

Fundamentální experimenty ve fyzice

BOBUMIL VYBÍRAL

Pedagogická fakulta Univerzity Hradec Králové

V rámci doktorského studijního programu *Specializace v pedagogice*, obor *Teorie vzdělávání ve fyzice*, realizovaného od r. 2004 na Univerzitě Hradec Králové, jsme zavedli povinný kurz *Fundamentální experimenty ve fyzice*. V předložené stati jsou základní obrysy obsahové náplně tohoto kurzu. Jsme přesvědčení, že toto téma může zajímat širší učitelskou veřejnost, neboť obrací pozornost k samým kořenům fyziky.

1. Fyzikální experiment

Experiment měl (a stále má) rozhodující význam pro rozvoj fyziky jako přírodní vědy, která vytváří a zdokonaluje fyzikální obraz světa. Fyzikální experiment, jako vědeckou metodu zkoumání přírody, přinesla v 15. až 16. století až renesance. Je sice pravda, že někteří starověcí badatelé, zejména starořeční filozofové, dokázali při vytváření teorií zobecňovat některé poznatky z pozorování, avšak jejich přístupy byly často velmi zatíženy spekulacemi. Např. Aristoteles odmítal experiment připravený badatelem jako nepřipustné zasahování člověka do pozorovaného jevu.

Pravidla nového vědního přístupu k budování fyzikálního obrazu světa stanovil až italský renesanční vědec *Galileo Galilei* (1564 – 1642):

- Vytvořit hypotézu na základě dosavadní zkušenosti, intuice a popř. vrozených pravd.
- Ověřit hypotézu smyslovou zkušeností nebo experimentem.
- Provést dedukci hypotézy na jevy dosud neznámé.

Tak byl do přírodovědy zaveden experiment jako prostředek poznávání přírodních jevů a současně jako specifická metoda praxe.

Jak můžeme charakterizovat *fyzikální experiment* podle současných hledisek? Je to vědecká metoda, při níž se uměle (tj. za účasti badatele) navodí děj s předem stanovenými podmínkami tak, aby jej bylo možné za stejných podmínek opakovat. Při probíhající experimentu objektivně sledujeme měření pomocí přístrojů vzájemnou závislost fyzikálních veličin za působení co nejmenšího počtu rušivých jevů. Získané výsledky zobecňujeme do formy fyzikálního zákona (zpravidla popsaného matematickým modelem), přičemž jeho správnost ověřujeme dalšími experimenty. U reálně probíhajícího experimentu, který má být východiskem k vytvoření dobrých kvantitativních modelů fyzikálních jevů, má zásadní význam měření fyzikálních veličin. Měření veličin opakujeme a statisticky vyhodnocujeme, abychom mohli určit přesnost měření.

Experimenty, které slouží k budování fyzikálního obrazu světa (můžeme je zjednodušeně označit jako *vědecké experimenty*), členíme do dvou skupin:

- *heuristické* (objevné) – kdy účelem je nalézt dosud neznámou zákonitost,
- *verifikační* (ověřovací) – kdy účelem je ověřit platnost zákona, který byl získán deduktivním teoretickým postupem, anebo ověřit meze platnosti zákona pro jiné podmínky.

Na toto členění se můžeme dívat jednak z hlediska historického vývoje poznání, jednak z hlediska současného budování fyzikálního obrazu světa. V důsledku nalezených souvislostí mezi jednotlivými jevy nebo jejich skupinami, podnícených rozvojem fyzikální teorie i její aplikace, tak experimenty původně heuristické přecházejí do skupiny experimentů verifikačních. Blíže se tomuto hodnocení experimentů budeme věnovat v oddílech 2 a 3 tohoto článku. Fyzikální experimenty, které mají stěžejní význam pro budování fyzikálního obrazu světa (a to jak z hlediska historického anebo současného) budeme v této stati označovat jako *experimenty fundamentální*. Těmito fundamentálními (resp. základními) experimenty přitom mohou být jak významné experimenty heuristické, tak i experimenty verifikační, pokud ověřují např. hypotézu, která má zásadní význam pro budování určité fyzikální teorie anebo oprávněnost teoretických dedukcí.

Vědecké experimenty může z jiného hlediska členit na

- *reálné* – kdy sledujeme reálně probíhající fyzikální děje a měříme je reálnými přístroji v reálném čase,
- *myšlenkové* – kdy se myšlenkově navodí podmínky a postup možného experimentu a jeho očekávané výsledky se neměří, avšak deduktivně

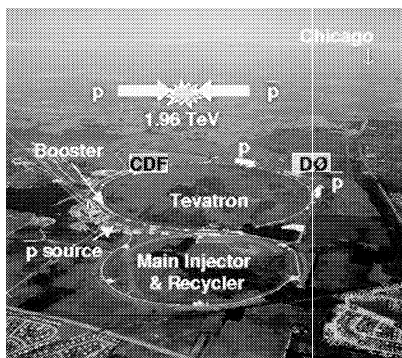
se odvozují ze známých zákonů za idealizovaných podmínek. Jeho znakem je, že probíhá jen v podobě úvah a logických soudů a přináší nové poznatky bez ohledu na to, zda takový experiment je skutečně realizovatelný,

- *počítačové* – kdy jde o matematickou simulaci možných jevů postavenou na aplikaci známých zákonů (tj. matematických modelů jevů).

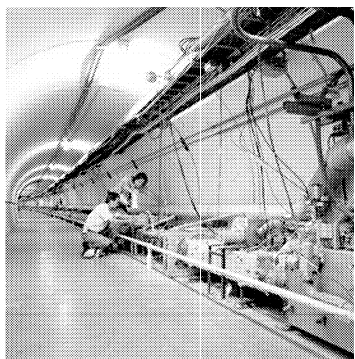
Myšlenkové a počítačové experimenty ve skutečnosti fyzikálními experimenty v pravém slova smyslu nejsou – reálné experimenty jimi nelze zcela nahradit. Jde o vědecké metody vytváření fyzikálního obrazu světa, kdy se experimenty jen simulují podle dosavadních poznatků, avšak za často extrémních podmínek. Lze jen očekávat, že skutečné děje by podle nich pravděpodobně probíhaly. Tyto „experimenty“ však podstatně usnadňují poznávání ve velmi složitých a mezních situacích, neboť dospívají k výsledkům, které bychom reálnými experimenty získávali velmi obtížně, a to jak z hlediska časového, tak z hlediska ekonomické náročnosti. Metodu myšlenkového experimentu rozpracoval již G. Galilei, avšak jako metodu jej často užíval zejména A. Einstein (1879 – 1955) při budování teorie relativity (simuloval jimi děje při rychlostech blízkých rychlosti světla a děje ve velmi intenzivních gravitačních polích). Počítačovým experimentem lze dobře simulovat jednak děje reálně probíhající velmi rychle (např. ve fyzice elementárních částic lze sledovat přeměnu částic při vzájemné interakci), jednak děje naopak velmi pomalé (např. v astrofyzice srážku dvou galaxií). Dobře se osvědčují také u dějů s velkým počtem proměnných vstupních parametrů (např. u dějů v zemské atmosféře – modely vývoje počasí).

