli superostrý a super-tenký nůž, nevěděli bychom, kam ho přesně umístit, protože situace by byla poněkud rozmazaná. Navíc atomy zůstávají nerady samy: Dva atomy vodíku a atom kyslíku by vám mohly vyprávět, jak dobře je jim v molekule vody H_2O .

Bylo by to tedy úplně jiné, než oddělit dvě kuličky rybízu na společné větvičce. S rybízem je to snadné, můžeme zařídit, aby byl v klidu. Mikročástice – atomy a molekuly – jsou v neustálém chaotickém pohybu a platí pro ně jiné zákony než třeba pro kulečnickové koule. Zkušený hráč může určit, jak se budou koule pohybovat, může určit jejich trajektorii, zkušený fyzik ví, že v *mikrosvětě* – světě molekul, atomů a menších částic – to tak jednoduše nejde. Lze jen předpovídat pravděpodobnost, že se něco stane. *Mikrosvět se tedy řídí jinými zákony než makrosvět – svět naší každodenní zkušenosti.* Na makrosvět jsme zvyklí, zdá se nám tedy normální. Mikrosvět je pro nás jaksi neviditelný, příliš droboučkový, vzdálený, proto se nám jeho zákony zdají divné, překvapivé, podezřelé. Ale to je jiná kapitola fyziky – *kvantová fyzika*.

2. Úloha z Divokého západu

Úvodní poznámka

Tato úloha je vhodná pro středoškoláky; prověřena byla opakovaně na gymnáziu. Její zvláštností je, že se studentů ptáme, co by se na základě popsaného jevu dalo určit. Samozřejmostí je, že studentům neposkytneme materiálové konstanty, ale že je musí sami vyhledat v MFChT. Na závěr je vhodné se studenty diskutovat praktická omezení popsaného měření a skutečnou využitelnost.

Zadání

V jednom městě na Divokém západě byla za místním saloonem k ránu teplota $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tou dobou byl stolitrový železný sud až po okraj naplněn petrolejem. Během dopoledne vytekly ze sudu 2 litry petroleje. Co se dá na základě uvedených údajů zjistit?

Rozbor

Během dopoledne se bude zřejmě zvyšovat teplota, železný sud i petrolej v něm budou zvětšovat svůj objem, i když asi nestejně. Známe počáteční teplotu, víme, o které látky se jedná, mohli bychom tedy zjistit na základě rozdílu objemů petroleje a železného sudu teplotu v poledne.

Zápis zadání

Železný sud:	$V_1 = 100\text{ l} = 0,1\text{ m}^3$	Petrolej:	$V_1 = 100\text{ l} = 0,1\text{ m}^3$
	$t_1 = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$		$t_1 = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$\alpha_1 = 0,012 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$		$\beta_{\text{II}} = 0,96 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$

$$\Delta V = 2\text{ l} = 2 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$$

$$t = ?$$

Řešení

Objem petroleje ΔV , který vytekl, se rovná přírůstku objemu petroleje ΔV_{II} zmenšenému o přírůstek objemu železného sudu ΔV_1 .

$$\Delta V = \Delta V_{\text{II}} - \Delta V_1 = \beta_{\text{II}} V_1 \Delta t - 3\alpha_1 V_1 \Delta t = V_1 \Delta t (\beta_{\text{II}} - 3\alpha_1),$$

kde $\Delta t = t - t_1$.

Pro výslednou teplotu v poledne tedy platí:

$$t = t_1 + \frac{\Delta V}{V_1 (\beta_{\text{II}} - 3\alpha_1)}$$

Číselně:

$$\{t\} = 5 + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,1(0,96 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 0,012 \cdot 10^{-3})} \approx 27$$

Výsledek: $t \approx 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Odpověď: Teplota v poledne byla asi $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Hmotnost vodní páry v učebně

Úvodní poznámka:

Tato úloha je vhodná pro středoškoláky; několikrát byla prověřena na gymnáziu. Její zvláštností je, že v zadání neuvádíme přímo název veličiny, jejíž hodnotu chceme zjistit; to mají studenti sami navrhnout. Součástí řešení je, že studenti musí udělat odhad (rozměry učebny). Zadání neobsahuje žádné hodnoty; studenti je musí sami vyhledat v MFChT.

Zadání:

Určete množství vodní páry obsažené ve vzduchu v učebně, kde právě jste.

Rozbor:

Úloha není na první pohled jednoznačně určená, protože se ptáme na „množství“, což si mohou studenti vysvětlit nejčastěji jako objem nebo hmotnost. Snadno je ale dovedeme k tomu, že lepším ukazatelem množství je hmotnost než objem. Vodní pára je totiž zřejmě rozptýlena v celém objemu učebny, takže její objem se rovná objemu učebny. Se studenty dále vedeme diskuzi, co všechno budeme k výpočtu potřebovat (vlhkoměr, znalost rozměrů učebny, znalost teploty, MFChT).

