

# ŠKOLSKÁ FYZIKA



praktický časopis pro výuku fyziky



2  
2013



**Praktický časopis pro výuku fyziky  
a práci s talentovanými žáky  
na základních a středních školách**

**Vydává:** Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy Fakulty pedagogické Západočeské univerzity v Plzni ve spolupráci s ústřední komisí FO, dalšími fakultami připravujícími učitele fyziky a Českou nukleární společností pod patronací Jednoty českých matematiků a fyziků

**Šéfredaktor:** Karel Rauner (rauner@kmt.zcu.cz)

**Výkonný redaktor:** Miroslav Randa (randam@kmt.zcu.cz)

**Redakční rada:** Irena Dvořáková, Josef Kepka, Václav Kohout, Aleš Lacina, Miroslav Randa, Karel Rauner, Milan Rojko, Ivo Volf.

**Adresa redakce:** Školská fyzika, KMT FPE ZČU, Klatovská 51, 306 14 Plzeň,  
**Telefon:** 377 636 303

**Vychází:** čtyřikrát ročně

**Předplatné:** zdarma

**URL (Internet):** <http://sf.zcu.cz/>

**Evidováno:** u Ministerstva kultury ČR pod číslem MK ČR E 11868

**ISSN 1211-1511**

Toto číslo vyšlo 29. července 2013.

## Obsah

<i>Karel Rauner</i> <b>Jak se pŕlí strom</b>	<b>1</b>
<i>Václav Piskač</i> <b>Fyzika ŕeleznice I.</b>	<b>5</b>
<i>Peter Hanisko</i> <b>Astronomické projekty na internete a ich vyuŕitie vo vyučovaní fyziky a prírodovedných predmetov</b>	<b>9</b>
<i>Petr Krýda, Petr Jaroš</i> <b>Zkoumání vlnových vlastností světla pomocí laserových ukazovátek – referát o samostatné laboratorní práci</b>	<b>19</b>
<i>Peter Hanisko, Miroslav Randa, Vladimír Štefl</i> <b>Závery konferencie „Astronomické vzdelávanie na základných a stredných školách v 21. storočí“</b>	<b>23</b>
<i>Jana Česáková, Michaela Křížová</i> <b>Hrajme si i hlavou</b>	<b>27</b>
<i>Ivo Volf, Pavel Kabrhel</i> <b>Okresní kolo 54. ročníku Fyzikální olympiády v kategoriích E a F</b>	<b>31</b>
<i>Václav Kohout</i> <b>Historie a elementární základy teorie barev III.</b>	<b>41</b>



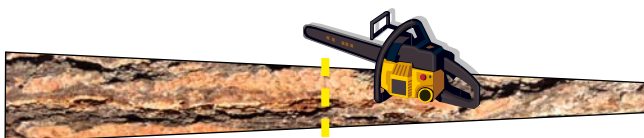
## Jak se půlí strom

Karel Rauner<sup>1</sup>, Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

V úlohách fyzikální olympiády se často řeší příklady na umístění těžiště, případně na určení hmotnosti či hustoty těles, která nemají jednodušší tvary. Následující úloha s příběhem jako motivací řeší problém rozdělení komolého kužele na dvě části stejné hmotnosti. Je předloženo řešení početní a řešení odhadem.

Po jednom z orkánů se majitel lesa rozhodl, že prodá padlé stromy místním zájemcům. Jeden velký kmen si koupili dva sousedé: Vykuk a Nepočta. Kmen byl skutečně velký: dolní průměr měl 60 centimetrů, v místě, kde byla uříznuta ulomená koruna, byl jeho průměr 20 centimetrů. Dlouhý byl 20 metrů.

Sousedé kmen v lese odvětvili a došlo na dělení. „Já si z toho chci udělat trámy, potřebuji tu dolní část stromu.“ prohlásil Vykuk, „proto ho rozřízneme v polovině a já si vezmu tu dolní půlku.“ „Jakou dolní půlku?



Míval jsem sice z matematiky čtyřku, ale tolik vím, že v té silnější části získáš víc dřeva než já.“ protestoval Nepočta, „já chci mít stejně dřeva jako ty. Chci to dělit spravedlivě. Co kdybychom ten kmen rozřízli podélně?“ „Tady v lese to budeme řezat motorovou pilou podélně?“ prohlásil Vykuk a ťukal si prstem na čelo. „To by jednak

trvalo strašně dlouho, navíc bychom toho nepříliš rovným řezem hodně prořezali. Už jsem ti říkal, že chci z toho trámy. Uděláme to takhle. Vezmeme tamhleten špalek a budeme ho podkládat pod náš kmen, až najdeme rovnovážnou polohu. Vzniknou tak vlastně takové váhy, které rozdělí



kmen na levou a pravou část se stejnými hmotnostmi. Pak ten kmen přeřízneme v místě podložení.“ Nepočta byl tentokrát spokojen: „Souhlasím, to se mi zdá spravedlivě.“ Po této dohodě kmen přeřízli v místě podložení, kmeny si naložili a odvezli. Oba byli spokojeni.

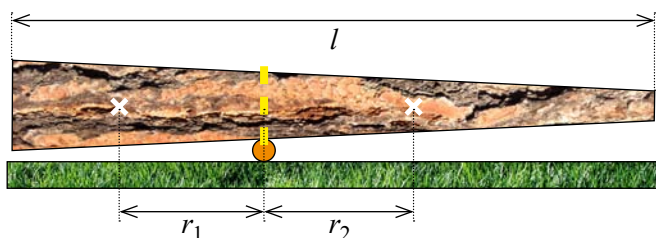
Bylo však „bratrské“ dělení opravdu spravedlivé? Nezískal jeden ze sousedů více dřeva? Jsou dvě možnosti řešení. Jedna, exaktní, se opírá o matematický výpočet, druhá, rychlejší, použije kvalifikovaný odhad. Zkusíme to nejdříve vypočítat.



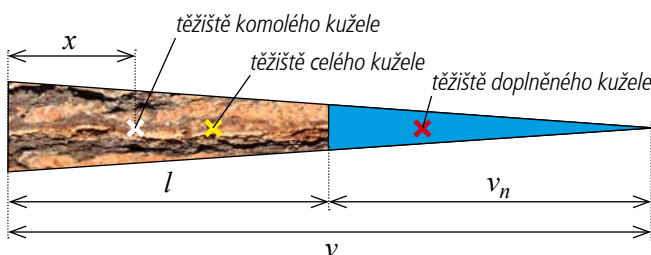
Pokládáme celkem oprávněně kmen za komolý kužel se stejnou hustotou dřeva v celé délce. Podmínkou pro rovnováhu je rovnost momentů sil  $m_1 \cdot g \cdot r_1 = m_2 \cdot g \cdot r_2$ , kde  $g$  je tíhové zrychlení,  $m_1$  je hmotnost levé části,  $m_2$  hmotnost pravé části a  $r_1, r_2$  jsou vzdálenosti těžišť obou částí od místa podložení. Po zkrácení konstanty dostaneme jako podmínku rovnováhy  $m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2$ . Součinu hmotnosti a ramene síly se říká statický moment. Označíme-li příslušné objemy  $V_1, V_2$  a hustotu dřeva  $\rho$ , platí  $m_1 = \rho \cdot V_1$ ,  $m_2 = \rho \cdot V_2$  a můžeme podmínku rovnováhy přepsat do tvaru

$$V_1 \cdot r_1 = V_2 \cdot r_2. \quad (1)$$

<sup>1</sup> rauner@kmt.zcu.cz



dolní podstavy),  $dm$  je element hmotnosti a integrujeme přes celý objem kmene. Můžeme také výpočet zjednodušit, známe-li vzoreček pro polohu těžiště kužele. Protože odvození ze znalosti těžiště kužele není bez původu a podobný postup je často nutný při určování těles se všelijakými otvory, půjdeme touto střední cestou.



Vzdálenosti  $r_1, r_2$  vypočítáme pomocí polohy těžiště komolého kužele. Příslušný vzoreček si můžeme najít v tabulkách či na internetu, nebo ho můžeme odvodit. Odvození můžeme provést z definice polohy těžiště tělesa výpočtem integrálu  $\int_V r \cdot dm$ , ve kterém  $r$  je vzdálenost od nějakého počátku (ten bychom patrně volili ve středu

Komolý kužel doplníme na úplný kužel přidáním menšího kužele (na obrázku modře). Komolý kužel si pak mohou představit jako celý kužel s hmotností  $m_k$  a kužel doplňující se zápornou hmotností  $-m_n$ . Těžiště kužele leží v jedné čtvrtině výšky. Pro vzdálenost těžiště komolého kužele od středu dolní podstavy pak proto platí:

$$m_k \cdot \frac{v}{4} + \left[ -m_n \cdot \left( l + \frac{v_n}{4} \right) \right] = m \cdot x. \quad (2)$$

Platí  $m_k = \frac{1}{3} \pi \cdot v \cdot R_d^2 \cdot \rho$ ,  $m_n = \frac{1}{3} \pi \cdot v_n \cdot R_h^2 \cdot \rho$ ,  $m = \frac{1}{3} \pi \cdot l \cdot (R_d^2 + R_h \cdot R_d + R_h^2) \cdot \rho$ , kde  $R_d, R_h$  jsou poloměry dolní a horní podstavy komolého kužele a  $\rho$  je hustota. Vyjádříme  $v$  a  $v_n$  z podobnosti trojúhelníků:

$$\frac{R_d - R_h}{l} = \frac{R_h}{v_n} \Rightarrow v_n = \frac{R_h}{R_d - R_h} \cdot l, \quad \frac{R_d}{v} = \frac{R_d - R_h}{l} \Rightarrow v = \frac{R_d}{R_d - R_h} \cdot l.$$

Dosazením do vztahu (2) získáme pro těžiště komolého kužele

$$x = \frac{R_d^4 - R_h^3 \cdot (4R_d - 3R_h)}{4 \cdot (R_d^2 + R_d \cdot R_h + R_h^2) \cdot (R_d - R_h)^2} \cdot l. \quad (3)$$

Pro náš strom můžeme dosadit  $R_d = 0,3$  m,  $R_h = 0,1$  m,  $l = 20$  m a vypočítat  $x = 6,9$  m.

Objemy obou částí stromu jsou

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi \cdot x \cdot (R_d^2 + R_d \cdot R_r + R_r^2), \quad V_2 = \frac{1}{3} \pi \cdot (l - x) \cdot (R_r^2 + R_r \cdot R_h + R_h^2), \quad (4)$$

kde  $R_r$  je poloměr kmenu v místě řezu, který můžeme opět určit z podobnosti trojúhelníků:

$$\frac{R_d - R_r}{x} = \frac{R_d - R_h}{l} \Rightarrow R_r = \frac{R_d \cdot (l - x) + R_h \cdot x}{l}. \quad (5)$$

Dosazením získáme:  $R_r = 0,23$  m,  $V_1 = 1,54$  m<sup>3</sup>,  $V_2 = 1,18$  m<sup>3</sup>.

Vyukuk tedy nenosil své jméno nadarmo. Podvedl svého souseda a získal o 0,36 m<sup>3</sup> dřeva více než důvěřivý Nepočta, který se dal zmást argumentem o rovnováze.

Pro grafické znázornění průběhů statických momentů a dílčích objemů vypočítáme nejdříve statické momenty ve vzdálenosti  $y$  od dolní podstavy. Pro ramena platí:

$$r_1 = y - x_1 = y - \frac{R_d^4 - R_y^3 \cdot (4R_d - 3R_y)}{4 \cdot (R_d^2 + R_d \cdot R_y + R_y^2) \cdot (R_d - R_y)^2} \cdot y, \quad (6)$$

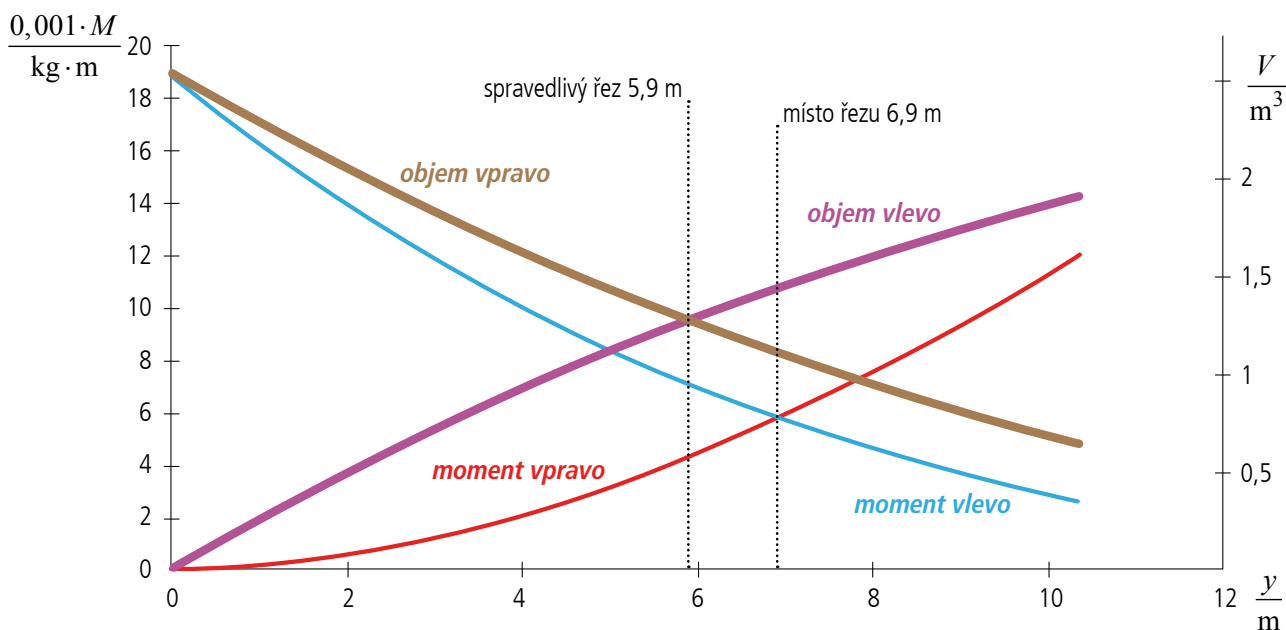


$$r_2 = x_2 = \frac{R_y^4 - R_h^3 \cdot (4R_y - 3R_h)}{4 \cdot (R_y^2 + R_y \cdot R_h + R_h^2) \cdot (R_y - R_h)^2} \cdot (l - y), \quad (7)$$

kde  $x_1, x_2$  jsou vzdálenosti těžišť od dolní podstavy. Spolu s vyjádřením  $R_y = \frac{R_d \cdot (l - y) + R_h \cdot y}{l}$ , které je obdobné (5), můžeme dosadit do obou statických momentů. Místo spravedlivého řezu budeme hledat tak, aby oba objemy

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi \cdot y \cdot (R_d^2 + R_d \cdot R_y + R_y^2), \quad V_2 = \frac{1}{3} \pi \cdot (l - y) \cdot (R_y^2 + R_y \cdot R_h + R_h^2) \quad (8)$$

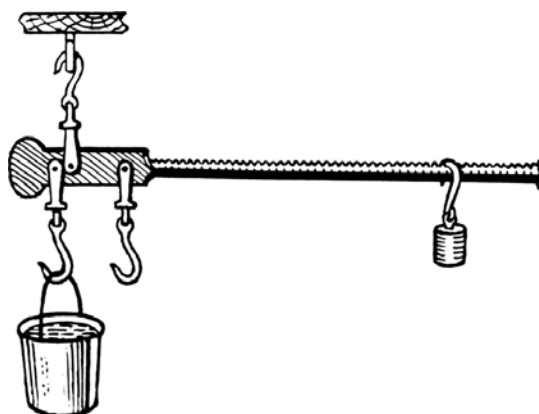
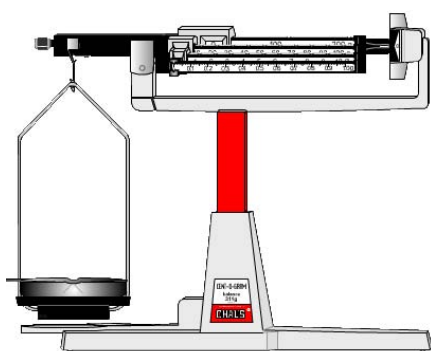
byly stejné. Algebraický výpočet vede ke složitým vzorcům, proto použijeme EXCEL. Vytvoříme příslušnou tabulku a grafy. Počítáme s hustotou dřeva  $\rho = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Získáme následující graf a výsledek ( $M$  je statický moment):



Spravedlivý řez je ve vzdálenosti 5,9 metru od dolní podstavy, objemy dřeva jsou totožné:  $1,36 \text{ m}^3$ .

Od souseda Nepočty nemůžeme očekávat, že si do lesa vezme notebook a bude tam vkládat vzorce. Existuje však možnost, jak rychle odhalit záměry Vykuka? Ke kvalifikovanému odhadu se někdy můžeme dostat převedením situace do extrémů. Nahradíme-li strom s nerovnoměrným rozdělením hmotnosti útvarem s extrémně nerovnoměrně rozdělenou hmotností, přijdeme na podvodný záměr Vykuka hned. Takovým „extrémním“ stromem může být například útvar složený ze dvou válců spojených nehmotnou tyčí. Uvědomíme-li si, kdy je takový útvar v rovnováze (obrázek), přijdeme snadno na to, že mnohem větší hmotnost je nalevo od místa podložení. Při sledování obrázku se nám také může vybavovat přezmen a jiné nerovnoramenné váhy.





**Poznámka** (připojená na podnět recenzenta): Když už jsme na numerické řešení použili EXCEL, mohli jsme jej využít i pro numerické řešení. První možností je numerický výpočet integrálu pro objem levé části kmene ve vzdálenosti  $z$  od levé podstavky. Poloměr kmene v této vzdálenosti je

$$r(z) = R_d - \frac{R_d - R_h}{l} \cdot z, \quad (9)$$

objem levé části

$$V(z) = \pi \cdot \int_0^z \left( R_d - \frac{R_d - R_h}{l} \cdot x \right)^2 \cdot dx = \pi \cdot \left[ R_d^2 \cdot z - R_d \cdot \frac{R_d - R_h}{l} \cdot z^2 + \left( \frac{R_d - R_h}{l} \right)^2 \cdot \frac{z^3}{3} \right]. \quad (10)$$

Vložíme-li tento vzorec do EXCELu a počítáme s krokem 0,01 m, vyjde  $V(20) = 2,72 \text{ m}^3$ . Polovinu tohoto objemu najdeme v tabulce u vzdálenosti  $z_{0,5} = 5,90 \text{ m}$ , což odpovídá předchozímu výpočtu.