S rozvojem poznání se zvětšuje i složitost a dostupnost mnohých současných reálných experimentů. Příznačné je to zejména v oblastech nedosažitelných přímému lidskému pozorování, tedy jak v mikrosvětě, tak v megasvětě. Např. k nejnáročnějším experimentálním úkolům současné fyziky patří dobudování standardního modelu mikrosvěta (viz např. současné extrémní experimentální úsilí při hledání Higgsonova bosonu, které vyžaduje stavbu urychlovačů o energiích až 7 TeV). Současným největším urychlovačem je *TEVATRON* (obr. 1), jehož hlavní urychlovací prstenec (obr. 2) má obvod o délce 6,3 km. Poskytuje srážky protiběžných svazků protonů a antiprotonů o energii až 1960 GeV.

Podobné náročné experimenty mají dokázat existenci gravitačních vln podle Einsteinovy obecné teorie relativity. K tomu se budují se detektory extrémních rozměrů řádu 10^3 m (viz např. obr. 3), aby se konečně podařilo zachytit gravitační vlny. S tím je spojena odpovídající finanční náročnost.

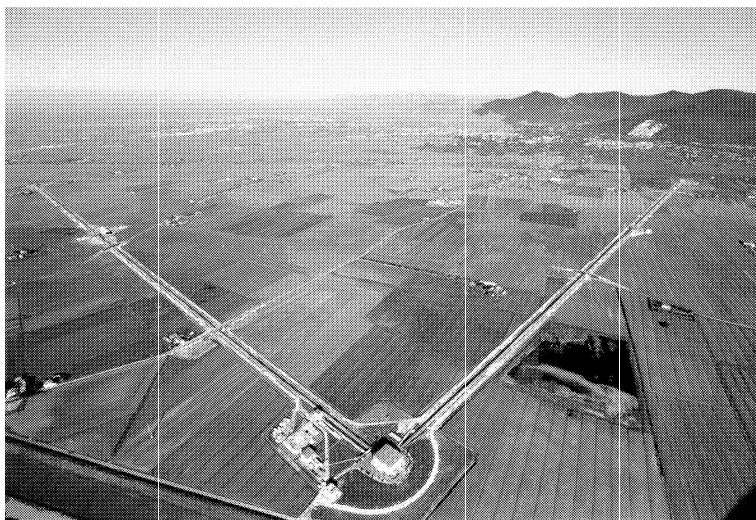


Obr. 1 Dispozice urychlovače
TEVATRON v USA



Obr. 2 Vnitřek urychlovací
trubice

U těchto grandiózních experimentů, na nichž často pracuje i tisíce vědců a asistentů, se již zpravidla vytrácí někdejší romantika fyzikálního bádání, která je známa z historie starší než 75 let, kdy u určitého experimentu dominovala osoba jednoho vědce (viz např. obr. 4) a u něj nanejvýš malá skupina asistentů.



Obr. 3 Italský laserový interferometr *VIRGO* (Pisa, 2003), délka každého z ramen je 3 km



Obr. 4 Otto v. Guericke experimentuje r. 1672 s třecím „elektrickým strojem“

2. Fundamentální experimenty z hlediska historického vývoje fyziky

Východiskem každé relevantní fyzikální teorie musí být pozorování přírodních jevů anebo provedení reálného experimentu. Cesty fyzikálního poznávání nebývají však přímé, jak je zřejmé z historie fyziky. Fyzikové často museli provést řadu dílčích pozorování a experimentů než mohli v uvažované oblasti provést jeden experiment fundamentální. Někdy můžeme provést hodnocení, zda ten či jiný experiment je v dané oblasti fundamentální, až s časovým odstupem. Nyní naznačíme hodnocení vývoje jen několika fyzikálních oborů z hlediska experimentálních východisek.

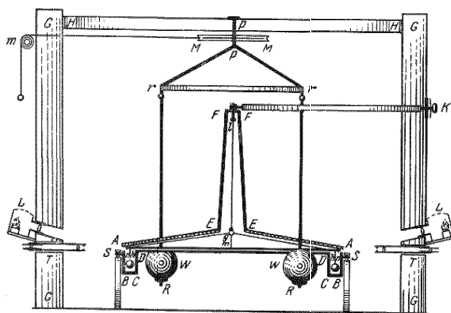
Klasická mechanika

Základy mechaniky (zejména statiky), založené na zkušenostech a pozorování, zasahují daleko do starověku. Teprve však obrození pohledu na přírodu, které v 16. století přinesla renesance, způsobilo její rozvoj. V tomto období bylo vykonáno velké množství pozorování a experimentů – připomeňme si jména některých badatelů: L. da Vinci, G. B. Benedetti, G. Galilei, V. Viviani, G. A. Borelli, R. Hooke, M. Marci, Ch. Huygens. Význam experimentu v období renesance dokumentuje i skutečnost, že r. 1657 byla ve Florencii založena Akademie experimentu (i když působila jen 10 let). Tím byla vytvořena východiska pro vznik syntetizujícího díla *Philosophiae naturalis principia mathematica* vydaného r. 1687 Isaacem Newtonem (1643 – 1727). Dílo navíc obohacovalo vědu o původní matematickou metodu – diferenciální a integrální počet. Téměř žádný z experimentů z mechaniky, který předcházel tomuto Newtonovu dílu, nelze

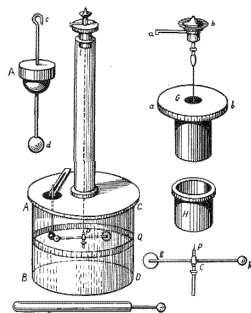
označit za fundamentální – snad s výjimkou Galileiových pokusů s volným pádem a pohybem po nakloněné rovině, které konal v Pise kolem r. 1590.

Klasická teorie gravitace

Za fundamentální pozorování (tedy ne přímo experiment) lze považovat pozorování proměnného postavení planet, které ke konci 16. stol. prováděl T. Brahe a analyzoval je J. Kepler. To jej přivádí r. 1609 (v Praze) a r. 1619 k formulaci tří zákonů nesoucích jeho jméno. Z nich pak I. Newton provedl zobecnění na zákon všeobecné gravitace (publikoval jej r. 1687). Newton sám také provádí jeho verifikaci analýzou výsledků pozorování pohybu Měsíce a čtyř největších měsíců Jupitera. Fundamentální verifikační experiment však mohl realizovat až r. 1798 H. Cavendish pomocí torzních vah (obr. 5). Tento experiment nejen potvrdil platnost zákona, ale umožnil i první měření gravitační konstanty (dokonce s přesností 1 %), kterou Newton nemohl určit pro neznalost hmotnosti těles sluneční soustavy.