Zápis zadání:

Vodní pára: $V = 240 \text{ m}^3$

$t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$\varphi = 60 \% = 0,6$

$\rho = 17,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$m = ?$

(Odhad žáků: $V = abc = 8 \text{ m} \cdot 10 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} = 240 \text{ m}^3$)

(Určeno pomocí teploměru dosaženého do učebny.)

(Zjištěno pomocí např. vlasového vlhkoměru.)

(Hustota syté vodní páry při dané teplotě zjištěná v MFChT.)

Řešení:

Hmotnost vodní páry vystupuje ve vztahu pro absolutní vlhkost vzduchu $\Phi = \frac{m}{V}$, kde m je hmotnost vodní páry obsažené ve vzduchu o objemu V . Absolutní vlhkost vzduchu v učebně sice neznáme, ale můžeme použít vztah pro relativní vlhkost vzduchu $\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m}$, kde ve jmenovateli je maximální absolutní vlhkost vzduchu při dané teplotě, která se rovná hustotě syté vodní páry ϱ_s .

Z předchozího tedy vyplývá, že $m = V\Phi = V\varphi\Phi_m = V\varphi\varrho_s$

Pro hledanou hmotnost vodní páry tedy platí:

$$m = V\varphi\varrho_s$$

Číselně: $\{m\} = 240 \cdot 0,6 \cdot 17,3 \cdot 10^{-3} = 2,49 \approx 2,5$

Výsledek: $m \approx 2,5$ kg

Odpověď: Vodní pára v učebně má hmotnost přibližně 2,5 kg.

Závěr

Všechny tři výše uvedené úlohy z molekulové fyziky (jedna aktivita a dvě úlohy) byly ověřeny při práci se žáky. První aktivita, která je poněkud neformální a která se vymyká běžnému pojetí úloh, byla vyzkoušena při práci se žáky na kroužku fyziky pro zájemce z řad středoškoláků. Další dvě úlohy byly ověřeny na běžném gymnáziu. Podle zkušeností s jejich začleněním do výuky usuzujeme, že mohou žáky zaujmout, což byla hlavní motivace k jejich tvorbě. Za samozřejmost pokládáme, že všechny tři úlohy řeší fyzikálně nosnou problematiku. S podobnými úlohami jako jsou uvedené je zřejmě možné se setkat ve sbírkách úloh či v učebnicích. Uvedli jsme zde podobu úloh, která se osvědčila. Tvořiví učitelé si mohou sami tyto varianty upravit tak, aby více vyhovovaly cílům jejich výuky.

Literatura

- [1] *Dvořák, L. a kol.:* Lze učit fyziku zajímavěji a lépe? Matfyzpress, Praha 2008.
- [2] <http://www.krouzek-fyziky.ic.cz/>

Foucaultovo kyvadlo na demonstračním stole

FRANTIŠEK JÁCHIM

VOŠ a SPŠ Volyně

Pomníkem francouzského fyzika *Jearna Bernarda Foucaulta* (1819 – 1868) je nejen busta na hrobě na monmartrském hřbitově v Paříži, ale také dlouhé matematické kyvadlo v pařížském Panthéonu (obr. 1) připomínající jeho slavný pokus z roku 1851, jímž dokázal rotaci Země.

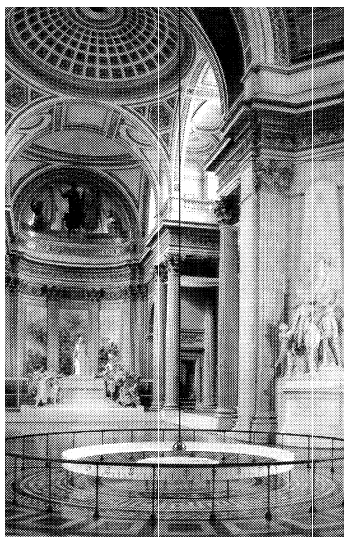
Na 67 m dlouhé lano upevněné v nejvyšším bodě kupole Panthéonu zavěsil závaží o hmotnosti 28 kg s hrotem dole, který svoji dráhu zaznamenával do pěkně urovnaného jemného písku. Na tom by nebylo nic podivného, kdyby rytá stopa byla stále stejná úsečka. Právě že nebyla. Rovina kyvu pomalu kývajícího se kyvadla (doba kmitu byla přibližně 16,5 sekund) se vzhledem ke stavbě zvolna stáčela – každou hodinu asi o 11° . Ve skutečnosti se neotáčela rovina kyvu, nýbrž Země.