Další možností je numerická integrace: sčítáme objemy tenkých plátků, například s tloušťkou 1 cm od levého konce. Objem  $n$ -tého plátku je

$$V_n = \pi \cdot \left( R_d - \frac{R_d - R_h}{l} \cdot 0,01 \cdot n \right)^2 \cdot 0,01.$$

Zobrazíme-li ve sloupci EXCELu součet všech předchozích  $V_n$ , dostaneme na řádce 2000 celkový objem  $2,724 \text{ m}^3$  a polovinu této hodnoty nalezneme v řádce odpovídající vzdálenosti 5,90 m.

## Literatura

V článku byly použity obrázky z internetových stránek

<http://www.monte-troodeloeh.de/haupttext.htm>

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Steelyard\\_\(PSF\).png](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Steelyard_(PSF).png)

<http://www.dbarham.net/smplquiz/smplquiz.htm>





## Fyzika železnice I.

Václav Piskač<sup>1</sup>, Gymnázium tř. Kpt. Jaroše, Brno

Článek je zaměřen na některé jevy z provozu železnice, které lze využít při výuce fyziky. Zabývá se důvody, proč byly železnice upřednostňovány před silnicemi (alespoň v 19. a ve 20. století), ději při rozjíždění a brzdění vlaku (tj. třecími silami mezi koly a kolejnicemi) a silami, kterými na sebe během jízdy působí lokomotivy a vagony. Pokračování článku bude zaměřeno na jízdu vlaku na trati ve sklonu a na problematiku průjezdu vlaku zatáčkou.

### Úvod

Tento článek je kombinací dvou životních závislostí autora – fyziky a historie techniky. Fyzikou se živí, technika ho fascinuje.

### Proč železnice? Proč ne kvalitní silnice?

Důvodů je několik. Železniční trati stačí užší pás země než silnici. Průjezdni profil jednokolejné trati (tj. co potřebuje vlak, aby projel – viz [1]) je široký 4 metry, šířka nákladních automobilů se sice pohybuje kolem 2,5 metru, ale zkuste si představit silnici o šířce nákladáku. Na jednokolejné trati lze organizovat provoz tak, aby se vlaky míjely ve stanicích, silnice musí být dostatečně široká na to, aby se na ní vyhnuly dva nákladní automobily.

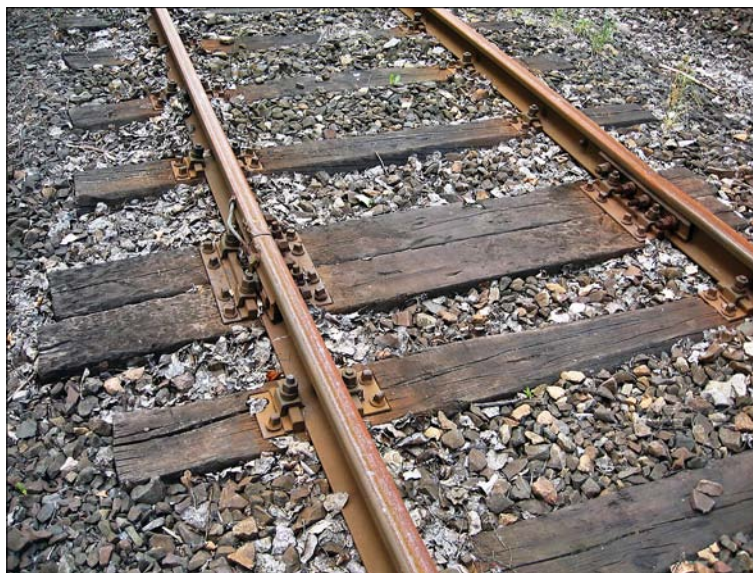
Železnice má příhodnější konstrukci pro přenášení statických i dynamických sil. U silnice je v kontaktu kolo automobilu s asfaltem (betonem, šterkem) – při stání vznikají v povrchu silnice důlky, při rozjíždění a brzdění se trhá asfalt.

Při výstavbě železnic se stavitelé snaží o co nejmenší sklon trati i za cenu budování nákladných zářezů, tunelů a mostů. Tento trend byl bohužel opuštěn v období výstavby tzv. lokálních tratí, kdy se kvůli zlevnění stavby železnice více přimykala k terénu i za cenu střídajících se stoupání a klesání překračujících 20 promile.

Kolo železničního vozu je opřeno o ocelovou kolejnici, ta je uchycena na dřevěném nebo betonovém pražci, ten je osazen ve ztuhlém šterkovém loži. Mezi kolem a kolejnicí sice vzniká obrovský tlak, kvalitní ocel to ale zvládá (litinové kolejnice používané v počátcích železnice často praskaly). Díky pražcům se tíha vozu přenáší na velkou plochu – tlak mezi pražci a šterkem je tak o několik řádů menší. Při rozjíždění a brzdění se vodorovné síly, kterými působí vozy na kolejnice, přenášejí šroubovanými spoji na pražce a ty jsou zapřeny o šterkové lože.

Asi nejvýznamnějším faktorem jsou třecí síly. Kola se po silnici (kolejnici) odvalují

– velikost valivého tření spočítáme podle známého vztahu  $F_t = \xi \frac{F_n}{R}$ , kde  $F_n$  je velikost síly, která přitlačuje kolo k podložce,  $R$  je poloměr kola a  $\xi$  je tzv. „rameno valivého odporu“ – veličina, jejíž hodnota závisí na materiálu kola a materiálu podložky.



Obr. 1 – železniční pražce a koleje

<sup>1</sup> vaclav.piskac@seznam.cz

Železnice vítězí ramenem valivého odporu – pro ocelové kolo na ocelové kolejnici je jeho hodnota přibližně 0,5 mm, u gumy na asfaltu se uvádí hodnota 2,5–4,5 mm, u gumy na betonu se jedná dokonce o 15–35 mm (viz [2]). To znamená, že ocelové kolo na kolejnici má cca 40krát menší valivé tření než kolo o stejném průměru s pneumatikou na betonu. Nebo řečeno jinak – pokud do lokomotivy namontujete stejný motor jako do traktoru, utáhne po vodorovném úseku stejnou rychlostí 40krát větší zátěž než traktor po betonu (neuvažují tření v ložiscích vozů).

Pro představu – klasický krytý vagon typu Ztr má kola o průměru 1 metr, vlastní hmotnost 10,3 tuny a veze náklad 19 tun. To

dává po rovině valivý odpor pouhých 293 N! Při pohybu se projevuje i tření v ložiscích, ale z vlastní zkušenosti vím, že po uvedení do pohybu stačí na tlačení tohoto vagonu po vodorovných kolejích jeden muž.



Obr. 2 – vagon Ztr

### Rozjždění a brzdění vlaku

Opusťme nyní valivé tření a zaměříme se na statické tření – tj. vodorovnou sílu, která brání kolům v tom, aby při rozjždění a brzdění neprokluzovaly. Její maximální hodnotu spočítáme jako součin síly, která přitlačuje kolo ke kolejnici, a součinitele klidového tření. Ten je pro ocel na oceli roven 0,15 (pro srovnání: rozhraní guma–asfalt má součinitel klidového tření roven 0,7 – viz [2]). Malá hodnota tohoto součinitele vedla kritiky prvních železnic k úvahám, že se lokomotiva nebude schopna vlastní silou rozjet...

Rozhodující je síla přitlačující kolo ke kolejnici – v „nádražácké“ hantýrce se jí říká „nápravový tlak“. Železniční technické normy bohužel nerespektují normy fyzikální a namísto síly v newtonech udávají „nápravový tlak“ v tunách. Z důvodu přehlednosti se ve zbytku článku podvolíme železniční terminologii (stačí si uvědomit, že „nápravový tlak 1 tuna“ znamená přitlačnou sílu o velikosti 10 kN). Staré lokální tratě byly stavěny pro nápravové tlaky do 10 tun, moderní tratě jsou stavěny pro nápravové tlaky kolem 20 tun.



Obr. 3 – lokomotiva 310



Obr. 4 – lokomotiva 669



Třínápravová parní lokomotiva řady 310.0 (Kafemlejnek) s provozní hmotností 28 tun mohla na koleje působit statickou třecí silou 42 kN, moderní šestnápravová dieslová lokomotiva řady 771 (Čmelák) o hmotnosti 115 tun dokonce silou 173 kN.

ČSD používaly pro značení lokomotiv systém ing. Kryšpína. Každá řada lokomotiv byla označena trojčíslicím – první číslice udávala počet poháněných náprav lokomotivy, druhá zvětšená o 3 a vynásobená 10 udávala maximální rychlost a třetí číslice zvětšená o 10 pak udávala nápravový tlak (lokomotivy mívaly nastavitelný systém odpružení náprav, který zajišťuje rovnoměrné rozložení tíhy stroje na nápravy). Číslo za desetinou tečkou umožňovalo rozlišovat rozdílné lokomotivy, které měly shodou okolností stejné provozní parametry.

**Příklady:** Kafemlejnek 310.0 – tři hnané nápravy, maximální rychlost 40 km/h a nápravový tlak 10 tun (tj. lokomotiva má hmotnost cca 30 tun). Čmelák 669 – šest hnaných náprav, maximální rychlost 90 km/h a nápravový tlak 19 tun (tj. hmotnost lokomotivy cca 115 tun).

Od roku 1988 se používá nové značení, které bohužel výše uvedená data neobsahuje. Dovolují si osobní poznámku: je zvláštní, že se někdo může rozplývat nad tím, jak je „Kafemlejnek“ malá, roztomilá mašinka – 30 tun roztomilosti se zdá poněkud příliš. Pokud ji ale budeme srovnávat se 115tunovým dieslovým kolosem...

## Spojování vozidel

Na železnici jsou vagony a lokomotivy spojovány pomocí nárazníků a šroubovky (viz fotografie). Tato „vazba“ je zvláštní – tahové síly přenáší šroubovka, tlakové síly odpružené nárazníky. Lokomotiva působí na vagony pouze silou rovnoběžnou s kolejemi (u soustavy silniční tahač – návěš je to dost odlišné), tahová síla lokomotivy se přenáší rámy vagonů na celou soupravu. To znamená, že lokomotiva táhne první vagon a první vagon táhne zbytek vlaku. Proto musí být rámy vagonů značně masivní (lehké motoráčky mají na sobě nápis „Vůz smí být zařazen pouze na konci vlaku.“).

Občas se stává, že lokomotiva zabere příliš velkou silou a z vagonu vytrhne „střeva“ (odpružené táhlo spojující šroubovky).

Spojení šroubovkou má zajímavé fyzikální využití při rozjezdu těžkého nákladního vlaku. Pokud se stane, že vlak zabrzdil „natažený“, tj. s napnutými šroubovkami, musí lokomotiva uvádět do pohybu celý vlak

současně. Když je vlak „sražený“, tj. nárazníky natlačené na sebe, lokomotiva postupně uvádí do pohybu jeden vagon po druhém – stačí jí mnohem menší tahová síla. Starší slabé lokomotivy si často vypomáhaly takto: nejprve zacouvaly, tím „srazil“ vlak; teprve poté se rozjely dopředu.

Šroubovky se podílí na jevech spojených s vedením vlaku „s postrkem“ – tj. jedna lokomotiva v čele a druhá na konci vlaku (běžná výpomoc například na trati z Tišnova do Říkonína – odtud se výpomocná lokomotiva vrací zpět do Tišnova). Lokomotivy si silové působení na vlak rozdělí snadno – přední lokomotiva za sebou vleče přední část vlaku na napnutých šroubovkách a zadní lokomotiva tlačí zadní část vlaku na natlačených náraznicích. Není tedy problém použít na postrku slabší lokomotivu – tlačí si svou (kratší) část vlaku. Další podrobnosti najde případný zájemce např. v [3].



Obr. 5 – šroubovka

Brzdění vlaku je mírně odlišné. V moderních soupravách jsou brzděna kola všech vagonů – na každou tunu hmotnosti vlaku připadá klidová třecí síla 1,5 kN. Dříve bylo běžné, že vlak brzdila jenom lokomotiva, případně byly ručně bržděny pouze některé vagony v soupravě – často docházelo k haváriím, kdy brzděná kola přešla do smyku, a přesto nedokázala vlak zastavit.



Obr. 6 – vůz s brzdařskou budkou

## Závěr

Myslím si, že železnice poskytuje širokou nabídku fyzikálních problémů, které mohou usnadnit spojení fyzikálních teorií s běžným životem. Snad se vám budou náměty z tohoto článku ve výuce hodit.

## Literatura:

- [1] TRMÍNEK, Luboš. *Obrys vozidel a příjezdny průřez* [online]. ©2004. [Cit. 19. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.trminek.cz/view.php?navezclanku=obrys-vozidel-a-prujezdny-prurez&cislocclanku=2004080003>
- [2] BUREŠ, Jiří. *conVERTER* [online]. conVERTER ©2002. [Cit. 19. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/>
- [3] PERELMAN, Jakov Isidorovič. *Zajímavá fyzika*. 1. vyd. Praha: Naše vojsko, 1952.

Fotografie byly převzaty z <http://www.wikipedia.com> pod licencí GNU.



## Astronomické projekty na internete a ich využitie vo vyučovaní fyziky a prírodovedných predmetov

Peter Hanisko<sup>1</sup>, Pedagogická fakulta, Katolícka univerzita v Ružomberku

Na internete existuje v súčasnosti veľa vedeckých projektov, ktoré po celom svete využívajú počítače pripojené na internet na spracovávanie dát. Tieto vedecké projekty, ktoré sa v súčasnosti na celom svete stretávajú s veľkým ohlasom, sú založené na využívaní distribuovaných výpočtov. Astronómia, astrofyzika a kozmológia sú vedecké odvetvia, ktoré sú pre neustále exponenciálne rastúce množstvo dát najvhodnejšie pre projekty využívajúce distribuované výpočty. Pre žiakov a študentov je zapojenie sa do takýchto vedeckých projektov významným motivačným prvkom vo vzdelávaní.

### Úvod

Takmer všetky prírodovedné predmety (fyzika, chémia, biológia, apod.) a matematika v súčasnosti zaznamenávajú zo strany žiakov a študentov na všetkých stupňoch škôl znížený záujem o ich štúdium. Zmeniť daný stav je možné zvýšenou motiváciou žiakov a študentov k štúdiu prírodných vied. Veda, pomocou ktorej je možné prírodné vedy žiakom a študentom na všetkých stupňoch škôl sprístupniť zaujímavou formou, je *astronómia*, ktorá vzhľadom na objekt svojho skúmania, t. j. vesmír, je veľmi prítlačivá pre všetky vekové kategórie. Integruje v sebe poznatky takmer všetkých, nielen prírodných, ale často aj humanitných vied.

Už dlhšiu dobu na internete existujú vedecké projekty, ktoré po celom svete využívajú počítače pripojené na internet na čiastkové spracovávanie dát a výpočty vo viacerých, najmä prírodovedných disciplínach.

Zapojenie žiakov a študentov do aktívneho poznávania vďaka zapojeniu do týchto projektov je realizované atraktívnou formou, čo ich motivuje, prispieva k trvanlivosti poznatkov, k zvyšovaniu názornosti a k uplatneniu vedeckého prístupu v poznávaní okolitého sveta. Je to veľká príležitosť pre učiteľov, aby takto oboznámili žiakov a študentov so skutočnými astronomickými dátami a metódami ich spracovania.

### Vedecké projekty na internete

Na internete v súčasnosti je možné nájsť veľké množstvo možností ako sa zapojiť do rôznych vedeckých projektov, a tak dobrovoľne využiť vlastný počítač na rôzne vedecké účely. Najvhodnejšie je to v čase, keď počítač je využívaný len na písanie, na administratívnu prácu napríklad v účtovníckom programe, pri sťahovaní dát z internetu, pri sledovaní filmu alebo počas prestávky v práci alebo pri štúdiu a na ten čas sa počítač neoplatí vypínať. Do takýchto vedeckých projektov na internete sa môže zapojiť každý, aj v prípade, že nie je odborník v danom vednom odbore. Práve takíto ľudia v súčasnosti veľkou mierou pomáhajú v rôznych oblastiach modernej vedy. Pre zapojenie sa do projektov je okrem aspoň minimálneho záujmu o vedu a vedecký výskum potrebné mať k dispozícii osobný počítač alebo notebook a pripojenie na internet. [3]

Keďže väčšina osobných počítačov na svete využíva svoj plný výpočtový potenciál len veľmi malú časť svojej prevádzkovej doby, je veľká škoda tieto počítače s takto nevyužitým výkonom nevyužiť na vedecký výskum. Práve na takomto princípe funguje vedecký výskum využívajúci tzv. distribuované výpočty, ktorý je určený pre všetkých, ktorí chcú prostredníctvom svojich osobných počítačov na diaľku pomôcť vedcom pri rozvoji moderných technológií a vedy. [3]

### Ako pracujú projekty s distribuovanými výpočtami

Pod pojmom distribuované výpočty je možné si predstaviť niečo, čo využíva výpočtový výkon počítača v čase, keď sa na ňom práve aktívne nepracuje. Astronómia, astrofyzika a kozmológia sú vedné odvetvia, v ktorých s digitalizáciou začalo exponenciálne rásť aj množstvo dát (jedná sa o desiatky až stovky terabytov dát), takže pre projekty využívajúce distribuované výpočty sú najvhodnejšie.