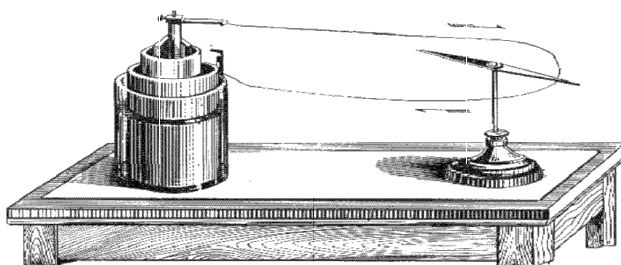
Obr. 5 Cavendishovy torzní váhy (1798) – originální schéma fundamentálního experimentu



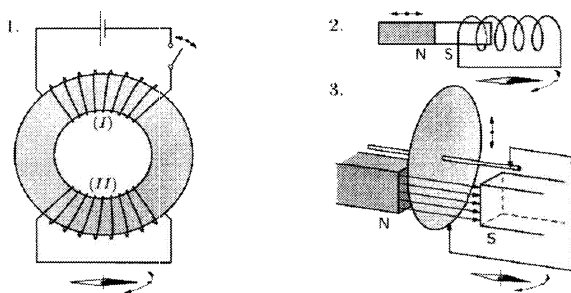
Obr. 6 Coulombovy torzní váhy (1785) – originální schéma fundamentálního experimentu

Klasická teorie elektromagnetického pole

Až do konce 18. stol. byly známy některé jevy z elektřiny a magnetismu pouze kvalitativně, a to bez vzájemné souvislosti. Teprve r. 1785 provedl A. Coulomb (1736 – 1806) fundamentální experiment, při němž měřil elektrostatické síly na torzních vahách (obr. 6), který mu umožnil formulovat základní zákon elektrostatiky. K tomu r. 1784 vytvořil významnou teorii torzních vah včetně teorie krutu tyče kruhového průřezu. Poté přichází r. 1820 H. Ch. Oersted s jednoduchým heuristickým experimentem



Obr. 7 Originální náčrt Oerstedova fundamentálního experimentu (1820)



Obr. 8 Schéma fundamentálních Faradayových pokusů s elektromagnetickou indukcí (1831)

(obr. 7), kterým pomocí přímého drátu a magnetky objevuje, že průchodem elektrického proudu vzniká magnetické pole.

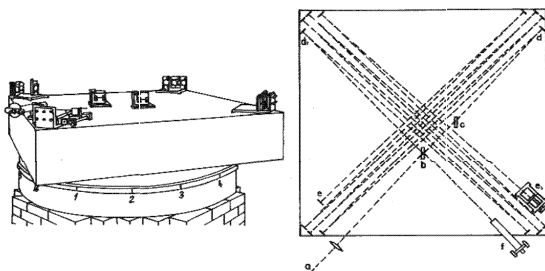
Zásadou J. B. Biota, F. Savarta a P. S. Laplacea byl poté r. 1821 formulován druhý pilíř budoucí teorie elektromagnetického pole – zákon nesoucí jméno těchto fyziků. Třetí zákon teorie o silovém působení magnetického pole na proudový element formuluje M. Ampère (1775 – 1836) na základě svého fundamentálního experimentu z r. 1826. Tyto tři zákony v podstatě stačí k vybudování klasické elektrodynamiky a lze pomocí nich odvodit (po jistém zobecnění) i zákon elektromagnetické indukce. K němu však r. 1831 dospívá po sedmiletém experimentování M. Faraday (1791 – 1879) (obr. 8).

Poté teprve r. 1864 mohl přijít J. C. Maxwell (1831 – 1879) se slavnou syntézou poznatků, provést zobecnění (k tomu mj. intuitivně zavést posuvný proud) a formulovat soustavu diferenciálních rovnic elektromagnetického pole. Z nich Maxwell teoretickým postupem dospívá k poznatku,

že nově objevená entita – elektromagnetické pole – se šíří ve formě transversálních elektromagnetických vln rychlostí stejnou jako světlo a že na rozhraní dvou prostředí se stejně jako světlo chová. Fundamentální experimenty, které verifikují tyto poznatky, provedl r. 1887 H. Hertz (až 8 roků po Maxwellově smrti).

Speciální teorie relativity

Maxwellova teorie šíření elektromagnetických vln měla jeden nedostatek – Maxwell přijal Youngovu hypotézu z r. 1801, že k šíření světla (a tudíž i elektromagnetických vln) je zapotřebí jakéhosi prostředí, které bylo nazváno *éter*. Jeho experimentální hledání přivedlo fyziku poslední čtvrtiny 19. stol. do vleklé krize. Mezi třemi hypotézami o éteru měl nakonec rozhodnout fundamentální Michelsonův-Morleyův experiment z let 1881 a 1887 (obr. 9). Nerozhodl a problém nakonec vyústil k postulátu, formulovaného A. Einsteinem (1879 – 1955), že rychlost světla ve vakuu je univerzální fyzikální konstanta (tj., že je stejná ve všech inerciálních vztažných soustavách bez ohledu na jejich vzájemnou rychlost). To jej r. 1905 přivedlo k vypracování speciální teorie relativity. Přijmeme-li požadavek kovariantnosti Maxwellových rovnic ve všech inerciálních vztažných soustavách a vztáhneme-li souřadnice prostoru a času relativně ke každé vztažné soustavě, můžeme dostat speciální teorii relativity přímo z Maxwellovy teorie. Všechny teoretické důsledky speciální teorie relativity byly přímo nebo nepřímo experimentálně verifikovány. Dokonce závislost hmotnosti elektronu na jeho rychlosti v inerciální vztažné byla kvalitativně zjištěna již před vypracování teorie relativity – viz Kaufmannův experiment z r. 1901.