Příčinu tohoto jevu Foucault objasnil pomocí tehdy nedávného poznatku francouzského fyzika *Gustava Gasparda Coriolise* (1792–1843) o setrvačné síle, která vzniká v rotující soustavě z hlediska pozorovatele s ní spojeného a která způsobuje vychýlení roviny kyvu vzhledem k této rotující soustavě. Pokud pozorovatel je mimo tuto soustavu, jeví se mu rovina kyvu stálá (přesněji vzato je stálá vzhledem ke hvězdám).

Jeden ze základních fyzikálních pokusů si v malém můžeme provést na demonstračním stole v učebně. Na talíř gramofonu umístíme oblouk, v jehož nejvyšším bodě zavěšíme matematické kyvadlo (obr. 2). Na pevnou část gramofonu upevníme dvě svislé tyčky tak, aby jejich rovina procházela středem otáčení gramofonového talíře. Před začátkem pokusu kyvadlo



Jean Bernard Léon Foucault
(1819–1868)



Obr. 1 Foucaultovo kyvadlo v pařížském Panthéonu – dnešní stav (závěs kyvadla je zvýrazněn)



Obr. 2 Foucaultův pokus v malém – s využitím gramofonu

vychýlíme a nití upevníme k jedné z tyček. Rozkýveme je tak, že nit přepálíme a potom spustíme motor gramofonu. Jakožto pozorovatelé mimo rotující soustavu, můžeme vidět, že kyvadlo se pohybuje stále ve stejné rovině (k orientaci nám slouží právě ty dvě tyčky).

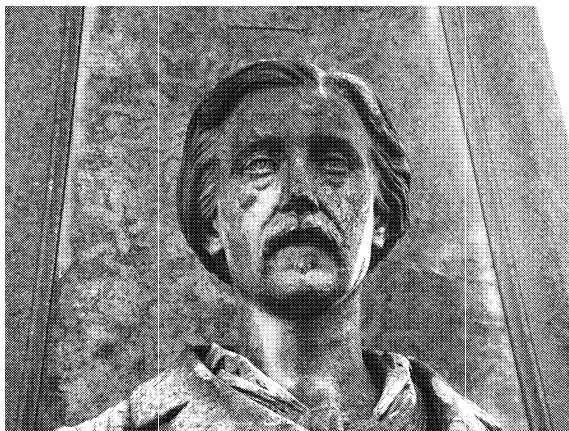
Je také vhodné ukázat žákům, jak by se kývání kyvadla jevílo pozorovateli pevně spojenému s rotující soustavou. Tak by to totiž vnímal každý návštěvník Panthéonu nebo jiného v místě, kde Foucaultovo kyvadlo ukazují. Velmi dlouhé kyvadlo je např. v chrámu sv. Isaaca v Sankt Petěrburgu.

Na talíř gramofonu umístíme tmavý kruh a necháme na něm kyvadlo „psát“ svoji trajektorii. Záznam pohybu kyvadla na kruhu lze provést například sypáním dětské krupičky z kornoutku na konci závěsu.

Žáci, kteří již o Foucaultově kyvadle slyšeli, obvykle tvrdí, že rovina kyvu by se otočila o 360° za 24 hodin, pokud by se kyvadlo tak dlouho kývalo. Není tomu tak. Uvedený čas by platil pouze pro pokus na zemském pólu. Tam by se skutečně Země jednou otočila za den a rovina kyvu by

procházela výchozí polohou. Obecně je ale úhel otočení roviny kyvadla dán vztahem $\alpha = \omega t \sin \varphi$, kde ω je úhlová rychlost otáčení Země, t čas a φ zeměpisná šířka místa. Pro $\alpha = 360^\circ$ a zeměpisnou šířku Panthéonu $\varphi = 48,5^\circ$ vychází čas t 32 hodin. Tedy panthéonské kyvadlo by kývalo pro pozorovatele stojícího na tamní dlažbě za 32 hodin stejně jako na počátku. Na rovníku by k efektu zdánlivého otáčení roviny kyvu nedošlo.

První pokus – ne však tak impozantní jako Foucaultův – byl proveden již roku 1661 na *Accademii del Cimento* ve Florencii. Ještě roku 1833 děj provedl a obdivoval *Bartolini* v Rimini, ale tehdy nikdo nevěděl, co s tím. Teprve Foucault pokus náležitě vysvětlil. Jeho autor za něj dostal od anglické *Royal Society* Copleyovu medaili



Obr. 3 Busta na Foucaultově hrobě na montmartsrském hřbitově v Paříži

Foucault by roku 1862 jmenován členem pařížské kanceláře délek *Bureau des longitudes* a roku 1864 se stal zahraničním členem londýnské *Royal Society*. Je pohřben na Cimetière de Montmartre v Paříži (obr. 3).