<sup>1</sup> peter.hanisko@ku.sk

Na svete existujú desiatky rôznych vedeckých projektov z rôznych vedných oblasti, ktoré prostredníctvom distribuovaných výpočtov distribuujú svoje dáta na spracovanie na osobných počítačoch zaregistrovaných dobrovoľníkov. Pri vedeckom výskume založenom na distribuovaných výpočtoch vo veľkej miere platí známe porekadlo „*Keď neprší, nech aspoň kvapká*“. Práve v tomto prípade „*padajú kvapky*“ z veľkého množstva počítačov po celom svete vo forme obrovského výpočtového výkonu, ktorý niekoľkonásobne prevyšuje výkon aj tých najväčších superpočítačov. Prostredníctvom distribuovaných výpočtov sa otvára cesta aj jednotlivcom, malým vedeckým tímom alebo školám, ktoré nemajú prostriedky na prácu na veľkých superpočítačoch a na svojom počítačovom vybavení by tým strávili desiatky, možno aj stovky až tisícky hodín. [3]

## System BOINC

Názov BOINC je skratkou z anglického **B**erkeley **O**pen **I**nfrastucture for **N**etwork **C**omputing. Tento softvér bol vyvinutý a aj naďalej je zdokonaľovaný na Univerzite v Berkeley v Kalifornii a od začiatku je vyvíjaný ako „*open source*“. Je špeciálne vyvinutý pre rôzne vedecké, vysoko výpočtovo náročné distribuované výpočty, využívajúci dobrovoľne poskytnuté počítače pripojené na internet. [2]



System BOINC bol od začiatku vyvíjaný ako multiprojektový, to znamená, že je možné zapojiť sa do viacerých projektov súčasne. Záujemcovia si vyberú projekt alebo projekty, na ktorom alebo ktorých sa chcú podieľať, a zároveň, koľko zo systémových prostriedkov svojho počítača alebo počítačov (najmä v prípade škôl) chcú na konkrétny projekt alebo projekty poskytnúť. Je možné zapojiť sa do projektov z rôznych, najmä prírodovedných odborov súčasne. Neustále vznikajú nové a zaujímavé projekty, ktoré pre dobrú vec dokážu využiť milióny počítačov dobrovoľníkov na celom svete. Výber konkrétneho projektu alebo projektov, do ktorých je možné sa zapojiť, záleží len na každom záujemcovi. Väčšina projektov svoje výsledky zverejňuje, či už na internete, v odborných a vedeckých časopisoch alebo sa jedná o celosvetovo uznávané vedecké inštitúcie, ktoré už zo svojej samotnej podstaty sú prospešné pre celý svet bez ohľadu na to, kde sa nachádzajú. [11]

System BOINC pozostáva zo servera a klientov, ktorí spolu komunikujú pri distribúcii tzv. „*pracovných jednotiek*“. Na účasť v projektoch združených pod systémom BOINC je potrebné nainštalovať na klientovi „*Boinc manager*“ (obr. 1), čo je jednoduchý softvér, ktorý zabezpečuje správu aplikácií jednotlivých projektov a slúži na nastavenie priebehu výpočtov a na ľahké pripojenie sa k vybranému projektu alebo projektom. [2]

Po nainštalovaní je nie len klientovi, ale aj aplikáciám projektov systémom automaticky pridelená najnižšia priorita, to znamená, akýkoľvek bežne používaný program má na počítači prednosť pred distribuovanými výpočtami. Aplikácie projektov využívajúce distribuované výpočty využívajú len zbytkový výpočtový priestor, maximálne pružne ustupujú softvéru, ktorý užívateľ používa a vo výpočtoch pokračujú, až keď majú k dispozícii opäť aspoň určitú časť výkonu procesora.

Distribúcia práce a výpočty vo všeobecnosti prebiehajú dvomi základnými spôsobmi: [12]

1. Výpočtová práca je rozdelená na veľké množstvo malých častí, pracovných jednotiek, ktoré sú rozosielené na spracovanie registrovaným dobrovoľníkom. Na počítači je jedna takáto pracovná jednotka, ktorej veľkosť je niekoľko kilobytov, spracovaná a potom automaticky odoslaná späť do centra projektu, kde dochádza k spätnému spojeniu jednotlivých častí a ku kontrole výsledkov. Takýmto spôsobom prebiehajú výpočty napríklad na projekte SETI@Home, Einstein@Home, Predictor@Home apod.
2. Spracovávanie prostredníctvom kompletných modelov, ktoré sa od seba odlišujú len nastavením vstupných parametrov. Výsledky týchto modelov sa priebežne odosielaajú po častiach a po ich kompletnom spracovaní na počítači registrovaného dobrovoľníka sa porovnávajú. Takéto výpočty nie sú náročnejšie len časovo, ale tiež aj na priestor na pevnom disku. Takýmto spôsobom prebiehajú práce a spracovávajú sa výsledky napríklad na projektoch Climateprediction.net, Malariacontrol apod.

Projekt	Účet	Tým	Kredit	Průměrný kredit	Rozdělení práce	Stav
boincsimap	Forest and friends	Czech National Team	608724,69	1520,03	100 (5,88%)	
BURP	Forest and friends	Czech National Team	88938,31	0,09	100 (5,88%)	
climateprediction.net	Forest and friends	Czech National Team	637889,00	1839,96	100 (5,88%)	Pozastaveno uživatelem
DistributedDataMining	Forest and friends	Czech National Team	204468,67	3839,68	100 (5,88%)	
DistrRTgen	Forest and friends	Czech National Team	71654,84	5010,18	100 (5,88%)	Přenos odložen 22:01:30
FreeHAL@home	Forest and friends	Czech National Team	1246511,63	39,00	100 (5,88%)	
gerasim@home	Forest and friends	Czech National Team	3020,69	0,00	100 (5,88%)	
lhcatchome	Forest and friends	Czech National Team	57899,68	80,32	100 (5,88%)	
Luxrenderfarm@home	Forest and friends	Czech National Team	0,00	0,00	100 (5,88%)	Pozastaveno uživatelem
mopac7	Forest and friends	Czech National Team	30797,39	79,00	100 (5,88%)	
orbit@home	Forest and friends	Czech National Team	69392,88	12,40	100 (5,88%)	Přenos odložen 05:48:22
Quake-Catcher Network	Forest and friends	Czech National Team	9869,22	462,60	100 (5,88%)	
ralph@home	Forest and friends	Czech National Team	84423,57	135,01	100 (5,88%)	Zakázáno přijímat další práci
The Lattice Project	Forest and friends	Czech National Team	24289,82	0,08	100 (5,88%)	
uFluids	Forest and friends	Czech National Team	126023,80	57,61	100 (5,88%)	
VRS: Virus Respiratorio Sincitial	Forest and friends	Czech National Team	1815,92	0,00	100 (5,88%)	
WUProp@Home	Forest and friends	Czech National Team	20940,10	275,73	100 (5,88%)	

Obr. 1 – vzhľad Boinc Managera; niektoré položky sa môžu odlišovať oproti iným verziám, ale funkcie zostávajú rovnaké (<http://www.czechnationalteam.cz/>)

Vzhľadom k tomu, že projekty združené v systéme BOINC sú veľmi rôznorodé, z toho dôvodu sa výrazne odlišujú aj požiadavky na hardvér, ktoré jednotlivé aplikácie vyžadujú. Taktiež sa odlišuje aj čas potrebný na výpočet jednej výpočtovej jednotky. Všetci registrovaní dobrovoľníci systému BOINC majú svoje vlastné možnosti podľa hardvéru, ktorý vlastní a ako ho využívajú. Dôležité je preto poznať nároky jednotlivých projektov, aby zapojenie do nich bolo zmysluplné. Z hľadiska výpočtovej náročnosti, projekty je možné rozdeliť do štyroch základných kategórií: [14]

- **Projekty s vysokými výpočtovými nárokmi.** U týchto projektov výpočet jednej pracovnej jednotky trvá veľmi dlho, spravidla niekoľko dní až týždňov nepretržitého výpočtu. Pri spustení na menej výkonných počítačoch a počítačoch, ktoré sú zapnuté len malú časť dňa je potrebné počítať aj s veľmi dlhým časom na výpočet jednej pracovnej jednotky a dokonca môže byť ohrozený aj hraničný termín (napr. climateprediction.net, Orbit@Home, aplikácia Astropulse v projekte SETI@Home apod.).
- **Projekty s vyššími výpočtovými nárokmi.** Výpočet jednej pracovnej jednotky týchto projektov na jednej strane netrvá príliš dlho (často je to aj menej ako 1 deň), na strane druhej však potrebujú veľa systémových prostriedkov (napr. Rosetta@Home, niektoré aplikácie v rámci World Community Grid apod.).
- **Projekty so strednými výpočtovými nárokmi.** Do tejto skupiny projektov patrí väčšina projektov (napr. SETI@Home, Einstein@Home apod.).
- **Projekty s malými výpočtovými nárokmi.** Tieto projekty sú vhodné aj pre staršie počítače. Nároky na hardvér sú malé, výpočet jednej pracovnej jednotky trvá krátko a taktiež aj hraničný termín je dostatočný (napr. Enigma@Home, Pirates@Home, Artificial Intelligence apod.).

Vedecké projekty na internete, ktoré patria do kategórie dobrovoľných výpočtových projektov, v rámci ktorých sa všetci ľudia bez rozdielu môžu podieľať na vedeckom výskume sú najčastejšie označované koncovkou **@Home**.

## Astronomické projekty na internete zapojené do systému BOINC

V astronómii, astrofyzike a kozmológii má zásadný význam používanie výkonných počítačov, napr. pri výpočtoch modelov stavby vnútra hviezd, modelov vývoja galaxií a ich sústav, veľkoškálovej štruktúry vesmíru, tmavej hmoty a tmavej energie vo vesmíre apod. Väčšina astronomických projektov na internete využívajúce distribuované výpočty sú združené v systéme BOINC.

Vedecký projekt **Asteroids@Home** (<http://asteroidsathome.net/cs/index.html>) je vyvinutý na Astronomickom ústave Karlovej univerzity v Prahe. Využíva výpočtový výkon počítačov zaregistrovaných dobrovoľníkov k riešeniu problémov odvodenia a určenia tvaru a rotačných parametrov veľkého množstva planétok metódou inverzie svetelných kriviek. Je k dispozícii zatiaľ len pre platformu Linux.



Projekt sa zaoberá zisťovaním fyzikálnych parametrov, ako je tvar, doba rotácie alebo smer rotačnej osi planétok v Slnčnej sústave z fotometrických údajov z v súčasnosti dostupných katalógov fotometrie planétok. S neustále pribúdajúcim množstvom fotometrických dát z veľkých fotometrických prehliadok oblohy sa metóda inverzie svetelných kriviek planétok stala výpočtovo náročným procesom. Rotačnú periódu planétok, čo je základný fyzikálny parameter, je z týchto fotometrických dát na rozdiel od klasických svetelných kriviek možné len veľmi ťažko určiť. Pri analýze fotometrických dát z veľkých fotometrických prehliadok oblohy, ktoré sú veľmi často neúplné a časovo nesúvisle, je potrebné veľmi podrobne prechádzať široký interval možných periód, čo neúmerne predlžuje výpočtový čas. Vzhľadom k tomu, jediný spôsob, ako efektívne spracovať fotometriu niekoľko stotisíc planétok, je použiť práve distribuované výpočty. Úloha je taktiež vhodná pre paralelizáciu, t. j. interval periód je možné rozdeliť na menšie časti, tie prehľadávať zvlášť a výsledky nakoniec spojiť dohromady. [13]

Vedecký projekt **MilkyWay@Home** (<http://milkyway.cs.rpi.edu/milkyway/>) bol založený na Rensselaer Polytechnic Institute v meste Troy v americkom štáte New York. Je k dispozícii pre všetky platformy bežne používané na osobných počítačoch (Windows, Linux, MacOS apod.). Zaoberá sa výskumom v oblasti modelovania a určovania vývoja našej Galaxie.



Cieľom projektu je vytvoriť presný trojrozmerný model našej Galaxie na základe dát z prehliadky oblohy „*The Sloan Digital Sky Survey*“. Problém je však v tom, že pri miliónoch hviezd nie je vôbec jednoduché tieto informácie spracovať, a preto najvhodnejším spôsobom ako to dosiahnuť, je využívanie práve distribuovaných výpočtov. [8]

Pri vzniku projektu bol vypracovaný model štruktúry našej Galaxie, ktorý rozdeľuje hviezdy do dvoch základných skupín: hviezdy tvoriace základný diskovitý tvar našej Galaxie so špirálovými ramenami a predovšetkým rôzne nehomogénne prúdy hviezd. Tieto prúdy hviezd sú zaujímavé najmä z hľadiska vývoja našej Galaxie, pretože sú to vlastne pozostatky trpasličích galaxií, ktoré naša Galaxia v minulosti pohltila. Hviezdy týchto pohltitých galaxií sa na rozdiel od hviezd tvoriacich základný tvar našej Galaxie stále pohybujú po odlišných dráhach. Informácie o týchto prúdoch umožňujú zistiť koľko, kedy a ako pohltila naša Galaxia iné galaxie a je možné dozvedieť sa viac o dynamike týchto procesov. Tieto poznatky taktiež umožňujú vytvorenie scenára ďalšieho vývoja našej Galaxie v budúcnosti.

**Cosmology@Home** (<http://www.cosmologyathome.org/>) prevádzkuje Department of Astronomy, University of Illinois. Je k dispozícii pre platformy Windows a Linux.



Projekt **Cosmology@Home** sa zaoberá hľadaním kozmologických modelov vesmíru. V rámci projektu sú počítané teoretické modely s rôznymi vstupnými parametrami. Každá výpočtová úloha simuluje vesmír s konkrétnou geometriou, obsahom častíc a počítačnými podmienkami. Cieľom je nájsť taký model alebo množinu modelov vesmíru, ktoré ho čo najlepšie popisujú a ktoré súhlasia s dostupnými údajmi získanými pozorovaniami a experimentmi v oblasti astronómie, astrofyziky, kozmológie a fyziky elementárnych častíc. [1]

Vedecký projekt **Einstein@Home** (<http://einstein.czechnationalteam.cz/>; <http://einstein.phys.uwm.edu/>) je prevádzkovaný na University of Wisconsin. Projekt je k dispozícii pre všetky platformy bežne používané na osobných počítačoch (Windows, Linux, MacOS a Solaris).

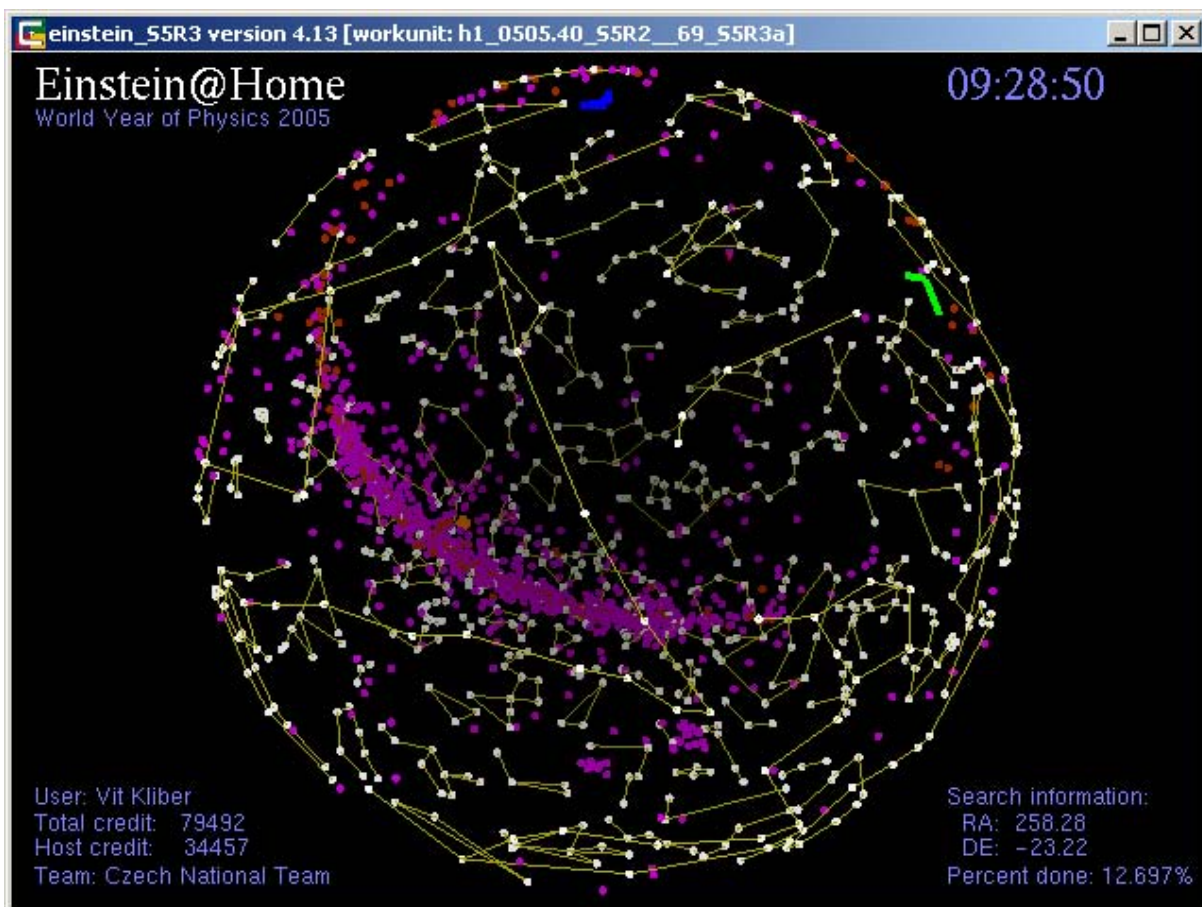


Projekt Einstein@Home je zameraný na hľadanie *gravitačných vln*, ktorých objav by okrem potvrdenia platnosti všeobecnej teórie relativity umožnil otvoriť

aj úplne nové okno na pozorovanie vesmíru. To by v blízkej budúcnosti umožnilo dosiahnuť výrazný pokrok v chápaní štruktúry, vzniku, vývoja a budúcnosti vesmíru. [4]

V projekte Einstein@Home sú spracovávané údaje z celooblohového hľadania pulzárov, pričom je potrebné poznamenať, že sa nejedná o hľadanie gravitačných vln zo známych pulzárov, ale ich hľadanie medzi objektmi, ktoré zatiaľ ešte neboli objavené. Celooblohové prehliadky a experimenty, čo sa týka náročnosti spracovávania dát, sú najnáročnejšie, a preto je na ich spracovanie najvhodnejšie využiť distribuované výpočty.