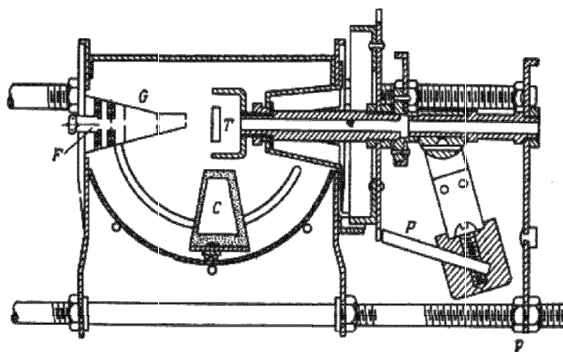
Obr. 9 Uspořádání fundamentálního Michelsonova-Morleyova experimentu z roku 1887

Obecná teorie relativity – teorie gravitace

Zajímavé je, že tento obor má hluboké experimentální kořeny již v 17. stol. – G. Galilei a I. Newton hledali vztah mezi hmotností setrvačnou (m_s) a gravitační (m_g). Galilei (~ 1590) zjistil, že všechna (těžká) tělesa, která pouštěl z pisánské šikmé věže, padají (přibližně) se stejným zrychlením $a = g$. Newton (1687) pomocí kmitů klasických kyvadel s přesností 0,1 % změřil, že platí $m_s = m_g$. Bessel (1827) k experimentu použil kmitů torzního kyvadla a přesnost zvýšil na $2 \cdot 10^{-5}$. Rozhodující fundamentální experimenty na statických torzních vahách v opakovaně letech 1890 – 1909 konal R. Eötvös (1848 – 1919), přičemž dosáhl obdivuhodné přesnosti postupně až $3 \cdot 10^{-9}$. Eötvösovu metodu ještě vylepšila americká skupina Dicke, Roll, Krotkov (1963), přičemž dosáhla přesnosti $1 \cdot 10^{-11}$ a Rusové Braginskij, Panov (1971), kteří rovnost $m_s = m_g$ vyhodnotili s přesností $9 \cdot 10^{-13}$. Výsledky přesných Eötvösových experimentů vedly Einsteina k úvaze, že rovnost $m_s = m_g$ nemůže být náhodná a dospěl k názoru, že musí jít o identitu. Na základě známého myšlenkového experimentu se zdvihl vyslovil princip ekvivalence setrvačných a gravitačních sil, který je jedním z obecných principů relativity. Obecnou teorii relativity Einstein budoval v letech 1907 – 1915.

Kvantová fyzika

Experimentální kořeny kvantové fyziky můžeme nalézt na konci 19. stol. při formulování zákonů záření černého tělesa. Šlo tehdy o meze platnosti dvou zákonů rozdělení energie formulované na základě experimentů: *Rayleighův-Jeansův zákon* se osvědčoval pro záření nízkých frekvencí, resp. velkých vlnových délek, kdežto naopak *Wienův zákon* pro oblast nízkých frekvencí a vlnových délek v oblasti viditelného a ultrafialového světla. Jak známo, oba zákony se podařilo r. 1900 propojit M. Planckovi (1859 – 1947) při užití hypotézy o emisi a absorpci zářivé energie v kvantech ($\lambda = h\nu$). Planck tomuto kvantu nepřisuzoval nějakého nositele. Foton do fyziky zavedl až r. 1905 Einstein při výkladu fotoelektrického jevu experimentálně objeveného již r. 1887 H. Hertzem. K významným experimentálním oporám nejen kvantové, ale i relativistické fyziky patří Comptonův jev z r. 1922. Vlnové vlastnosti elektronu byly poprvé pozorovány v letech 1921 – 1923 C. J. Davissonem a Kunsmanem při rozptylu elektronů na tenkých kovových foliích. Jejich experiment je možné považovat za fundamentální pro *kvantovou mechaniku* (resp. dříve označovanou jako vlnovou mechaniku), jelikož inspiroval r. 1924 L. de Brogliho k vyslovení hypotézy



Obr. 10 Schéma přístroje pro fundamentální verifikační experiment kvantové fyziky z r. 1927

o materiálních (de Brogliho) vlnách. Příslušný verifikační pokus provedl r. 1927 Davisson s Vernerem, když optickou Braggovou metodou zkoumal rozptyl elektronového svazku na monokrystalu niklu (obr. 10).

Atomová a jaderná fyzika

Celá nauka o stavbě atomu a jeho jádra důsledně vychází z experimentálních poznatků. Původní experimentální základ poskytovala chemie (zejména elektrochemie). K fundamentálním fyzikálním experimentům v atomistice patří výzkum katodových paprsků, který r. 1897 vedl k objevu elektronu J. J. Thomsonem. Dalším fundamentální experiment provedl r. 1911 E. Rutherford, když pomocí rozptylu částic alfa po jejich průchodu tenkou kovovou fólií, objevil jádro atomu. Metodu přímého měření náboje elektronu pomocí olejové kapky navrhl r. 1907 A. Ehrenhaft a r. 1913 experiment úspěšně uskutečnil R. A. Millikan. K význačným fundamentálním experimentům tohoto období patří i experiment uskutečněný v letech 1913 – 1914 J. Franckem a G. Hertzem, kteří měřením ionizačních potenciálů plynů verifikovali kvantovou strukturu atomu navrženou r. 1913 N. Bohrem. Ke stěžejním mezníkům budování modelu jádra atomu patří i experimentální důkaz existence neutronu, který na základě série relativně jednoduchých pokusů s ionizační komorou r. 1932 podal J. Chadwick. Experimenty, které vedly k objevu štěpení jádra při jeho ostřelování neutrony, jsou spojeny se jmény I. Curieová, F. Joliot a E. Fermi (1934) a zejména se jmény O. Hahn a L. Meitnerová (1938 – 1939).

3. Fundamentální experimenty z hlediska současného fyzikálního obrazu světa

Sledování historických cest poznání člověka při budování fyzikálního obrazu světa (v našem případě jeho experimentálních východisek) je sice velmi zajímavé a poučné, avšak často málo přehledné. Proto při vytváření současného obrazu světa (např. v souborných učebnicích fyziky a ve vlastní výuce) je vhodné začínat fundamentálním heuristickým experimentem jen v místě, které tvoří východisko pro současnou teorii. Popis (resp. provedení) verifikačního experimentu zařazovat až do místa, kde se má ověřit výsledek dosažený teoreticky. Na fyzice je krásné to, že dlouhodobým vývojem nalezla řadu souvislostí mezi jevy dříve při pohledu pozorovatele spolu nesouvisejícími. Tak mohou původně fundamentální heuristické experimenty přecházet do kategorie experimentů verifikačních. Nicméně je vždy cenné upozornit např. formou poznámek na historické souvislosti, aby bylo zřejmé, jak příroda často velmi nerada odhaluje svá tajemství.

Na dokreslení této skutečnosti si zkratkovitě naznačíme možný pohled na strukturu vybudování teorie elektromagnetického pole s využitím výsledků speciální teorie relativity (tu lze předtím vybudovat na základě přijetí speciálního principu relativity a postulátu o rychlosti světla ve vakuu jako univerzální fyzikální konstanty). Pak na základě fundamentálního experimentu lze přijmout Coulombovův zákon pro elektrostatickou sílu mezi dvěma bodovými částicemi, jehož platnost je však nutné rozšířit pro případ, kdy se jedna (testovací) částice bude v pozorovací soustavě pohybovat (tuto skutečnost lze podložit např. experimentem J. G. Kinga z r. 1960 o nezávislosti náboje na jeho rychlosti v pozorovací inerciální soustavě, kterou dokázal s relativní chybou jen $1 \cdot 10^{-20}$). Pak můžeme provést jednoduchou relativistickou transformaci Coulombovy síly pro případ, kdy i druhá (zdrojová) částice bude v setrvačném pohybu. Poté můžeme již jednoduchým postupem (viz např. [18], s. 36) dostat Biotův-Savartův-Laplaceův zákon a Ampérův zákon, které klasická teorie elektromagnetického pole považovala za ryze experimentální. Jejich správnost dokážeme verifikačními experimenty, stejně tak zákon elektromagnetické indukce, který lze z nich odvodit a zobecnit již teoretickým postupem.

4. Význam experimentu při výuce fyziky

Reálný experiment má důležité postavení rovněž při výuce fyziky na školách všech stupňů. Zařazení experimentu do výuky není však jednoduché a klade nároky na čas, zkušenosti demonstrátora, na vybavení kabinetu

demonstračními pomůckami i na vůli učitele výklad při výuce experimentem obohatit. Zajímavé je, že experimenty při fyzikálním výkladu prováděl již Prokop Diviš (1698 – 1765) v polovině 18. stol. To bylo tehdy zcela neobvyklé, což kladně hodnotil již r. 1777 F. M. Pelcl ([22], s. 19).

K roli učitele fyziky při experimentování se výstižně vyjádřil r. 1935 prof. Dr. Josef Zahradníček, nestor moravských experimentálních fyziků a didaktiků, který v letech 1929 – 1953 působil na Masarykově univerzitě v Brně [21]: „Fyzikální přednáška po experimentální stránce má být uměleckým dílem. Učitelovo vědění samo o sobě přispěje zpravidla jen málo k poznání žáků, ale pokus dobře připravený a do nejmenších podrobností promyšlený, pokus zdařilý je pro pozorného posluchače všim. Učitel fyziky má být do jisté míry umělcem rukou, vynálezcem, který dovede třeba z nejjednodušších prostředků sestavit výmluvný pokus. Jen pokus dobře vyzkoušený, jen pokus, který nikdy neselže, jen pokus, k jehož přípravě a provedení je vynaložen přiměřený čas, jen pokus jež lze vykonat přístrojem přiměřené ceny, jen pokus přiměřený věku a rozumové vyspělosti žáka, jen takový pokus má cenu ve školním vyučování a přináší žádané ovoce. Jako není fyzikou fyzika bez experimentů, tak chybný by byl i druhý extrém: příliš mnoho experimentů. Jen tolik pokusů nechť je v hodině fyziky provedeno, kolik jich může být průměrně nadaným žákem duševně zpracováno, jinak se stává hodina fyziky představením cirkusovým.“*)

V dnešní době, kdy se při výuce potýkáme s časovou tísní, předimenzování výuky experimenty jistě nehrozí. Řada učitelů přesto přemýšlí jak výuku oživit vhodným experimentem a získat tak žáka pro fyziku, jak zvýšit jeho motivaci (např. [13], [14]), jak provádět pokusy netradičně (např. [3]), i jednoduše a případně i v domácích podmínkách (např. [1]), anebo naopak zcela moderně s využitím počítačů (např. [9]). Velmi cenná je zejména *heuristická forma* výuky – umět navodit situace, aby žák určité poznatky s využitím experimentu sám pro sebe objevoval (např. [6]). Významné jsou zejména *tvůrčí experimentální úlohy* (např. [17]), u kterých se požaduje, aby student nejen něco naměřil, avšak aby vymyslel i me-

*) V současnosti, kdy je třeba zvyšovat upadající zájem o fyziku, se lze ve světě setkat i s pořádáním fyzikálních demonstračních představení (dalo by se říci „fyzikálních show“). Jednoho takového show jsme v r. 1995 byli svědky na *University of Canberra* v Austrálii, uspořádaného pro účastníky XXVI. Mezinárodní fyzikální olympiády. Prof. Malcolm Longair z *University of Cambridge* připravil 90 minutové vystoupení, při němž názorně vysvětlil a pomocí dostatečně rozměrných přístrojů předvedl měření základních fyzikálních konstant: e , e/m_e , h , G , c (s přesností na 2 – 3 čísla). Poté uspořádal turné se stejným programem po všech australských univerzitách.

todu. Takové úlohy se často zařazují do fyzikálních soutěží, především do Fyzikální olympiády. Zde se ukazuje, že i ti nejlepší studenti nejsou na experimentování dobře připravení – chybí jim zručnost i zkušenosti. Zvlášť zajímavé tvůrčí experimentální úlohy se objevují v posledních ročnících Mezinárodních fyzikálních olympiád (viz [15]), které mají formu téměř vědecko-výzkumných úkolů.