Projekt pre užívateľov ponúka aj zaujímavý šetrič obrazovky (obr. 2), ktorý zobrazuje niekoľko údajov spojených s hľadaním gravitačných vln (polohu LIGO a GEO 600 observatórií, polohu známych objektov na oblohe, ktoré pravdepodobne vyžarujú gravitačné vlny a oblasť oblohy, ktorú práve počítač analyzuje). [4]

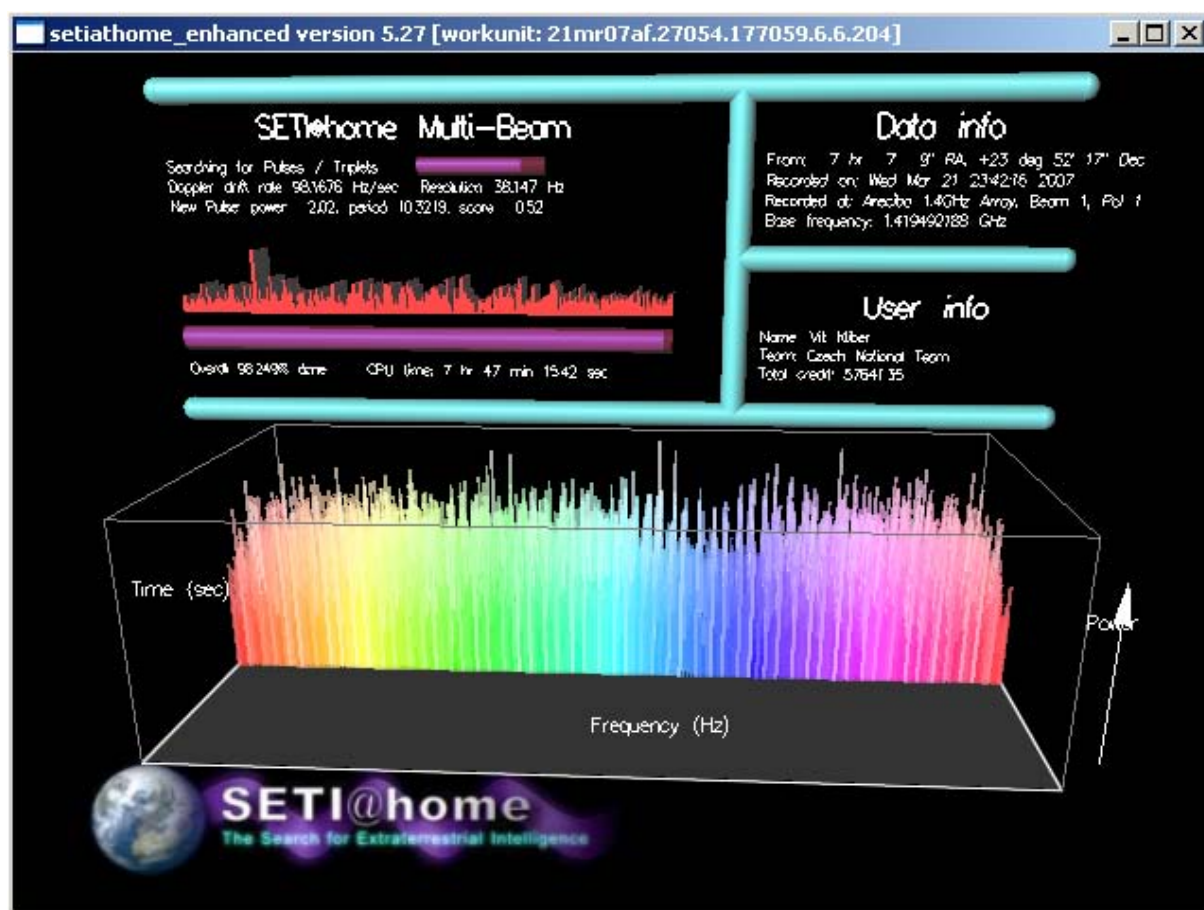


Obr. 2 – šetrič obrazovky projektu Einstein@Home (zdroj: [http://einstein.czechnationalteam.cz/Einstein@Home\\_files/screensa.jpg](http://einstein.czechnationalteam.cz/Einstein@Home_files/screensa.jpg))

Projekt **SETI@Home** (<http://setiathome.berkeley.edu/>; <http://seti.czechnationalteam.cz/>) prevádzkuje Space Sciences Laboratory, University of California v Berkeley. Je k dispozícii pre všetky platformy bežne používané na osobných počítačoch (Windows, Linux, MacOS apod.).



Je právom označovaný za priekopníka distribuovaných výpočtov, keďže pôvodný projekt SETI je v prevádzke už takmer 50 rokov. Jedná sa o najznámejší, veľmi zaujímavý a skutočne nadčasový projekt, ktorý má možnosť zaujať všetkých záujemcov o vesmír, ktorí sa zamýšľajú nad pravdepodobne najzásadnejšou otázkou ľudstva: „*Sme vo vesmíre sami?*“ Jeho cieľom je objaviť signály umelého pôvodu, ktoré by potvrdili prítomnosť mimozemskej civilizácie. Pomocou najväčšieho rádioteleskopu na svete v Arecibu v Portoriku, ktorý má projekt k dispozícii, je zachytávaný vesmírny rádiový šum, ktorý sa následne filtruje od bežného rušenia. Vo výslednom signále sa hľadajú akékoľvek anomálie, ktoré by mohli byť výsledkom vysielania práve mimozemských civilizácií. Počas celej doby existencie projektu už bolo niekoľko desiatok kandidátov na takýto signál, avšak ten pravý dôkaz zatiaľ ešte stále nebol nájdený. V roku 1999 začal pracovať internetový projekt SETI@Home, ktorý sa skladá z dvoch podprogramov: **SETI@Home Enhanced** a **Astro-Pulse** [15]. Projekt pre užívateľov ponúka aj šetrič obrazovky (obr. 3) spojený s hľadaním mimozemských civilizácií.



Obr. 3 – šetrič obrazovky projektu SETI@Home (Zdroj: <http://gallery.czechnationalteam.cz/albums/userpics/Seti.png>)

Projekt **Orbit@Home** (<http://orbit.psi.edu/>) prevádzkuje Planetary Science Institute v Tucsone v Arizone. Aplikácia je k dispozícii pre platformy Windows, Linux a MaC OS. Projekt získal financovanie od NASA, ktorá tým ocenila jeho prínos pre vedu a ľudstvo. Základom projektu je uplatňovanie distribuovaných výpočtov pri štúdiu dynamiky Slnecnej sústavy.

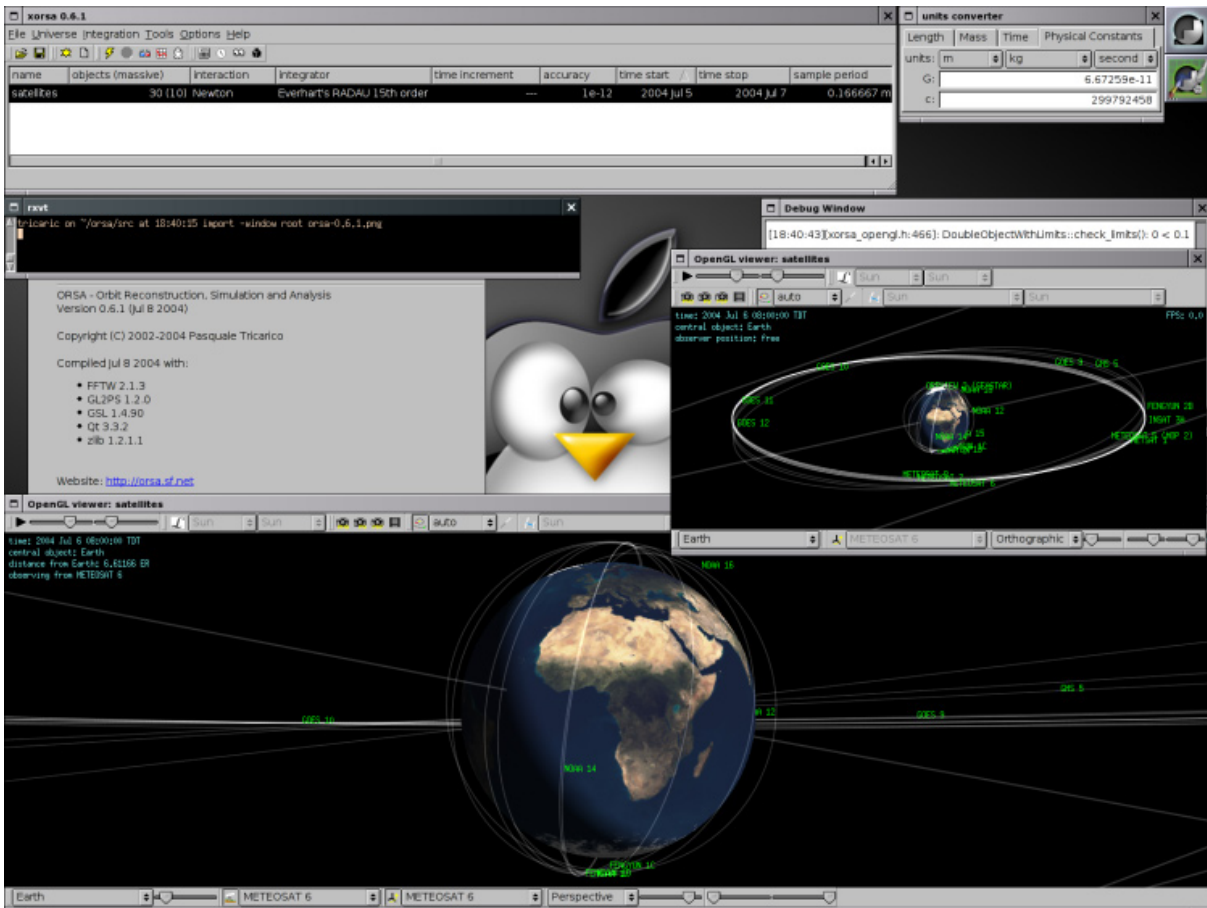


Cieľom projektu Orbit@Home je monitorovať planétky a kométy v blízkosti Zeme a predpovedať ich možnú zrážku nie len so Zemou, ale aj s iným telesom Slnecnej sústavy, ako sú planéty, mesiace planét, planétky, vesmírne stanice, satelity apod. [10]

Z hľadiska zrážky so Zemou sú nebezpečné planétky aj kométy. Planétu Zem vo väčšine prípadov ohrozujú blízkozemné objekty, tzv. Near Earth Objects (NEO) obiehajúce v blízkosti Zeme a krátkoperiodické kométy vo vnútornej časti Slnecnej sústavy, najmä ak križujú jej dráhu. [7]

Projekt využíva program ORSA (Orbit Reconstruction, Simulation and Analysis) (<http://orsa.sourceforge.net>) (obr. 4). Pomocou tohto programu je možné u každého objaveného NEO objektu určiť jeho dráhu a tým aj percento pravdepodobnosti zrážky so Zemou. [9]

Každý pripojený počítač určuje dráhu telesa na veľa rokov dopredu na základe doposiaľ známych parametrov dráhy. Výpočty však nie sú vôbec jednoduché, keďže numericky riešiť zložité pohybové rovnice je veľmi náročné a navyše, vzhľadom na požadovanú vysokú presnosť je nutné zahŕňať aj relativistické efekty. Spracované výsledky sa odošlú späť na centrálny server, kde sa vyberú tie, ktorých pravdepodobnosť zrážky je nad kritickou hodnotou. Tieto telesa sú ďalej analyzované a ďalšími pozorovaniami spresňované ich dráhy. [9]



Obr. 4 – ukážka z programu ORSA 0.6.1 (Zdroj: <http://orsa.sourceforge.net>)

## Možnosti začlenenia a využitia internetových projektov z astronómie vo vyučovaní

Ako vhodný doplnok ku klasickému vyučovaniu informatiky a prírodovedných predmetov a v ich rámci aj astronómie je zapojenie žiakov a študentov, či už v rámci samotného vyučovania na vyučovacej hodine alebo v rámci mimoškolskej činnosti, do vedeckých projektov na internete, ktoré sú založené na využívaní distribuovaných výpočtov. V súčasnosti sa na Slovensku tejto oblasti vo vyučovaní nevenuje taká pozornosť, akú by si zaslúžila. Dokonca je možné povedať, že sa jej nevenuje žiadna pozornosť.

Pred samotným zapojením žiakov a študentov do takýchto projektov na internete je dôležité im vysvetliť a oboznámiť ich s tým, čo to vlastne tie distribuované výpočty sú a na akom princípe pracujú. Tento princíp im

učitelia môžu napríklad na hodine informatiky ukázať na jednoduchom príklade alebo pomocou zaujímavej hry, kde si ich princíp hrovou formou predvedú a odskúšajú. Cieľom je rozvoj vzájomnej komunikácie a spolupráce v tíme, schopnosti riešiť vedecké problémy netradičnou formou a rozvoj kreatívnych schopností jednotlivých členov tímu.

Jeden zo žiakov alebo študentov predstavuje „*riadiaci počítač*“ (server), ktorý všetko riadi a rozdeľuje úlohy. Ďalších žiakov alebo študentov učiteľ rozdelí, pričom každý z nich bude predstavovať jeden „*špecializovaný počítač*“ (klient). Špecializovaný je vo význame, že každý vie robiť niečo iné. Podobne, ako počítače v sieti, aj žiaci alebo študenti sú spolu navzájom „*zosieťovaní*“, takže môžu spolu navzájom komunikovať s „*riadiacim počítačom*“.

Pred samotnou hrou učiteľ pripraví nejaký „*výrobok*“, napríklad obrázok postrihaný na malé kúsky, nakreslený a vymalovaný obrázok apod. Úlohou žiakov alebo študentov je vyhotoviť kópiu (nakresliť obrázok), poprípade poskladať (postrihaný obrázok) s čo najväčšou presnosťou k pôvodnému „*výrobku*“. Čo sa má vyrobiť vie len „*riadiaci počítač*“, ktorý je v inej miestnosti. V priebehu hry žiaci alebo študenti (počítače) spolu komunikujú len pomocou písaných odkazov, ktoré si posielajú pomocou „*siete*“ (učiteľa). Cez „*sieť*“ si posielajú aj časti už vyrobeného výrobku. Celá úloha alebo hra, podobne ako reálny projekt, musí byť obmedzená určitým časovým limitom. Po skončení hry sa vyhodnotí kvalita vyhotovenia jednotlivých „*výrobkov*“. [5, s. 22]

V prípade, že učitelia majú záujem zapojiť svojich žiakov alebo študentov počas vyučovania do reálneho vedeckého výskumu, a tak ich motivovať a získať pre štúdium prírodných vied, vhodné je ich zapojiť do vedeckých projektov na internete. Zapojenie sa do takýchto projektov je taktiež vhodné aj pre učiteľov, keďže im ponúkajú možnosť nie len zdieľať učebné materiály, učebné plány a zdroje na ďalšie štúdium, ktoré im pomôžu zostaviť si svoje vlastné prípravy na vyučovacie hodiny, ale aj možnosť vymieňať si skúsenosti so svojimi kolegami, najmä zo zahraničia na diskusných fórach v rámci projektov.

Keďže pri zapojení sa do projektov využívajúcich distribuované výpočty je každá sekunda práce, ktorú počítač vykoná, započítaná do tzv. kreditov, práve túto skutočnosť je možné využiť pri organizovaní rôznych súťaží, v ktorých medzi sebou súťažiaci napríklad spolužiaci v triede, školy medzi sebou, priatelia, kolegovia, poprípade tímy, ktoré v jednotlivých projektoch vznikajú.

Na tomto princípe v školskom roku 2011/2012 v Českej republike prebehla celoštátna súťaž škôl v distribuovaných výpočtoch, ktorú medzi školami všetkých stupňov a kategórií vyhlásil a organizoval „*Czech National Team*“ (<http://www.czechnationalteam.cz/>). Do súťaže sa zapojilo spolu 94 škôl všetkých stupňov, ktoré zastupovalo celkovo 491 dobrovoľníkov. V priebehu súťaže sa zoznámili s distribuovanými výpočtami a zažili aj veľa napätia a strategických zvrátov. Vzhľadom na špecifika organizácie akademického roku na vysokých školách súťaž prebiehala spolu osem mesiacov (október–máj), aby všetky školy bez ohľadu na stupeň vzdelávania mali rovnaké podmienky. Každý mesiac sa súťažilo v jednom vybranom projekte. V priebehu súťaže sa súťažiaci zoznámili s vedeckými výpočtami v oblastiach biológie, astronómie, kryptografie, fyziky a matematiky. Z astronómie to bol projekt Einstein@Home. Pätnástim najlepším školám boli pridelené body. Po skončení súťaže v celkovom ročnom súčte bodov boli prvé tri školy s najvyšším počtom bodov obdarované vecnými cenami. [16], [17]

Hlavným cieľom súťaže však nebola súťaž o vecné ceny, ale najmä spštenie a zatraktívnenie vyučovania prírodovedných predmetov a informatiky na školách a v záujmových krúžkoch s podobným zameraním. Žiakom a študentom bolo názorne ukázané praktické využívanie modernej výpočtovej techniky vo vedeckej a výskumnej činnosti. [16]

Súťaž svojim zameraním vo svete nemá obdoby. Doposiaľ žiadna organizácia neusporiadala podobnú súťaž na zoznámenie žiakov a študentov s distribuovanými výpočtami v takomto veľkom rozsahu a s tak veľkou podporou vedeckých neziskových organizácií a, čo je veľmi dôležité, najmä štátnych inštitúcií. [17] Vzhľadom na záujem o súťaž zo strany škôl sa preto uvažuje o jej opakovaní a ďalšom zatraktívnení aj v budúcnosti.

V priebehu organizovania podobných súťaží založených na zbieraní kreditov v školách je vhodné, aby nie len pre žiakov a študentov, ale aj pre učiteľov boli organizované besedy a semináre s odborníkmi a vedcami, ktorých vedecká činnosť je zameraná na oblasť projektu, v ktorom aktuálne súťaž prebieha.

## Záver

Vedecké projekty využívajúce distribuované výpočty sa na celom svete stretávajú s veľkým ohlasom. Prostredníctvom nich má možnosť podieľať sa na vedeckom výskume skutočne každý človek a nepotrebuje k tomu ani rozsiahle vedomosti z danej vednej oblasti a ani drahé superpočítače. Práve to je ta obrovská výzva, ktorá už niekoľko rokov priťahuje milióny ľudí zo všetkých krajín sveta k zapojeniu sa do týchto projektov a tým vlastne aj do vedeckej práce. [6]

Pre väčšinu dobrovoľníkov zapojených do týchto projektov hlavným prínosom a motiváciou je účasť na skutočnom vedeckom výskume a radosť z toho, že pomáhajú projektu, ktorý podľa ich presvedčenia má skutočne zmysel a ktorý by bez ľudí, ktorí sa do neho zapojili, prakticky nemohol existovať. Mnoho ľudí si zapojením do týchto projektov rozširuje svoje vedomosti o danej problematike, ale taktiež veľa ľudí sa zapojí len z dôvodu, pretože chápu, že pomáhajú dobrej a užitočnej veci. [6]

Bez zapojenia projektov distribuovaných výpočtov do vedeckej práce by na jednej strane veľký výpočtový výkon počítačov na svete zostal celkom nevyužitý a na strane druhej takýmto spôsobom je možné napríklad objaviť doteraz neznáme elementárne častice, nájsť dokonca aj mimozemskú civilizáciu alebo zachrániť tisíce ľudských životov.

Vedecké projekty na internete poskytujú vynikajúci zdroj a možnosti zatriktívnenia vyučovania prírodovedných predmetov a v ich rámci aj astronómie a astrofyziky. Takéto vyučovanie je založené na kladení otázok a vlastnom hľadaní odpovedí zo strany žiakov a študentov, či už na vyučovaní v triede alebo pri vypracovávaní domácich úloh a školských projektov. Zapojenie sa do takýchto projektov poskytujú žiakom a študentom veľkú príležitosť na jednej strane učiť sa hrovou a zábavnou formou a na strane druhej pracovať s reálnymi vedeckými dátami a podieľať sa na skutočnom vedeckom výskume.

Pre žiakov a študentov môže byť zapojenie sa do takýchto vedeckých projektov významným motivačným prvkom vo vzdelávaní a môže rozhodnúť aj o ich budúcej vedeckej profesionálnej kariére.

## Literatúra

- [1] *Cosmologyathome.org*. 2012. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://www.cosmologyathome.org/>>.
- [2] *Čo je to grid computing a čo je to vlastne BOINC?*. 2012. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://www.boinc.sk/boinc/co-je-grid-computing-co-je-vlastne-boinc>>.
- [3] *Distribuované výpočty – Úvod*. 26.01.2009. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://dc.czechnationalteam.cz/index.html>>.
- [4] *Einstein@Home: Catch a Wave From Space*. 2012. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://einstein.phys.uwm.edu/>>; <<http://einstein.czechnationalteam.cz/>>.
- [5] *Ekoškola – ako začať, pokračovať a... ako neskončiť*. Centrum environmentálnych aktivít Trenčín, Trenčín, 2004. Strán 72. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <[http://www.zelenaskola.sk/files/Ekoskola\\_-\\_ako\\_zacat\\_pokracovat\\_a...\\_ako\\_neskoncit.pdf](http://www.zelenaskola.sk/files/Ekoskola_-_ako_zacat_pokracovat_a..._ako_neskoncit.pdf)>.
- [6] HABA, J.: *Distribuované výpočty ve škole aneb Školní počítače pomáhají vědě*. In: Počítač ve škole 2012: Celostátní konference učitelů základních a středních škol, 3.–5. dubna 2012, Nové Město na Moravě. 2012. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <[http://www.pocitacveskole.cz/system/files/uzivatel/9/clanky/aba\\_pdf\\_11603.pdf](http://www.pocitacveskole.cz/system/files/uzivatel/9/clanky/aba_pdf_11603.pdf)>.
- [7] HANISKO, P.: *Telesa Slnečnej sústavy, ktoré môžu ohroziť Zem*. In: Týždeň Európskej vedy na PF KU v Ružomberku 12.–18. 11.2007. Pedagogická fakulta Katolíckej univerzity v Ružomberku, Ružomberok, 2007. Str. 314–325. ISBN 978-80-8084-242-0.

- [8] *MilkyWay@Home : Help discover the structures in the Milky Way galaxy*. 2012. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://milkyway.cs.rpi.edu/milkyway/>>.
- [9] *Orbit@Home*. 26.3.2008. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://www.czechnationalteam.cz/view.php?cisloclanku=2008030001>>.
- [10] *Orbit@Home*. 2012. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://orbit.psi.edu/>>.
- [11] *Prehľad projektov BOINC. 2012*. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://www.boinc.sk/projekty/prehľad-projektov-boinc>>.
- [12] *Představujeme BOINC!*. 18.6.2005. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://www.czechnationalteam.cz/view.php?navezclanku=predstavujeme-boinc&cisloclanku=2006080001>>.
- [13] *Projekt Asteroids@home. 2012*. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://asteroidsathome.net/cs/index.html>>.
- [14] *Rozdelenie projektov podľa výpočtovej náročnosti*. 2012. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://www.boinc.sk/projekty/rozdelenie-projektov-podla-vypoctovej-narocnosti>>.
- [15] *SETI@home*. 2008. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://seti.czechnationalteam.cz/>>.
- [16] *Soutěž ve školách i mezi nimi. 2011*. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://soutez.czechnationalteam.cz/>>.
- [17] *Závěrečné shrnutí soutěže ve školách i mezi nimi*. 15. 6. 2012. [online]. [citované 17.10.2012]. Dostupné na internete: <<http://www.czechnationalteam.cz/view.php?navezclanku=zaverecne-shrnuti-souteze-ve-skolach-i-mezi-nimi&cisloclanku=2012060001>>.



## Zkoumání vlnových vlastností světla pomocí laserových ukazovátek – referát o samostatné laboratorní práci

Petr Krýda<sup>1</sup>, Petr Jaroš<sup>2</sup>, žáci 2. ročníku šestiletého Gymnázia Jana Nerudy, Praha; učitel Milan Rojko

Článek je referátem o samostatné laboratorní práci patnáctiletých studentů nižšího gymnázia. Popisuje experimenty s laserovými ukazovátkami, které dokládají vlnové vlastnosti světla.

### 1 Interference světla na dvojštěrbině

Jak prokázat, že je světlo vlnění? Že je zvuk vlněním, jsme ve výuce fyziky dokazovali jednoduchým pokusem. Postavili jsme vedle sebe dva reproduktory a pustili do nich stejný signál z tónového generátoru. Na některých místech jsme zvuk slyšeli slabší (destruktivní interference) a někde silnější (konstruktivní interference). Destruktivní interferenci můžeme považovat za potvrzení vlnové podstaty zvuku.

U světla nelze získat dva zcela shodné světelné svazky ze dvou zdrojů. K tomu nám ale posloužila dvojštěrbina. Ta nám rozdělí světlo z jednoho zdroje na dva svazky o stejných vlastnostech. Pokud podobně jako u zvuku dochází i zde ke konstruktivní a destruktivní interferenci, je to důkazem, že je světlo vlnění.

#### Provedení pokusu:

*Pomůcky:*

laserové ukazovátko

(údaj na ukazovátku  $\lambda = 630\text{--}680\text{ nm}$ )

dvojštěrbina

(údaj u dvojštěrbiny  $d = 0,1\text{ mm}$ )

stínítko

délkové měřidlo

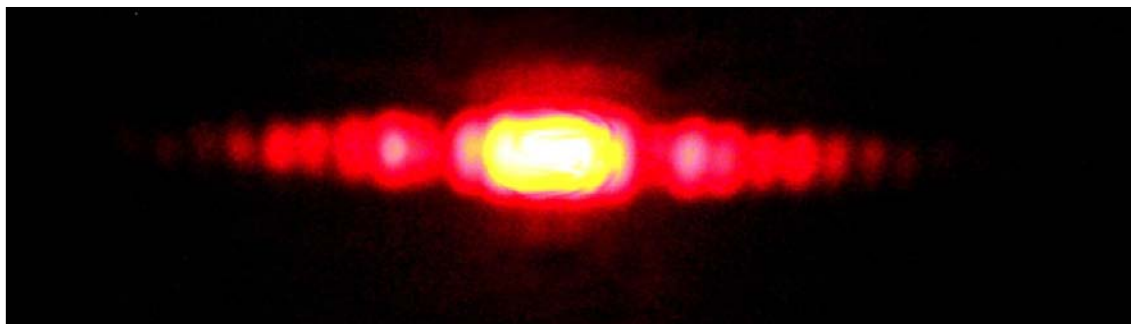
*Postup:*

Na stojan jsme upevnili laserové ukazovátko a před něj jsme umístili dvojštěrbinu (obr. 1). Tak jsme získali dva stejné světelné svazky.

Po osvětlení laserem jsme pozorovali na stínítku výsledek interference (obr. 2).



Obr. 1 – upevněné laserové ukazovátko



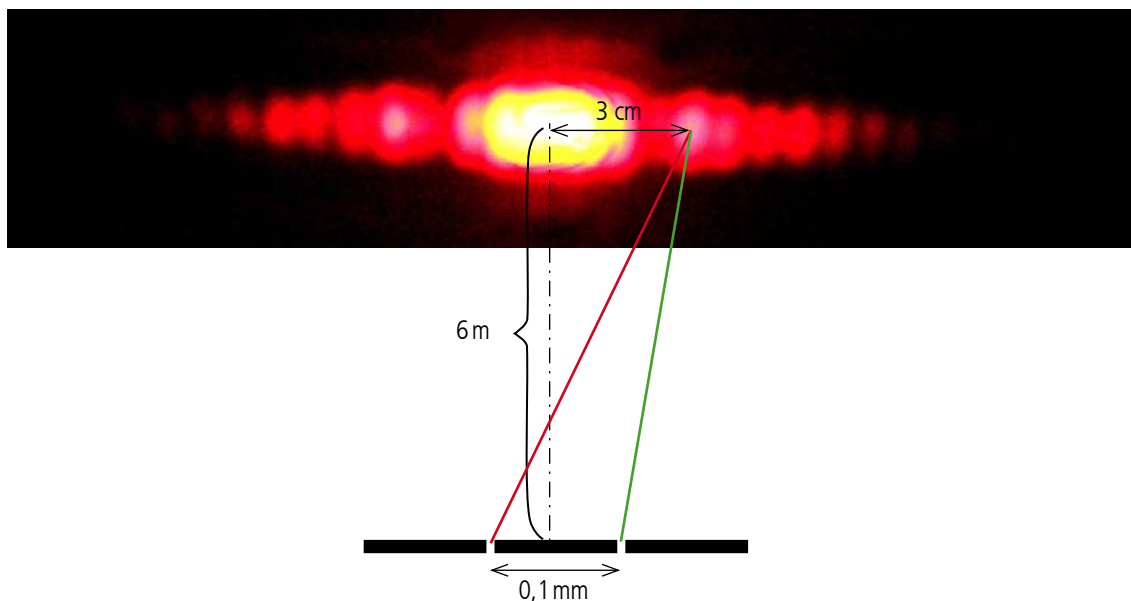
Obr. 2 – interference na stínítku

<sup>1</sup> mamut17@gmail.com

<sup>2</sup> petrjarosg@gmail.com

*Vyhodnocení:*

Z výsledku pokusu můžeme **zhruba** odhadnout vlnovou délku použitého světla. V místě, kde je maximum 1. řádu, je rozdíl vzdáleností od obou zdrojů (zde štěrbin) právě jedna vlnová délka (obr. 3) a dochází zde proto ke konstruktivní interferenci.



Obr. 3 – znázornění rozměrů

Stačí tedy odečíst od červené přepony pravoúhlého trojúhelníka zelenou přeponu pravoúhlého trojúhelníka a máme hrubý odhad vlnové délky světla laseru  $\lambda = \sqrt{0,030\,05^2 + 6^2} \text{ m} - \sqrt{0,029\,95^2 + 6^2} \text{ m} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . Výsledek jako odhad je přijatelný.

## 2 Ohyb světla na tenkých drátcích

Ohyb světla nastává, když světelný svazek překonává dostatečně malou překážku. Aby došlo k ohybu, musí mít překážka srovnatelnou velikost s vlnovou délkou světla. Svazky z původního jednoho svazku, který byl rozdělen překážkou, mají různé dráhy ke stínítku, tudíž u nich dochází k interferenci.

### Provedení pokusu:

#### Pomůcky:

laserové ukazovátko (údaj na ukazovátku  $\lambda = 630\text{--}680 \text{ nm}$ )  
 drátky různých průměrů ( $d_1 = 0,12 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 0,15 \text{ mm}$ ,  $d_3 = 0,46 \text{ mm}$ )  
 stínítko  
 mikrometrický šroub  
 délkové měřidlo

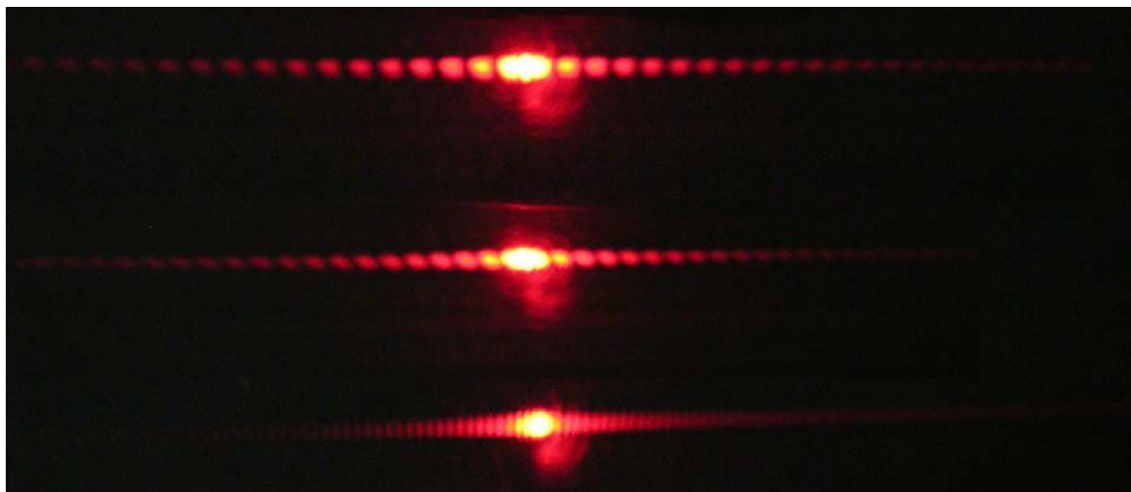
#### Postup:

Mikrometrickým šroubem jsme změřili průměry drátků. Na stojan jsme pak upevnili laserové ukazovátko a do cesty světelného svazku laserového ukazovátko jsme umísťovali drátky. Sestava byla stejná jako při prvním pokusu s dvojštěrbínou (obr. 1). Na stínítku jsme pozorovali, jak se mění ohybový obraz (obr. 5). Je vidět, že s růstem tloušťky drátku se vzdálenost maxim zmenšuje.



Obr. 4 – upevnění drátků





Obr. 5 – interferenční obraz s drátky různé tloušťky

### 3 Měření vlnové délky červeného a zeleného světla laserových ukazovátek pomocí optické mřížky

Optická mřížka je soustava velkého počtu stejně širokých, rovnoběžných štěrbin v malé vzdálenosti od sebe. Když mřížku osvětlíme svazkem světla laseru, dojde k interferenci světelných vln procházejících štěrbinami podobně jako na dvojštěrbíně. Maxima zachycená na stínítku jsou velmi ostrá a jsou od sebe vzdálena tím více, čím jsou štěrbinny mřížky blíží u sebe.

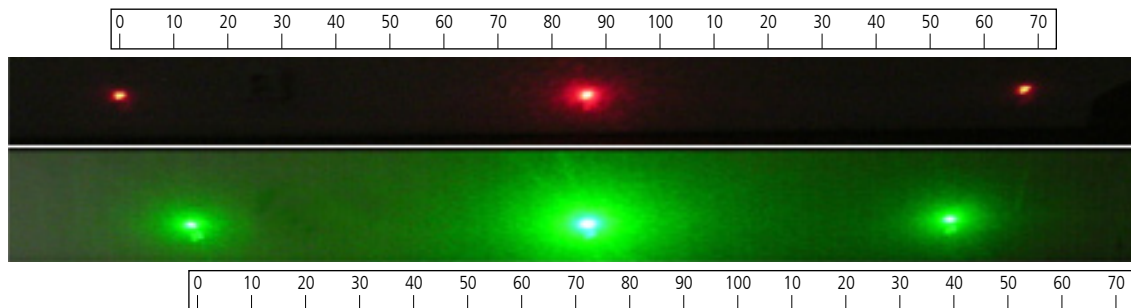
#### Provedení pokusu:

##### Pomůcky:

laserová ukazovátka (údaj na červeném  $\lambda_{\text{č}} = 630\text{--}680\text{ nm}$ , na zeleném  $\lambda_{\text{z}} = 530\text{--}550\text{ nm}$ )  
 mřížka (údaj u mřížky: 500 štěrbin/mm  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow d = 2 \cdot 10^{-6}\text{ m}$ )  
 stínítko  
 délkové měřidlo

##### Postup:

Na stojan jsme upevnili laserové ukazovátka a do cesty světelného svazku laserového ukazovátko jsme umístili optickou mřížku. Sestava byla stejná jako při prvním pokusu s dvojštěrbínou (obr. 1), ale s kratší vzdáleností mřížky od stínítka. Na stínítku jsme pozorovali ohybový obraz pro obě ukazovátka (obr. 6).



Obr. 6 – ohybový obraz zeleného a červeného ukazovátko

#### Vyhodnocení:

Podmínka pro směr, v němž je od původního směru odchýleno 1. maximum, je vidět z obrázku. (obr. 7). Bude to směr, ve kterém je dráhový rozdíl svazků jedna vlnová délka.