Literatura

- [1] *Drozd, Z.*: Pokusy z volné ruky. In: DIDFYZ 2002. Fakulta přírodních věd UKF, Nitra 2003, s. 247, ISBN: 80-8050-581-0.
- [2] *Eckertová, L.*: Cesty poznávání ve fyzice. Praha: Prometheus 2004, 196 s. ISBN 80-7196-293-7.
- [3] *Gál, T.*: Netradičné pokusy z molekulovej fyziky na strednej škole. In: DIDFYZ '98. Fakulta prírodných vied UKF, Nitra 1999, s. 199, ISBN: 80-8050-201-3.
- [4] *Hajko, V. ad al.*: Fyzika v experimentoch. Bratislava: Veda, 1988, 428 s.
- [5] *Chramov, Ju. A.*: Biografija fiziki. Kijev: Technika, 1983, 342 s.
- [6] *Koudelková, I.*: Projekt Heuréka – heuristická výuka fyziky nejen na ZŠ. In: DIDFYZ 2002. Fakulta přírodních věd UKF, Nitra 2003, s. 285, ISBN: 80-8050-581-0.
- [7] *Kudrjavcev, P. S.*: Kurs istorii fiziki. Moskva: Prosvěščenije, 1982. 448 s.
- [8] *Lipson, H.*: The Great Experiments in Physics. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1972, 216 s.
- [9] *Lustig, F. – Rojko M.*: Fyzikální experimenty podporované počítačem. In: DIDFYZ '98. Fakulta přírodních věd UKF, Nitra 1999, s. 165, ISBN: 80-8050-201-3.
- [10] *Malíšek, V.*: Co víte o dějinách fyziky. Praha: Horizont, 1986, 271 s.
- [11] *Morvay, L.*: Demonstračné pokusy s modernými elektronickými prístrojmi. In: DIDFYZ '98. Fakulta prírodných vied UKF, Nitra 1999, s. 185, ISBN: 80-8050-201-3.
- [12] *Pfefferová, M.*: Virtuálne laboratórium vo vyučovaní fyziky. In: DIDFYZ 2002. Fakulta prírodných vied UKF, Nitra 2003, s. 133, ISBN: 80-8050-581-0.
- [13] *Teplanová, K.*: Komenského divadlo jako neformálna vzdelavacia metóda na podporu výučby fyziky. In: DIDFYZ 2002. Fakulta prírodných vied UKF, Nitra 2003, s. 231, ISBN: 80-8050-581-0.
- [14] *Trnová, E.*: Vývoj prírodovedných experimentálnych dovedností žiakov základných a stredných škôl. In: DIDFYZ 2002. Fakulta prírodných vied UKF, Nitra 2003, s. 169, ISBN: 80-8050-581-0.
- [15] *Volf, I. – Vybíral, B.*: Fyzikální věda v úlohách fyzikální olympiády. Čs. čas. Fyz. 52 (2002), s. 51, ISSN: 0009-0700.
- [16] *Vybíral, B.*: K problematice setrvačné a gravitační hmotnosti. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie 19 (1974), s. 270.
- [17] *Vybíral, B.*: Za tvůrčí experimentální úlohy ve fyzice. In: DIDFYZ 2000. Fakulta přírodních věd UKF, Nitra 2001, s. 97, ISBN: 80-8050-387-7.
- [18] *Vybíral, B.*: Magnetické pole ve vakuu. Knihovnička fyzikální olympiády č. 42. Hradec Králové, MAFY, 2000, 76 s., ISBN: 80-86148-33-5.

- [19] *Vybíral, B.*: Fyzikální poznávání světa a vzdělávání ve fyzice. In: XXII. mezinárodní kolokvium o řízení osvojovacího procesu. Sborník elektronických verzí příspěvků. Vysoká vojenská škola pozemního vojska, Vyškov 2004, ISBN: 80-7231-116-6.
- [20] *Vybíral, B.*: Physical Cognition of World and Physics Education. In: New Trends in Physics – NTF 2004. Faculty of Electrical Engineering and Communication VUT, Brno 2004, s. 357, ISBN 80-7355-024-5.
- [21] *Zahradníček, J.*: Základní pokusy fyzikální. Brno: Masarykova universita, 1935, 175 s.
- [22] *Kolomý, R.*: Prokop Diviš. Praha: Prometheus, 2004, 48 s., ISBN: 80-7196-275-9.

Hydrostatický tlak a tabulkový procesor

(Využití počítačů v hodině fyziky)

VIKTOR ŠLECHTA – VLASTA VESELÁ

Sportovní gymnázium Dany a Emila Zátokových, Ostrava – Výškovice

Stálý problém didaktiky fyziky je otázka zjednodušení, zpřehlednění a zpřístupnění informací o světě kolem nás. Zařazování problémového vyučování spojeného s využitím multimediálních prostředků je vynikajícím motivačním faktorem při vzdělávání. Navozování prostředí řešení problému napomáhá zvyšování funkčnosti nabytých vědomostí. V tomto článku je popsán průběh jedné hodiny fyziky při výuce hydrostatického tlaku s využitím počítačové učebny v sekundě víceletého gymnázia.

Práce v popisované hodině navázala na základní informace o existenci a projevech hydrostatické tlakové síly a pokusy s trubicí zakrytou pružnou membránou ponořenou do vody, které byly frontálně provedeny v hodině předchozí.

Cílem hodiny je demonstrace závislosti hydrostatického tlaku na hloubce a hustotě kapaliny pomocí grafů v tabulkovém procesoru.

Hodina proběhla v počítačové učebně vybavené 14 PC zapojenými do sítě. (Využívá se pouze tabulkový procesor, proto na počítače z dnešního hlediska nejsou kladeny žádné zvláštní nároky.)

Výuky se zúčastnilo 28 ze 32 žáků celé třídy. V sekundě víceletého studia na našem gymnáziu se žáci dosud nesetkali s výukou informatiky, přesto většina z nich má s prací na počítači potřebné zkušenosti. Před začátkem hodiny bylo třeba zajistit dostatek židlí a rozdělit žáky do dvojic k počítačům. Každá skupinka dostala kartičku k zapisování výsledků zadaných úkolů. Do další hodiny si žáci pořídili kopie kartiček s výsledky splněných úkolů tak, aby si je všichni mohli vložit do sešitu. Zajistit kázeň žáků (nepouštění nežádoucích aplikací jako jsou hry nebo internetový prohlížeč) nebylo příliš problematické, žáci byli zaujati zadanými úkoly.

Pomůcky pro žáky: kromě počítačů a odpovídajícího software měli žáci k dispozici MFCH tabulky [2] a kartičku pro zápis výsledků. Jeden z dvojice dostal po skončení hodiny originál kartičky, druhý si pořídil kopii. Kartičku s výsledky žáci zakládají do sešitu.

Pomůcky pro učitele: zeměpisný atlas světa [7], Anatomie Země [1]. Tyto publikace jsou k dispozici i žákům.

Diagnostická část hodiny

Nejprve proběhlo opakování učiva z předchozí hodiny; jedna žákyně dobrovolně sama zopakovala poslední učivo (vysvětlení existence a projevu hydrostatické tlakové síly) a byla klasifikována výborně.

Motivační část hodiny

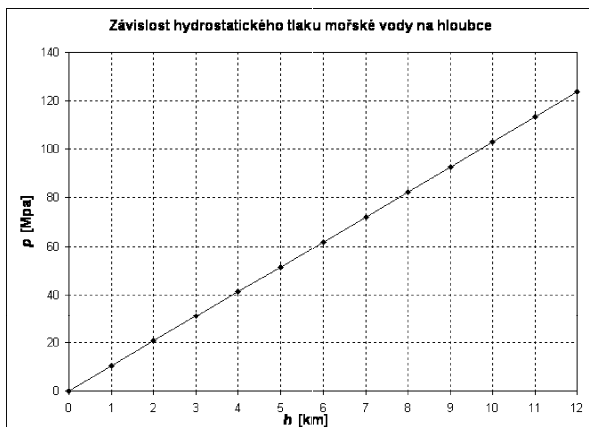
V návaznosti na zopakovanou látku žáci při společné diskusi řízené učitelkou přišli na to, že hydrostatická tlaková síla způsobuje tlak, jemuž jsou vystavena tělesa ponořená do kapaliny, a odhadovali na základě vlastních zkušeností při potápění a na základě pokusu z minulé hodiny, na kterých parametrech závisí hydrostatický tlak (hloubka, mořská voda, sladká voda, jiná kapalina). Hovořili o možnostech potápění pomocí ponorek do různých hloubek v mořích a oceánech [1]. Provedli úvahy o možnostech potápění do jezer tvořených kyselinou sírovou nebo etanolem například na Venuši nebo jiných planetách Sluneční soustavy. Zamýšleli se nad tím, z jakých materiálů by musely být ponorky pracující v takových podmínkách.

Příprava práce s počítači

Žáci podle pokynů otevřeli ze serveru soubor připravený v aplikaci MS Excel – grafy závislosti hydrostatického tlaku na hloubce a hustotě (viz obr. 1, 2). V této fázi došlo k určitému zdržení, ne všichni žáci dovedli otevřít soubor hladce bez problémů. Bylo také možné soubor načíst v úvodu hodiny nebo před ní, pak však hrozilo rozptýlení pozornosti žáků

při opakování učiva, proto byla zvolena varianta spuštění počítačů až před zahájením práce.

Po načtení souboru bylo nutno žákům vysvětlit, co je na monitoru zobrazeno a co naleznou v různých částech celé tabulky. Následovalo zadání úkolů pro práci s grafy.



Obr. 1 Graf závislosti hydrostatického tlaku mořské vody na hloubce (k úkolu č. 1)

Zadané úkoly

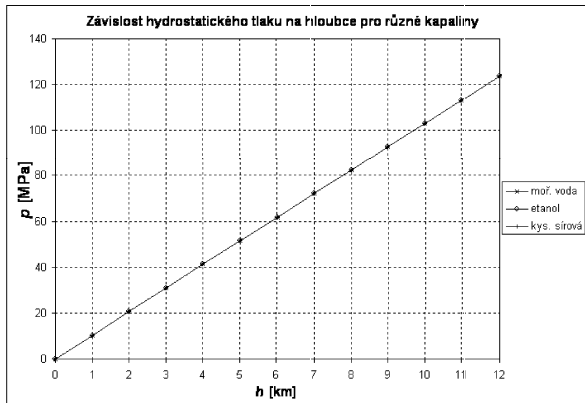
1. Z grafu (viz obr. 1) odečti hodnotu hydrostatického tlaku, kterému je vystavena ponorka na dně a) Středozemního moře; b) nejhlubšího norského fjordu; c) Mariánského příkopu. Hloubky společně vyhledejte v zeměpisném atlase [7].
2. Najdi v MFCH tabulkách hodnotu hustoty etanolu a kyseliny sírové, vepiš tyto hodnoty do příslušných buněk tabulky v Excelu. Pozoruj změnu grafu závislosti hydrostatického tlaku na hloubce (viz obr. 2, 3). Odečti z grafu, jakému hydrostatickému tlaku by byla vystavena ponorka na Venuši v moři kyseliny sírové (viz Motivační část hodiny) v hloubce odpovídající a) hloubce Středozemního moře; b) hloubce nejhlubšího norského fjordu; c) hloubce Mariánského příkopu.

Žáci řešili úkoly postupně, tři nejrychlejší skupinky se správným výsledkem zapsaným na kartičku získaly za každý dílčí úkol v hodině bod, za všechny tři dosažitelné body získali všichni žáci ve skupince jedničku za aktivitu.

Graf připravený pro úkol č. 2 je na obr. 2. V zobrazené tabulce je nesprávně zadaná stejná fiktivní hodnota hustoty pro tři různé kapaliny. V tomto případě hodnota hustoty mořské vody, ale hodnota může být libovolná. Všechny tři grafy jsou proto překryté a jeví se jako jedna přímka. Při zadání správných hodnot hustoty dochází k okamžité změně obrázku. Jde o jakýsi způsob animace. Žáci reagovali na tuto změnu velmi živě. V tomto článku je změna zobrazena na obr. 3. Vjem ze změny obrázku žákům pomůže zapamatovat si a pochopit tento fyzikální jev. Změnu měřítka žáci zaznamenali při odečtu hodnot hydrostatického tlaku pro dané hloubky.

hustota v kg/m^3

mořská voda	etanol	kysel. sírová
1 030	1 030	1 030

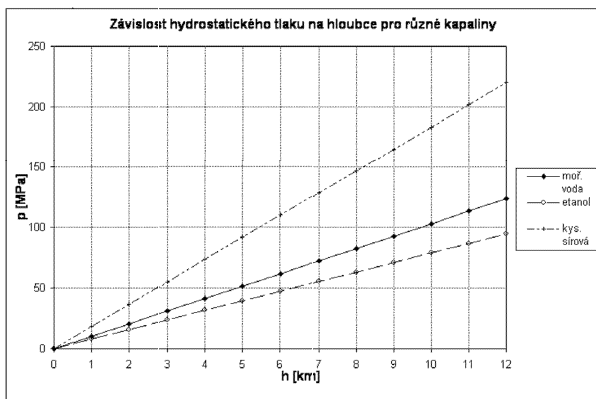


Obr. 2 Tabulka hodnot a graf závislosti hydrostatického tlaku na hloubce a hustotě s nesprávnými hodnotami hustoty před opravou žáky (k úkolu č. 2 pro žáky)

Žáci opravili hodnoty hustoty etanolu a kyseliny sírové podle MFCH tabulek a pozorují změnu grafu (obr. 3).

hustota v kg/m^3

mořská voda	etanol	kysel. sírová
1 030	789	1 834



Obr. 3 Tabulka hodnot a graf závislosti hydrostatického tlaku na hloubce a hustotě se správnými hodnotami hustoty po opravě žáky

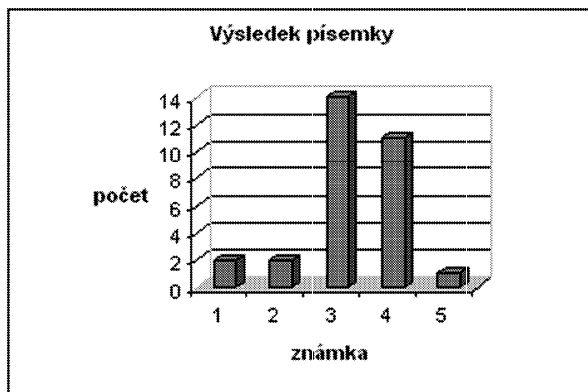
Závěr

V hodině bylo přítomno 28 z 32 žáků. Vzhledem k tomu, že v učebnicích, které mají žáci k dispozici [3], není problematika grafických závislostí uvedena, bylo třeba s chybějícími žáky učivo probrat individuálně.