Při našem pokusu bylo stínítko od mřížky vzdáleno  $l = 2,5\text{ m}$ , vzdálenosti štěrbin mřížky jsou  $d = 2 \cdot 10^{-6}\text{ m}$ , naměřené vzdálenosti levého a pravého 1. maxima na stínítku byly pro červené světlo  $2a_{\text{č}} = 1,67\text{ m}$ , pro zelené světlo  $2a_{\text{z}} = 1,39\text{ m}$ .

Z naměřených hodnot vychází:

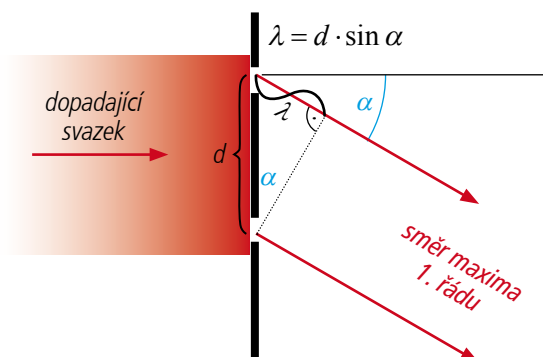
$$\operatorname{tg} \alpha_{\varepsilon} = \frac{a_{\varepsilon}}{l} = \frac{0,835}{2,5} = 0,334 \Rightarrow \alpha_{\varepsilon} = 18,47^{\circ} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sin \alpha_{\varepsilon} = 0,3168, \text{ odtud } \lambda = 634 \text{ nm},$$

$$\operatorname{tg} \alpha_z = \frac{a_z}{l} = \frac{0,695}{2,5} = 0,278 \Rightarrow \alpha_z = 15,54^{\circ} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sin \alpha_z = 0,2678, \text{ odtud } \lambda_z = 536 \text{ nm}.$$

Výsledky vlnových délek jsou v mezích udaných výrobcem na laserech.



Obr. 7 – podmínka pro směr odchýlení 1. maxima

#### 4 Interference světla na tenké slídové destičce

Další metodou, jak lze docílit z jednoho zdroje světla interferující svazky, je odraz. Při svém pokusu jsme použili pro odraz tenkou slídovou destičku, kterou jsme na zadní stěně začadili plamenem svíčky. Úzký světelný svazek ze zeleného laseru jsme rozšířili pomocí rozptylky a získali tak větší oblast dopadu světla na destičku. Světlo dopadající na slídovou destičku se odráží od přední strany, ale i zadní strany destičky a dochází k interferenci obou svazků.

##### Provedení pokusu:

*Pomůcky:*

zelené laserové ukazovátko (údaj na ukazovátku  $\lambda_z = 530 - 550 \text{ nm}$ )

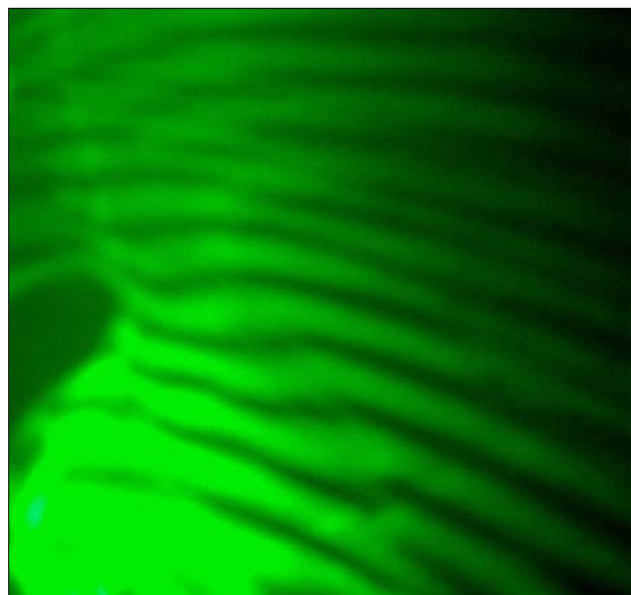
tenká slídová destička se začazenou jednou stranou  
rozptylná čočka ( $f = -4 \text{ cm}$ ); stínítko



Obr. 8 – sestavení aparatury

*Postup:*

Na stojan jsme upevnili laserové ukazovátko a před něj jsme umístili rozptylnou čočku a slídovou destičku (obr. 8). Odražené světlo jsme vhodným natočením destičky namířili na blízké stínítko.



Obr. 9 – interferenční proužky

*Vyhodnocení:* Na stínítku se objevila soustava tmavých a světlých interferenčních proužků (obr. 9).

**Pokusy, které jsme provedli, vedou jednoznačně k závěru, že je světlo vlněním.**

##### Literatura:

ROJKO, Milan a kol. učitelů GJN. *FYZIKA pro 2.ročník GJN*. publikace pro vnitřní potřebu školy.  
Všechny fotografie a obrázky ve zprávě jsou originály z popsaných experimentů.



## Závery konferencie „Astronomické vzdelávanie na základných a stredných školách v 21. storočí“

*Peter Hanisko, Pedagogická fakulta Katolíckej univerzity v Ružomberku; Miroslav Randa, Fakulta pedagogická Západočeskej univerzity v Plzni; Vladimír Štefl, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně<sup>1</sup>*

V dňoch 13.–14. júna 2013 sa na Pedagogickej fakulte Katolíckej univerzity v Ružomberku pod záštitou dekana Pedagogickej fakulty Katolíckej univerzity v Ružomberku uskutočnila vedecká konferencia „**Astronomické vzdelávanie na základných a stredných školách v 21. storočí**“. Organizátorom podujatia bola Katedra fyziky Pedagogickej fakulty Katolíckej univerzity v Ružomberku, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně, Fakulta pedagogická Západočeskej univerzity v Plzni, Slovenská astronomická spoločnosť pri SAV, Česká astronomická spoločnosť a Slovenská fyzikálna spoločnosť.

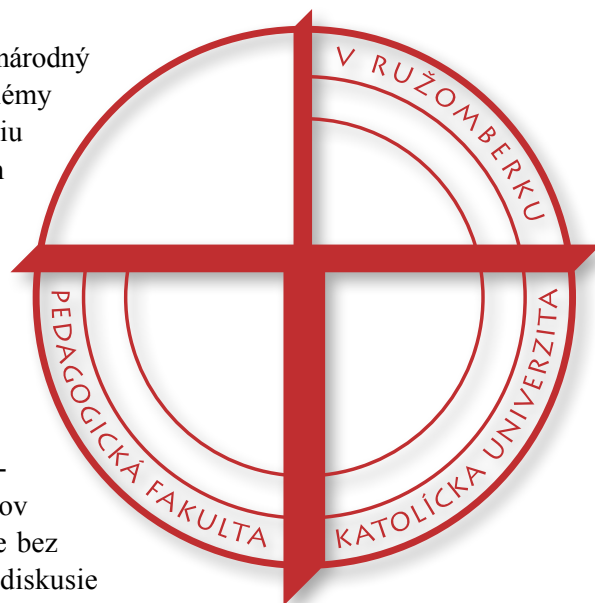
Hlavným cieľom vedeckej konferencie bolo vytvoriť medzinárodný priestor pre výmenu poznatkov, analyzovať aktuálne problémy v oblasti vyučovania astronómie a prispieť ku skvalitneniu vyučovania základných poznatkov z astronómie na prvom a druhom stupni základných škôl, stredných školách nie len v rámci vyučovania v škole, ale aj v rámci mimoškolskej záujmovej činnosti v oblasti astronómie (astronomické krúžky, astronomická olympiáda, astronomické súťaže apod.).

Astronómia je na celom svete hodnotená ako veľmi vhodný a užitočný predmet, najmä pre vyučovanie prírodných vied. Základy astronómie sú bezpochyby súčasťou základného vzdelania každého človeka. Z toho dôvodu je nepochopiteľné jej postupné vyradovanie zo vzdelávacích plánov na základných školách a najmä na gymnáziách. To sa deje bez riadnej analýzy súčasného stavu vyučovania fyziky a bez diskusie s odborníkmi, združenými v Českej astronomickej spoločnosti a Slovenskej astronomickej spoločnosti a najmä samotných učiteľov. Administratívne riešenie problematiky gymnaziálneho vyučovania fyziky, reštrikcia vyučovacích hodín logicky vedie k vypúšťaniu celých tematických celkov, vrátane astronomického. Paradoxne tak bola zo vzdelávania vyradená jedna z najcharakteristickejších a najviac sa rozvíjajúcich vied 21. storočia, veda skúmajúca postavenie človeka vo vesmíre, veda majúca pri vyučovaní obrovský motivačný náboj.

Na konferencii sa zúčastnilo takmer 60 vedeckých pracovníkov a odborníkov z vysokých, stredných a základných škôl, ústavov Českej akadémie vied a Slovenskej akadémie vied a ľudových hviezdární a planetárií z Českej republiky a Slovenskej republiky. Na konferenciu spolu odznelo 33 príspevkov a bolo prezentovaných 21 posterov.

Konferenciu otvorila **Ing. Zuzana Gejdošová, PhD.**, prodekanka pre výchovu a vzdelávanie Pedagogickej fakulty Katolíckej univerzity v Ružomberku. Po privítaní hostí a slávnostnom príhovore boli prezentované jednotlivé príspevky prihlásených účastníkov. Úvodnú otváraciu prednášku konferencie predniesol **RNDr. Jiří Grygar, CSc.** z Fyzikálneho ústavu Akadémie vied Českej republiky.

Počas celého prvého rokovacieho dňa mali účastníci konferencie možnosť pomocou astronomického ďalekohľadu pozorovať vesmírne objekty (Slnko, planétu Venuša, Mesiac). Po skončení prvého rokovacieho dňa bol pre účastníkov konferencie pripravený spoločenský večer a po zotmení bolo pripravené nočné pozorovanie oblohy.



<sup>1</sup> peter.hanisko@ku.sk, randam@kmt.zcu.cz, steffl@physics.muni.cz



## Závery a odporúčania konferencie je možné zhrnúť do niekoľkých bodov:

- Astronomické poznatky je možné zaradiť do vyučovania fyziky prostredníctvom vybraných modulov spojovaných s konkrétnymi fyzikálnymi témami, v prípade vyučovania matematiky zaradením vhodných úloh s astronomickými námetmi. Podobne je možné uplatniť astronomické poznatky aj v iných predmetoch, napríklad v zemepise, prírodovede, chémii. K tomu je potrebné pripraviť súčasných aj budúcich učiteľov fyziky, matematiky a prírodovedných predmetov.
- Účastníci konferencie prezentovali veľké množstvo zaujímavých podnetov pre konkrétne zlepšenie vyučovania astronómie, predovšetkým spojených s využívaním moderných informačných technológií.
- Nedostatkom vyučovania astronómie je kvalita učebníc, predovšetkým prírodovedy v nižších ročníkoch základnej školy, chýba ich riadna, odborná recenzia.
- Pri tvorbe astronomickej študijnej literatúry je vhodné využívať e-learning, ako to bolo ukázané v celom rade príspevkov na konferencii.
- Zaslúženú zvýšenú pozornosť je potrebné venovať žiakom so záujmom o astronómiu prostredníctvom aktivizujúcich foriem, predovšetkým astronomickej olympiády a iných súťaží. Práve v medzinárodnom meradle dosahujú žiaci obidvoch republík dlhodobo výborné výsledky.
- Je nutné dbať na zvyšovanie úrovne astronomickeho vzdelávania učiteľov, bez úniku finančných prostriedkov do organizácií, ktoré nenesú priamu zodpovednosť za vzdelávanie.
- Veľmi vhodnou a osvedčenou formou ďalšieho vzdelávania učiteľov sú sústredenia na hviezdárňach, napríklad vo Valašskom Meziříčí, Plzni, Rimavskej Sobote, na Kysuckej hviezdárni v Kysuckom Novom Meste, Krajskej hviezdárni v Žiline a inde. Veľmi úspešná je aj dlhoročná vzájomná cezhraničná spolupráca moravských a slovenských hviezdární.

Konferencia bola veľmi úspešná, čo na záver jednomyselne skonštatovali všetci účastníci. Prispela k vzájomnej výmene informácií a poznatkov hlavne v oblasti vyučovania astronómie na všetkých typoch a stupňoch škôl na Slovensku a v Čechách a v oblasti popularizácie astronomickeho poznatkov, kde veľkú úlohu zohrávajú predovšetkým hviezdárne a planetária v obidvoch republikách. Bolo skonštatované, že musíme riešiť podobné problémy a prekonávať podobné prekážky pri zabezpečovaní pedagogického procesu a pri popularizácii astronómie.

Konferencia umožnila účastníkom nadviazať nové kontakty a začať možnú spoluprácu a poslúžila k výmene názorov a skúseností. Prezentované bolo veľké množstvo podnetných návrhov, ako zlepšiť vyučovanie astronómie. Výsledky budú zachytené v recenzovanom zborníku z konferencie.



Obr. 1 – RNDr. Jiří Grygar, CSc.  
pri prednáške (foto: Pavol Rapavý)



Obr. 2 – doc. RNDr. Martin Šolc, CSc.  
pri prednáške (foto: Zuzana Suková)



Obr. 3 – Pohľad na účastníkov  
konferencie (foto: Peter Zbončák)



Obr. 4 – Denné pozorovanie oblohy  
(foto: Peter Zbončák)

Obr. 5 – Nočné pozorovanie oblohy  
(foto: Pavol Rapavý)





## Hrajme si i hlavou

Jana Česáková, Michaela Křížová<sup>1</sup>, Fakulta přírodovědecká Univerzity Hradec Králové

Víte, kdy se v televizi nejčastěji skloňuje slovo fyzika? Když nějaká „celebrita“ řekne: „Na konzervatoř jsem šla/šel hlavně proto, že tam nebyla fyzika.“ Mediální prostor pro přírodovědecké disciplíny je zoufale malý. Není se proto čemu divit, že o tyto fascinující vědy potom není příliš velký zájem. Proto je jedním z nejdůležitějších úkolů vysokých škol a celé vědecké obce popularizace. I Univerzita Hradec Králové si uvědomuje tuto nutnost, a tak zde ve dnech 20.–21. 6. 2013 proběhl již 6. ročník akce „Hrajme si i hlavou“.

Katedra fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Hradec Králové začala připravovat akci „Hrajme si i hlavou“ již v roce 2008 a dnes patří k tradičnímu programu konce školního roku mnoha základních a středních škol nejen v Královéhradeckém kraji. Nicméně na akci přichází i děti školou ještě nepovinné a také široká veřejnost, kterou láká mnoho zajímavostí, jež jsou každoročně k vidění. Tato popularizační akce probíhá pod širým nebem v krásném prostředí Tylova nábřeží s výhledem na secesní unikát – malou vodní elektrárnu Hučák. Zde je pro návštěvníky vždy připraveno velké množství stánků s pokusy a činnostmi, které si mohou na vlastní kůži vyzkoušet.



Na stáncích najdete experimenty z mnoha oblastí – většina je zaměřena na fyziku, ale neopomíjíme také chemii, biologii, matematiku a ekologii. Jak ale velí i červnový termín akce, je vše předkládané zábavnou a hravou formou. Oblíbenými stálicemi na stáncích jsou např. ohňová kouzla, hrátky se suchým ledem, chůze po hladině – aneb vana se směsí škrobu a vody, optické klamy, pozorování hvězdařskými dalekohledy a zajímavosti o vesmíru, obří bubliny nebo netradiční pokusy se zvukem, optikou i elektřinou.

Součástí akce bývají i přednášky, které probíhají v univerzitní budově u nábřeží, nebo experimentální show,

kteří doplňují atmosféru stánků venku. Mezi nimi nesmí chybět pokusy s kapalným dusíkem nebo fyzikální fakír. Letošní novinkou byla fyzika v „temné slují“. Velmi žádané jsou i přednášky kolegů z Hvězdárny a planetária Hradec Králové, kteří na akci spolupracují od začátku.

Přidávají se k nám i další spolupracovníci. Velmi zajímavý stánek s pomůckami pro nevidomé připravilo Speciálně pedagogické centrum pro zrakově postižené děti Hradec Králové. Zde bylo možné jen podle hmatu poznávat různé obrázky a bankovky, vyzkoušet si chůzi se slepeckou holí nebo si třeba napsat své jméno Braillovým písmem. Svě (především robotické) výtvary, se kterými sklízejí i mnoho cen, přišli představit děti a vedoucí z Domu dětí a mládeže v Hradci Králové. V neposlední řadě se představil i stánek ELI beamlines, který seznámil návštěvníky s připravovaným projektem na stavbu obřího laseru u Prahy a předvedl zajímavé experimenty s lasery.

<sup>1</sup> Jana.Cesakova@uhk.cz, Michaela.Krizova@uhk.cz



Jako motivaci k aktivitě na stáncích jsme zavedli speciální měnu – tzv. hlavounky. Děti je získávají za správné odpovědi a vyzkoušení úkolů. Za hlavounky si potom mohou koupit různé ceny – balónky, pišťalky, kompas, magnetky atd. Zvláštní a velmi žádanou cenou letos byla i vstupenka na večerní program na hvězdárně. I tak se můžou přírodní vědy dostat do podvědomí jako zajímavá alternativa pro volný čas.

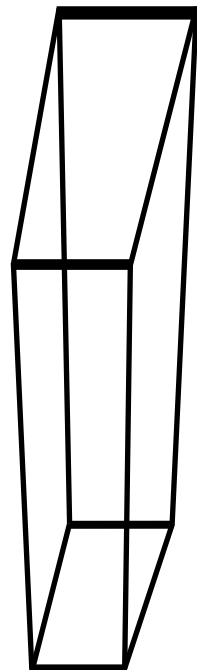
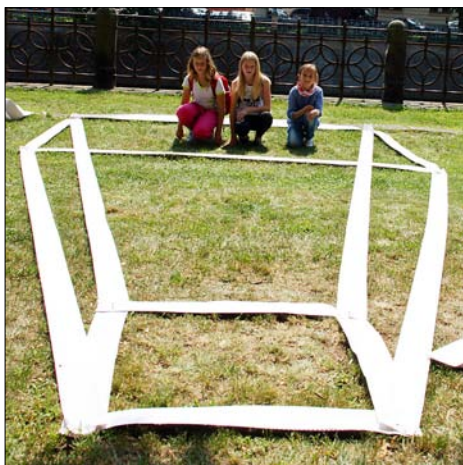
Každý prezentovaný pokus na akci má svůj návod. Ten obsahuje základní informace – pomůcky, popis, úkol, vysvětlení a případně zdroje a alternativy pokusu nebo odkazy na další informace. Většinou je zadání a řešení na různých stranách, aby tak děti opravdu musely chvíli přemýšlet. Na akci se objevuje více než 500 pokusů a námětů!

Uvedme nyní několik pokusů, které se na „Hrajme si i hlavou“ objevily. Zaměříme se na populární „kouzla“.



### Bezpečně na kostce

Na papír vytiskněte uvedený obrázek kostky. I když to tak nevypadá, je to opravdu kostka. Stačí si dát papír s obrázkem na dlaň, zavřít jedno oko a podívat se na kostku. Bude vypadat jako by byla 3D. Kostku si i můžete nakreslit křídami na zem nebo vyrobit z papíru, jak jsme to udělali my. Podobné 3D obrázky jsou populární jako pouliční umění nebo se využívají například v dopravě, kdy se na silnici kreslí značky tak, aby byly čitelné z polohy pro řidiče.







## Levitující fakír

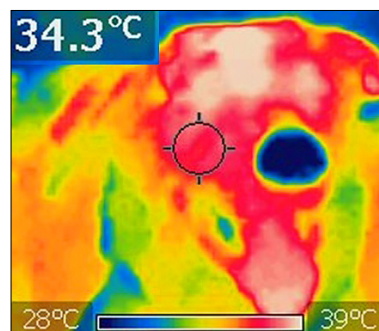
Děti znají z výletů především do zahraničí mnoho zajímavých pouličních umělců. Mezi nimi se občas objevují i levitující fakíři, kteří se opírají pouze o hůl. Příprava tohoto pokusu je sice složitější, než byla v prvním případě, protože je potřeba svařit kovovou konstrukci. Výsledek však stojí za tu námahu! Efekt je dokonalý! Konstrukce je jednoduchá: kovová tyč, která vypadá jako hůl (dokonalou iluzi získáme



nastrčením plastového ukončení tyče u země), o kterou se fakír opírá, je zatlučena hluboko do země. Pod volným oblečením fakíra vede kolmo od hole kovová tyč k malému zahnutému sedátku, na kterém sedí fakír.

## Jak oblafnout i FBI

Oblíbeným stánkem na „Hrajme si i hlavou“ je i ten s termokamerou. Zde si děti zkoušely, jak funguje termokamera, co se s ní dá všechno pozorovat a k čemu se v praxi používá. Děti se dívaly na své obličeje a ruce a hledaly nejchladnější místa, pozorovaly různé předměty nebo kolemjdoucí psy. Z filmů děti ví, že se pomocí termokamery dá „dívat“ i ve tmě. Jak je to možné? Jednoduše řečeno termokamerou zachycujeme tepelné záření, které vyzařuje každý člověk. I v temném lese tedy odhalí živou bytost, protože člověk má vyšší teplotu než jeho okolí. Ale nešlo by tomu uniknout? Správný agent to vymyslí! Stačí použít záchranářskou fólii. Tou zabráníme úniku tepelného záření, a tak se staneme pro termokameru neviditelnými! Pořizovací cena termokamery je sice poměrně vysoká, ale i běžné kamery nebo fotoaparáty mají IR filtr nebo se dá filtr snadno vyrobit (návod např. [1]).





Letošní ročník přilákal přes 3 000 návštěvníků. I tak ale chceme o akci informovat více. Abychom rozšířili povědomí o naší akci a také prohlubovali zájem žáků o fyziku, založili jsme pro „Hrajme si i hlavou“ i facebookový profil. Tam jsme pravidelně již několik týdnů před akcí umísťovali zajímavé fyzikální fotografie a videa. Doufáme, že takto budeme pokračovat nadále i během celého roku. Uvědomujeme si, že dostat se do „dětského“ světa s fyzikou v jiném světle bude ještě náročná práce, ale tato cesta se nám jeví jako dobrý začátek. K tomu nám pomáhá i maskot Albert.

Pokud budete chtít pořádat podobnou akci, nebo třeba i jen okořenit výuku fyziky nebo přírodovědy, můžete hledat inspiraci např. na stránkách Veletrhu nápadů učitelů fyziky, který se v letošním roce bude konat v Hradci Králové. Na Katedře fyziky PřF UHK také připravujeme semináře pro učitele, které jsou zaměřené na jednoduché pokusy s jednoduchými pomůckami.



Další informace o naší akci naleznete na [www.hrajme-si-i-hlavou.cz](http://www.hrajme-si-i-hlavou.cz).

### Zdroje:

- [1] POLÁK, Zdeněk. *Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky: Náměty na experimenty s infračerveným zářením*. [online]. [cit. 2013-07-01]. Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/15-24-Polak.html>



## Okresní kolo 54. ročníku Fyzikální olympiády v kategoriích E a F

Ivo Volf, Pavel Kabrhel<sup>1</sup>, Ústřední komise Fyzikální olympiády, Univerzita Hradec Králové

Ve školním roce 2012/2013 proběhl již 54. ročník soutěže Fyzikální olympiáda, kterou pořádá Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky spolu s Jednotou českých matematiků a fyziků. Tato soutěž byla založena roku 1959 a od 4. ročníku byla rozšířena o kategorii, určenou žákům základních škol.

V letošním roce byly pro žáky základních škol určeny kategorie E, F a G. Kategorie E byla určena žákům 9. ročníků, kategorie F žákům 8. ročníků a kategorie G žákům 7. ročníků a jim věkově odpovídajícím žákům tříd nižšího gymnázia. Všechny tři kategorie měly jak domácí (školní), tak okresní kolo. V domácím kole kategorie E a F měli žáci za úkol vyřešit sedm teoretických úloh a jednu experimentální úlohu. Úspěšným řešitel se stal ten žák, který v pěti úlohách dostal alespoň pět bodů z deseti a vyřešil experimentální úlohu.

V okresním kole, které se uskutečnilo 26. března 2013, bylo úkolem žáků vyřešit čtyři teoretické úlohy. Každá úloha byla bodovaná, za jednu úlohu se dalo získat 10 bodů. Podívejme se nyní na zadání úloh jak v kategorii E, tak v kategorii F. Po zadání následuje řešení úloh pro kontrolu i s bodovým hodnocením. Zkuste si úlohy vyřešit a zjistit, jak byste dopadli. Věříme, že pro vás budou úlohy jednoduché a zvládnete je na plný počet bodů.

Úlohy okresního kola jsou určeny pro zájemce o fyziku, tudíž byly zvoleny tak, aby na jednu stranu mohl skoro každý soutěžící získat alespoň polovinu bodů za každou úlohu, ale zároveň měly také část náročnější, aby bylo možno vytipovat ty nejlepší soutěžící. Za řešení úloh v okresním kole mohl řešitel získat celkem 40 bodů, přičemž úspěšným řešitelem se stal ten soutěžící, který byl hodnocen alespoň ve dvou úlohách nejméně 5 body a celkové hodnocení dosáhlo alespoň 14 bodů.

### Úlohy pro kategorii E

#### FO54E1: Vytápění místnosti

Délka učebny fyziky je 11,2 m, šířka 7,2 m a výška 2,8 m. Hustota vzduchu při teplotě 20 °C je  $1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , měrná tepelná kapacita vzduchu je  $1\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$  a vody  $4\,200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$ .

- Urči hmotnost vzduchu v místnosti. Unesl bys tento vzduch, stlačený do igelitového pytle?
- Jestliže by se vlivem netěsností oken a dveří i vedením tepla stěnami snížila teplota v místnosti za 1 hodinu o 5 °C, jaké teplo musí odevzdat teplá voda v ústředním (etážovém) topení vzduchu, aby se opět ohřál na počáteční teplotu? Je-li na vstupu do tělesa teplota vody v potrubí 65 °C a na výstupu teplota vody v potrubí 25 °C, kolik litrů vody musí topením protéct?
- Jaký je výkon radiátoru?

#### FO54E2: Balení papíru

Bílý křídový papír se prodává v balících po 100 ks ve formátu A4, tedy 297 mm × 210 mm, jeho gramáž je  $135 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$ . To znamená, že hmotnost daného papíru je 135 g, je-li obsah plochy papíru 1 m<sup>2</sup>.

- Urči hmotnost jednoho balíku křídového papíru formátu A4.
- Jaká je hmotnost jednoho listu křídového papíru?
- Jaké jsou rozměry papíru formátu A0? Kolikrát ho musíme přeložit „napůl“, abychom dostali formát A4? Nakresli náčrtek, odpovídající tomuto postupu.
- Jaká je hustota papíru a tloušťka jednoho listu, je-li tloušťka balíku 22 mm?



<sup>1</sup> ivo.volf@uhk.cz, pavel.kabrhel@uhk.cz



## FO54E3: Z Hradce do Prahy



Jedeme-li z Hradce Králové do Prahy, můžeme využít dálnice D11. Automobil o hmotnosti 1 200 kg se po určitý úsek dálnice pohybuje stálou rychlostí  $126 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , odporové síly proti pohybu se pro daný typ karosérie dají vyjádřit celkovou hodnotou  $F = k \cdot v^2$ , kde konstanta  $k = 0,54 \frac{\text{N} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^2}$  pro případ, že rychlost uvádíme ve  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  a sílu v newtonech.

- Urči minimální tahovou sílu, kterou musí vyvinout motor automobilu, aby se při dané rychlosti pohyboval automobil rovnoměrně.
- Urči mechanický výkon automobilu.
- Urči spotřebu automobilu (propočítává se v litrech paliva na 100 km) při pohybu po dálnici, je-li celková účinnost motoru automobilu 22 %. Dokonalým spálením litru benzínu získáme 32,6 MJ tepla.
- Jestliže čtyřtákní motor obsahuje čtyři válce, kolik paliva se musí dostat při jednom cyklu do válce, koná-li motor  $3\,000 \frac{\text{ot}}{\text{min}}$ ?

## FO54E4: Spotřebiče v domácnosti

V domácnosti jsou paralelně (vedle sebe) zapojeny tyto spotřebiče s následujícími údaji: rychlovarná konvice 2 000 W/230 V, mikrovlnná trouba 1 200 W/230 V, žárovka 60 W/230 V a druhá žárovka 40 W/230 V.

- Jaký proud prochází jednotlivými spotřebiči v domácnosti při jejich zapnutí, je-li síťové napětí 230 V? Není přetížen šestnáctiampérový jistič, jsou-li zapojeny všechny čtyři spotřebiče současně?
- Jaký je odpor jednotlivých spotřebičů v domácnosti při síťovém napětí 230 V?
- Jaký proud bude procházet jednotlivými spotřebiči, jestliže síťové napětí se zvětší na 235 V (přepětí v síti), ale odpor jednotlivých spotřebičů zůstane stejný?
- Jak se změní proud protékající daným jističem, jestliže k uvedeným spotřebičům zapojíme ještě paralelně pátý spotřebič (toustovač 900 W/230 V) a všechny spotřebiče budou současně zapnuty při síťovém napětí 230 V?

## Úlohy pro kategorii F

## FO54F1: Převoz dřeva

Řidič jedoucí po silnici předjíždí vlek, jehož rozměry odhadneme: délka vleku 160 cm, šířka vleku 130 cm. Na jeho podlaze jsou uloženy ve směru jízdy trámků o délce 240 cm, výška každého trámků je 14 cm a šířka 9 cm. Hustota čerstvého smrkového dřeva je  $650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , vysušeného dřeva  $450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Trámků jsou ve vleku uloženy jen v jedné vrstvě.

- Urči objem dřeva ve vleku.
- Urči hmotnost dřeva ve vleku, jedná-li se o čerstvé, nebo vysušené.
- Jak se změní výše uvedené hodnoty, je-li na vlečném vozíku dřevo ve dvou vrstvách?
- Je-li těžiště prázdného vozíku přesně v místě, jehož svislice prochází prostředkem ložné plochy, jak se posune těžiště při naložení jedné nebo dvou vrstev trámků?



### FO54F2: Silniční závod

Petr sleduje tatínka v automobilu při tréninku na silniční závody. Na startu z klidu se automobil dá do pohybu a během 15 s získá rychlost  $108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , kterou pojede dále po dobu 30 s. Poté bude během 10 s zvyšovat svou rychlost až na  $144 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  a touto rychlostí se bude pohybovat po dobu 20 s. Přijede tak do úseku trasy s několika zatáčkami, a proto během 15 s zmenší svou rychlost na  $54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , oblast zatáček touto rychlostí projede za 60 s, potom zvýší svou rychlost za 50 s na  $144 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  a během následujících 80 s se zastaví v místě, kde se začal rozjíždět. Pro úseky, kde se automobil zrychluje nebo zpomaluje, budeme předpokládat, že závislost rychlosti na čase je lineární.

- Urči, jak dlouho trvala jízda po trase.
- Nakresli graf závislosti rychlosti na čase  $v = f(t)$ .
- Jakou dráhu ujel automobil v úsecích, kdy jel rovnoměrně?
- Jakou dráhu ujel automobil během celé jízdy po okruhu?
- Jaká je průměrná rychlost automobilu na celé trase?



### FO54F3: Transfuze krve

Při transfuzi krve po operaci bylo použito tzv. kapkové metody tak, že byla udržována frekvence 40 kapek za minutu, jež odkapávaly z trubičky, vycházející ze zásobníku krve. Celkový objem krve byl 250 ml a měl být přesunut do krevního oběhu za 1,5 h.

- Odhadni průměr kapky krve postupující do krevního oběhu pacienta, je-li ti známo, že objem koule o průměru  $d$  je dán matematickým vztahem  $V = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d^3$ .
- Je-li možné přijmout, že hustota krve je  $1\,050 \frac{\text{g}}{\text{litr}}$ , urči hmotnost kapky krve při této transfuzi.

### FO54F4: Voda ke koupání

Z vodovodního ventilu označeného červeně můžou vytékat za 1 min 4 litry vody o teplotě  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , z modře označeného může vytékat 6 litrů vody o teplotě  $15\text{ }^\circ\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita vody je přibližně  $4\,200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$ .

- Do vany chce Adélka nechat natéct 140 litrů vody tak, že ventily uvolní na maximum. Jak dlouho bude natékat stanovený objem vody a jaká bude výsledná teplota vody?
- Protože na koupání se doporučuje užít vodu o teplotě  $35\text{ }^\circ\text{C}$ , kolik studené či teplé vody je třeba přidat, aby této teploty bylo dosaženo?
- Protože však po přidání vody Adélka ještě následujících 30 min telefonovala, voda ve vaně vychladla o  $8\text{ }^\circ\text{C}$ . Určete, kolik teplé vody musí ještě nechat přitéci, aby se teplota vody ve vaně dostala na počáteční teplotu, tedy  $35\text{ }^\circ\text{C}$ . Jaký bude objem vody ve vaně nyní?



### Řešení úloh pro kategorii E

Při řešení fyzikálních úloh se zpravidla nejprve dojde k obecnému řešení a teprve poté se dosadí jednotlivé hodnoty. Úlohy z fyzikální olympiády byly sice určeny pro nadané žáky, respektive pro žáky, kteří mají zájem o fyziku, ale protože se jedná o žáky základních škol, je u řešení úloh tolerováno počítání s dílčími číselnými výsledky. Je však nutné dané výsledky správně zaokrouhlit.

**FO54E1: Vytápění místnosti**

Zadané údaje v textu úlohy: délka učebny fyziky je 11,2 m, šířka 7,2 m a výška 2,8 m. Hustota vzduchu při teplotě 20 °C je  $1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , měrná tepelná kapacita vzduchu je  $1\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{°C}}$  a měrná tepelná kapacita vody  $4\,200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{°C}}$ .

- a) Určíme hmotnost vzduchu v místnosti. Unese žák devátého ročníku tento vzduch, stlačený do igelitového pytle? **3 b**

$$m = V \cdot \rho$$

$$m = 11,2 \cdot 7,2 \cdot 2,8 \cdot 1,2 \text{ kg} \doteq 271 \text{ kg}.$$

Otázka, jestli žák 9. ročníku unese vzduch stlačený do pytle, měla vést k zamyšlení, že hmotnost „lehkého“ vzduchu nemusí být vždy malá. Při podrobnějším řešení otázky však zjistíme, že nepatří k nejjednodušším. Velmi totiž záleží, do jak velkého pytle budu vzduch stlačen, respektive jaká vztlková síla bude na pytel působit. Zároveň je otázkou, zda igelitový pytel nepraskne při stlačování vzduchu do něho. Proto není ve skutečnosti jednoduché na tuto otázku odpovědět a ani nejsou v zadání k tomu potřebné údaje.

- b) Teplota v místnosti se snížila za 1 hodinu o 5 °C, určíme únik tepla. Je-li na vstupu do tělesa teplota vody v potrubí 65 °C a na výstupu teplota vody v potrubí 25 °C, určíme, kolik litrů vody musí topením protéct. **4 b**

Teplá voda musí odevzdat vzduchu teplo:

$$Q = m \cdot c_1 \cdot \Delta t$$

$$Q = 271 \cdot 1\,000 \cdot 5 \text{ J} = 1\,355 \text{ kJ}.$$

Objem vody, která musí protéct za hodinu tělesem, je dán:

$$V = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_1 - t_2) \cdot \rho}$$

$$V = \frac{1\,355\,000}{4\,200 \cdot (65 - 25) \cdot 1\,000} \text{ m}^3 \doteq 8,1 \text{ l}.$$

- c) Jaký je výkon radiátoru? **3 b**

$$P = \frac{Q}{\tau}$$

$$P = \frac{1\,355\,000}{3\,600} \text{ W} \doteq 380 \text{ W}.$$

Výkon radiátoru je přibližně 380 W za předpokladu, že teplo uniká během jedné hodiny rovnoměrně a současně se do radiátoru přivádí teplá voda.

**FO54E2: Balení papíru**

Zadané údaje z textu: v jednom balíku je 100 ks ve formátu A4, tedy 297 mm × 210 mm, jeho gramáž je  $135 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$ . To znamená, že hmotnost daného papíru je 135 g, jestliže obsah plochy papíru je 1 m<sup>2</sup>.