V této konkrétní hodině se projevilo hlavně navození motivačního prostředí, které vedlo k velmi aktivnímu zapojení studentů při řešení daného problému. Žáci v hodině reagovali očekávaným způsobem, snadno se zapojili do diskuse a většina skupinek splnila zadané úlohy. Kartičky s odpověďmi byly na konci hodiny předloženy ke kontrole. Celkem bylo možno získat 8 bodů, většina skupinek tohoto počtu dosáhla, ve dvou dvojicích bylo o dva body méně a dvě dívky nedokázaly odpovědět na žádnou otázku. Vyhodnocení výsledků na kartičkách sloužilo učiteli jako pomocné hodnocení, ale zejména jako zpětná vazba pro kontrolu výsledků výuky.

Na závěr celé kapitoly týkající se mechaniky kapalin psali žáci písemnou práci, která obsahovala dvě úlohy na téma grafů závislosti hydrostatického

tlaku na hloubce a hustotě kapaliny, dvě slovní úlohy na výpočet velikosti hydrostatické a vztlakové síly a jednu tabulku na doplnění údajů hydraulických lisů. Výpočetní úlohy byly ze sbírky [4]. Výsledek závěrečné písemné práce je na obr. 4. Průměrná známka je 3,2. Tento nepříliš dobrý výsledek písemky byl ovlivněn špatným řešením výpočetních úloh. Úlohy týkající se práce s grafy většina žáků zvládla na plný počet bodů. Průměrná známka z fyziky za příslušné pololetí byla 2,6.



Obr. 4

Literatura

- [1] *Anatomie Země*. Praha: Albatros, 1995. ISBN 80-00-00181-0.
- [2] *Bělouň, F. a j.*: Tabulky pro základní školu. Praha: SPN, 1983.
- [3] *Bohuněk, J. a j.*: Fyzika 7 A. Praha: SPN, 1991. ISBN 80-04-24608-7.
- [4] *Bohuněk, J.*: Sběrka úloh z fyziky 2. díl. Praha: Promětheus, 1993. ISBN 80-85849-15-1.
- [5] *Jáchim, F., Tesař, J.*: Fyzika pro 7. ročník základní školy. Praha: SPN – Pedagogické nakladatelství a. s., 1999. ISBN 80-7235-116-8.
- [6] *Lustigová, Z.*: Fyzika pro 6. a 7. ročník základních škol a nižších ročníků víceletých gymnázií. Praha: Fortuna, 1998. ISBN 80-7168-512-7.
- [7] Školní atlas světa. Praha: Kartografie Praha, 2004. ISBN 80-7011-730-3.

Úlohy 47. ročníku fyzikální olympiády

Kategorie G – Archimédiáda

1. Závody v překážkovém běhu

- a) Sportovci někdy užívají pro běžecké tratě pro nás poněkud málo pochopitelné názvy: „čtvrťka“, „půlka“. Vysvětlete tyto názvy a porovnejte, jak se liší od dnešních tratí?
- b) Dříve se běhalo 100 m překážek a též 110 y překážek. Jak velký je v tom dráhový rozdíl? Jak se to projeví v celkovém čase, když sportovec uběhl 100 m překážek za dobu 12,5 s?

2. Přivalové deště

Velké parkoviště bylo postaveno jako vodorovná plocha, velmi mírně se svažující ke čtyřem odtokovým kanálům v jeho rozích. Rozměry parkoviště jsou 60 m × 200 m. Je celé ohraničeno obrubníky o výšce 12 cm. Při přivalovém dešti na něj napršelo 110 mm srážek, a tak na parkovišti vzniklo úplné „jezero“.

- a) Kolik litrů vody napršelo na 1 m²? Kolik na celé parkoviště?
- b) Odvodní kanály mají průřez každý 7,2 dm² a voda jimi může odtékat rychlostí 2,0 m/s. Jak dlouho bude odtékat voda z tohoto parkoviště?

3. Cyklista na silnici

Cyklista Josef jede po silnici stálou rychlostí 45 km/h. Jeho pohyb sledujeme na úseku délky 500 m, kdy jel touto rychlostí, potom se začne rovnoměrně zpomalovat, až se za 50 s zastaví.

- a) Načrtni graf rychlosti v závislosti na čase.
- b) Urči celou dobu i dráhu pohybu.
- c) Jaká je průměrná rychlost cyklisty po sledovanou dobu?
- d) Souběžně s Josefem vjede ve stejném okamžiku na stejnou trasu Mirek, který však po celou trasu jede rychlostí 7,5 m/s. Který z cyklistů projede trasu dříve a o jakou dobu?

4. Pokusy s knížkou

Některé knížky vycházejí v tzv. paperbackovém vydání – knížka připomíná kvádr o rozměrech a , b a výšce c . Ve škole je jednoduché zjistit

hmotnost knížky, pomocí pravítka není složité zjistit její rozměry. Pro jednoduchost vycházej z předpokladu, že desky lze nahradit třemi listy tiskového papíru vpředu i vzadu.

- a) Urči tloušťku jednoho listu v knížce.
- b) Jaká je hustota papíru?
- c) Urči, jaká je hmotnost 1 m^2 papíru, na němž je knížka vytisknuta.

5. Rybičky

Pro malé děti se nad postýlku zavěšují „rybičky“. Jde o systém tenkých tyček zavěšených jako páky a spojených navzájem vlákny, na koncích tyček jsou pak na vlákne umístěny buď „rybička“ z papíru nebo další tyčka. Aby se „rybičky“ mohly vlivem proudění vzduchu pohybovat, musejí být tyčky s rybičkami v rovnovážných vodorovných polohách. Vezmi si tužší papír, špejle, nit a spojovací materiál (kancelářské sponky nebo nitě přilepíš izolepou či rybičky tvoříš dvojité), rybičky vybarvi.

6. Prémie pro zdatné řešitele: Ferda Mravenec – práce všeho druhu

Ferda Mravenec dostal za úkol zjistit stav nátěru minutové ručky na věžních hodinách o délce 3,0 m. Při první kontrole zjišťoval stav orientačně, dělal si poznámky a za 60 min doběhl od osy ručky na její konec a zpět. Podruhé mu cesta na konec ručky a zpátky trvala celé dvě hodiny. Potřetí běžel, a tak celou cestu tam i zpět urazil během jedné hodiny dvakrát. Počtvrté se Ferda Mravenec nejprve rozběhl, za 15 min doběhl do poloviny délky ručky, zjistil, že cosi zapomněl, vrátil se po 15 minut zpět k ose a za další půlhodinku dorazil na konec ručky. Ve všech případech nakresli trajektorii Ferdy Mravence tak, jak by ji sledoval pozorovatel na ose, umístěný v určité vzdálenosti od ciferníku. Pohyb Ferdy promítni do roviny ciferníku.

Ivo Volf, ÚVFO