- a) Určíme hmotnost jednoho balíku křídového papíru formátu A4. **3 b**

Obsah plochy jednoho listu papíru je:

$$S = 0,297 \cdot 0,21 \text{ m}^2 = 0,062\,37 \text{ m}^2.$$

Obsah plochy 100 listů papíru je:

$$S_{100} = 100 \cdot 0,297 \cdot 0,21 \text{ m}^2 = 6,237 \text{ m}^2.$$

Gramáž je  $135 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$ , z toho celková hmotnost balíku:

$$m = 6,237 \cdot 135 \text{ g} \doteq 842 \text{ g}.$$

- b) Určíme hmotnost jednoho listu křídového papíru **2 b**

$$m_2 = 0,062\,37 \cdot 135 \text{ g} \doteq 8,42 \text{ g}.$$

- c) Určíme rozměry papíru formátu A0. K tomu nakreslíme náčrtek, odpovídající postupnému překládání.



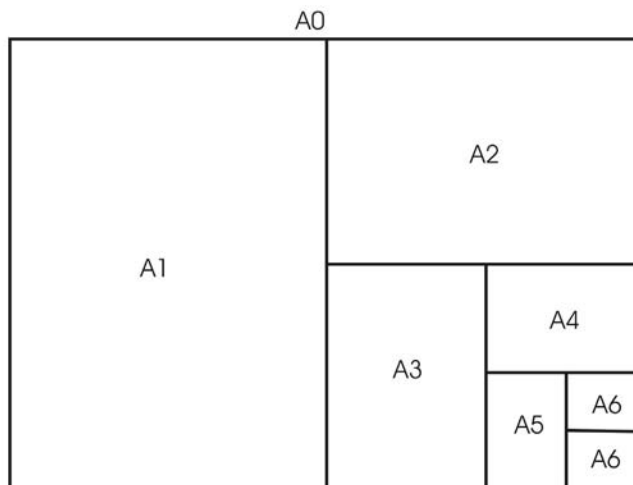
Jestliže čtyřikrát přeložíme list papíru formátu A0, získáme list formátu A4. **2 b**

Rozměry listu papíru formátu A0 jsou:

$$a = 4 \cdot 210 \text{ mm} = 840 \text{ mm}$$

$$b = 4 \cdot 297 \text{ mm} = 1188 \text{ mm}.$$

Obsah listu papíru označeného A0 je tedy  $0,997\,92 \text{ m}^2 \doteq 0,998 \text{ m}^2$ , přibližně  $1,00 \text{ m}^2$ . To je v souladu s normou ČSN EN ISO 216, podle níž je řada A formátů papíru definována právě tak, že list A0 má plochu  $1 \text{ m}^2$  a poměr stran  $1 : \sqrt{2}$ .



d) Tloušťka balíku je 22 mm. **3 b**

Objem všech listů papíru v balíku o tloušťce  $d$  a hustota papíru je:

$$V = S \cdot d$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{S \cdot d}$$

$$\rho = \frac{0,842}{0,062\,37 \cdot 0,022} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \doteq 610 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Tloušťka jednoho listu je:

$$d_1 = \frac{22}{100} \text{ mm} = 0,22 \text{ mm}.$$

### FO54E3: Z Hradce do Prahy

Zadané údaje: hmotnost automobilu 1 200 kg, pohybuje se stálou rychlostí  $126 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ , odporové síly proti pohybu  $F = k \cdot v^2$ , kde  $k = 0,54 \frac{\text{N} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^2}$ .

a) Předpokládáme, že se automobil pohybuje po rovině. Určíme minimální tahovou sílu, kterou musí vyvinout motor, aby se při dané rychlosti pohyboval automobil rovnoměrně: tahová síla  $F_t$  musí být rovna odporové  $F$  **3 b**

$$F_t = F = k \cdot v^2$$

$$F_t = 0,54 \cdot \left( \frac{126}{3,6} \right)^2 \text{ N} \doteq 662 \text{ N}.$$

b) Určíme mechanický výkon automobilu: **2 b**

Mechanický výkon motoru automobilu je dán vztahem:

$$P = F \cdot v$$

$$P = 662 \cdot \frac{126}{3,6} \text{ W} \doteq 23,2 \text{ kW}.$$

c) Určíme spotřebu automobilu (propočítává se v litrech paliva na 100 km) při pohybu po dálnici, je-li celková účinnost motoru automobilu 22 %. Dokonalým spálením litru benzínu získáme 32,6 MJ tepla. **3 b**

Při ujetí vzdálenosti 100 km vykoná motor automobilu práci:

$$W = F \cdot s$$

$$W = 662 \cdot 100\,000 \text{ J} = 66,2 \text{ MJ}.$$



Při účinnosti motoru 22 % je potřeba, aby se spálením benzínu získalo teplo, které se jen z 22 % využije pro pohyb automobilu:

22% .....	66,2 MJ
1% .....	3,01 MJ
100% .....	301 MJ

Dokonalým spálením litru benzínu získáme 32,6 MJ tepla, potřebujeme 301 MJ tepla. Spotřeba benzínu v litrech při ujetí vzdálenosti 100 km je potom dána:

$$V = \frac{301}{32,6} \text{ l} \doteq 9,22 \text{ l.}$$

- d) Jestliže čtyřtákní motor obsahuje čtyři válce, kolik paliva se musí dostat při jednom cyklu do válce, koná-li motor  $3\,000 \frac{\text{ot}}{\text{min}}$ ? **2 b**

Při dané rychlosti automobil za jednu minutu urazí vzdálenost  $2\,100 \text{ m} = 2,1 \text{ km}$ . Při ujetí vzdálenosti 100 km se spotřebuje 9,22 l benzínu, při ujetí 1 km se spotřebuje 0,0922 l benzínu a při ujetí vzdálenosti 2,1 km se spotřebuje 0,1937 l.

V motoru jsou celkem čtyři válce, které postupně prochází čtyřmi různými fázemi, z nichž jen jedna je fáze sání a jen při jedné fázi se koná práce. Během jedné otáčky ojnice nastanou dvě fáze, do dvou pístů se tedy nasává palivo. Při celkové spotřebě 0,1937 l za minutu se musí dostat během jedné otáčky do „motoru“  $\frac{0,1937}{3\,000} \text{ l}$ , do jednoho válce se musí dostat  $\frac{0,1937}{3\,000 \cdot 2} \text{ l}$ , Z toho vyplývá, že při jednom cyklu se musí dostat do válce  $\frac{0,1937}{3\,000 \cdot 2} \text{ l} \doteq 0,0323 \text{ ml}$ .

### FO54E4: Spotřebiče v domácnosti

Zadané údaje: jsou paralelně zapojeny tyto spotřebiče s následujícími údaji: rychlovarná konvice 2 000 W/230 V, mikrovlnná trouba 1 200 W/230 V, žárovka 60 W/230 V a druhá žárovka 40 W/230 V.

- a) Určíme proud procházející jednotlivými spotřebiči v domácnosti při jejich zapnutí, je-li síťové napětí 230 V. Problém však je, že odpor jednotlivých spotřebičů, především žárovek není konstantní, závisí na teplotě. Proto vypočtené hodnoty nebudou odpovídat reálné situaci okamžitě po zapnutí spotřebičů, ale až po zahřátí spotřebičů na provozní teplotu. Z tohoto důvodu může dojít k přetížení jističů, ačkoliv podle výpočtů se dostaneme k jinému závěru. V praxi však málokdy okamžitě zapneme všechny spotřebiče najednou, zapínáme je spíše postupně, jeden po druhém. **2 b**

Příkon spotřebiče  $P_0 = U \cdot I$ , z toho  $I = \frac{P_0}{U}$  a pro jednotlivé spotřebiče vychází:

Konvice  $I_1 = 8,70 \text{ A}$ , trouba  $I_2 = 5,22 \text{ A}$ , žárovka  $I_3 = 0,261 \text{ A}$ , druhá žárovka  $I_4 = 0,174 \text{ A}$ .

Proud procházející jističem je dán součtem jednotlivých proudů,  $I = 14,3 \text{ A}$ . Jistič podle výpočtů není přetížen. V praxi však při zapnutí spotřebičů může k přetížení dojít.

- b) Určíme odpor jednotlivých spotřebičů v domácnosti při síťovém napětí 230 V. **3 b**  
 Příkon spotřebiče  $P_0 = U \cdot I$ , Ohmův zákon stanoví  $U = R \cdot I$ , z toho  $I = \frac{U}{R}$ , příkon spotřebiče poté  $P_0 = \frac{U^2}{R}$ , z toho odpor  $R = \frac{U^2}{P_0}$ . Pro jednotlivé spotřebiče vychází:

Konvice  $R_1 = 26,5 \Omega$ , trouba  $R_2 = 44,1 \Omega$ , žárovka  $R_3 = 882 \Omega$ , druhá žárovka  $R_4 = 1\,323 \Omega$ .

- c) Určíme dále, jaký proud bude procházet jednotlivými spotřebiči, jestliže síťové napětí se zvětší na 235 V (přepětí v síti), ale odpor jednotlivých spotřebičů zůstane stejný. **2 b**

Z Ohmova zákona  $U = R \cdot I$ ,  $I = \frac{U}{R}$ :

Konvice  $I'_1 = 8,88 \text{ A}$ , trouba  $I'_2 = 5,33 \text{ A}$ , žárovka  $I'_3 = 0,267 \text{ A}$ , druhá žárovka  $I'_4 = 0,178 \text{ A}$ . Proud procházející jističem je dán součtem jednotlivých proudů,  $I' = 14,7 \text{ A}$ . Jistič opět podle výpočtů není přetížen.





- d) Nakonec zjistíme, jak se změní proud protékající daným jističem, jestliže k uvedeným spotřebičům zapojíme ještě paralelně pátý spotřebič (toustovač 900 W/230 V) a všechny spotřebiče budou současně zapnuty při síťovém napětí 230 V. **3 b**

Příkon spotřebiče  $P_0 = U \cdot I$ , z toho  $I = \frac{P_0}{U}$  a pro jednotlivé spotřebiče při napětí 230 V vychází:

Konvice  $I_1 = 8,70$  A, trouba  $I_2 = 5,22$  A, žárovka  $I_3 = 0,261$  A, druhá žárovka  $I_4 = 0,174$  A, toustovač  $I_5 = 3,91$  A.

Proud procházející jističem je dán součtem jednotlivých proudů,  $I'' = 18,3$  A. Jistič je přetížen, a proto přeruší elektrický obvod a proud nebude procházet.

## Řešení úloh pro kategorii F

### FO54F1: Převoz dřeva

Zadané údaje: délka vleku 160 cm, šířka vleku 130 cm, ve směru jízdy jsou uloženy trámký o délce 240 cm, výška každého trámku je 14 cm a šířka 9 cm. Hustota čerstvého smrkového dřeva je  $650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , vysušeného dřeva  $450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Trámký jsou ve vleku uloženy jen v jedné vrstvě.

- a) Určíme objem dřeva ve vleku. **3 b**

Na podlahu se vejde 14 trámků, přičemž část trámků přečnívá vzadu z vleku ven.

$$V = 14 \cdot 2,4 \cdot 0,14 \cdot 0,09 \text{ m}^3 = 423,36 \text{ dm}^3 \doteq 423 \text{ dm}^3.$$

- b) Určíme hmotnost dřeva ve vleku, jedná-li se o čerstvé, nebo vysušené. **3 b**

$$m_{\text{č}} = V \cdot \rho_{\text{č}}$$

$$m_{\text{č}} = 0,42336 \cdot 650 \text{ kg} \doteq 275 \text{ kg}$$

$$m_{\text{s}} = V \cdot \rho_{\text{s}}$$

$$m_{\text{s}} = 0,42336 \cdot 450 \text{ kg} \doteq 191 \text{ kg}.$$

- c) Je-li na vlečném vozíku dřevo ve dvou vrstvách, potom **2 b**

$$V_2 = 2 \cdot 14 \cdot 2,4 \cdot 0,14 \cdot 0,09 \text{ m}^3 = 846,72 \text{ dm}^3 \doteq 847 \text{ dm}^3$$

$$m_{\text{č}2} = V_2 \cdot \rho_{\text{č}}$$

$$m_{\text{č}2} \doteq 550 \text{ kg}.$$

$$m_{\text{s}2} = V_2 \cdot \rho_{\text{s}}$$

$$m_{\text{s}2} \doteq 381 \text{ kg}.$$

- d) Změna polohy těžiště naloženého vozíku oproti prázdnému vozíku: jak se posune těžiště při naložení jedné nebo dvou vrstev trámků? **2 b**

Protože trámký přečnívají vzadu z vozíku, těžiště se posune ve vodorovném směru k zadní části vozíku.

O jakou vzdálenost se změní poloha těžiště, nelze ze zadání určit, neboť nebyla udána hmotnost vozíku. Při naložení druhé vrstvy trámku se těžiště ještě více posune směrem k zadní části vozíku.

### FO54F2: Silniční závod

Zadané údaje vyhledáme v textu a budeme jich postupně využívat při řešení.

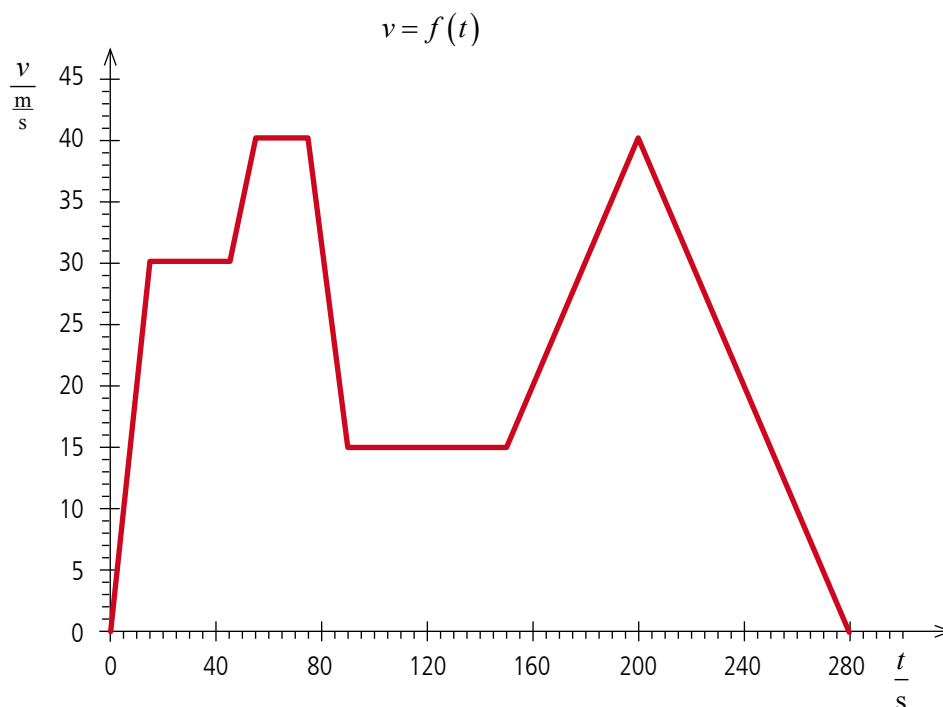
- a) Určíme, jak dlouho trvala jízda po trase. **1 b**

$$t = (15 + 30 + 10 + 20 + 15 + 60 + 50 + 80) \text{ s} = 280 \text{ s}.$$

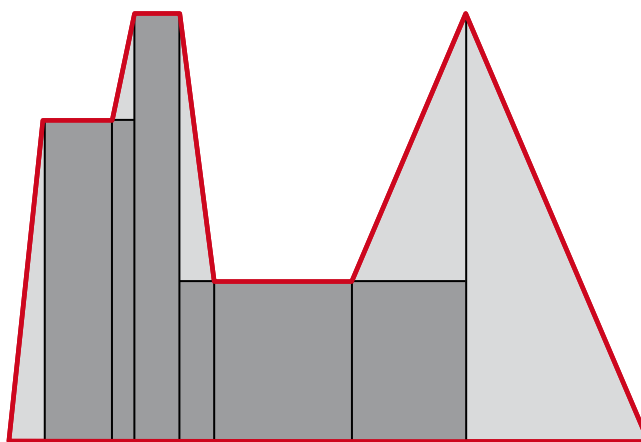
- b) Nakreslíme graf závislosti rychlosti na času  $v = f(t)$ , viz následující strana. **3 b**

- c) Určíme dráhu, kterou ujel automobil v úsecích, kdy jel rovnoměrně. Dráha v metrech je dána obsahem plochy pod grafem, přičemž počítáme pouze úseky s rovnoměrným pohybem.

$$s_r = 2600 \text{ m}. \quad \mathbf{2 b}$$



- d) Určíme celkovou dráhu, kterou ujel automobil během celé jízdy po okruhu. Dráha je opět dána obsahem plochy pod grafem. Daný geometrický útvar je třeba si rozdělit na obdélníky a trojúhelníky, jejichž obsah již není problém vypočítat. **3 b**



$$s_c = 6\,562,5 \text{ m} \doteq 6\,560 \text{ m}.$$

- e) Stanovíme průměrnou rychlost automobilu na celé trase. **1 b**

$$v_p = \frac{s_c}{t}$$

$$v_p = \frac{6\,562,5}{280} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 23,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \doteq 23 \frac{\text{m}}{\text{s}} \doteq 84 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

### FO54F3: Transfuze krve

Při transfuzi krve po operaci byla udržována frekvence 40 kapek za minutu, jež odkapávaly z trubičky, vycházející ze zásobníku krve. Celkový objem krve byl 250 ml a měl být přesunut do krevního oběhu za 1,5 h.



- a) Odhadneme nejprve průměr kapky krve postupující do krevního oběhu pacienta, využijeme informace, že objem koule o průměru  $d$  je dán matematickým vztahem  $V = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d^3$ . **6 b**

Celkový objem krve byl 250 ml, počet kapek za 1 minutu 40, za 1,5 hodiny 3 600, objem jedné kapky 0,0694 ml. Potom průměr jedné kapky za předpokladu, že kapky jsou kulové:

$$d = \sqrt[3]{\frac{V \cdot 6}{\pi}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{0,000\,000\,069\,4 \cdot 6}{\pi}} \text{ m} \doteq 5,1 \text{ mm}.$$

- b) Hustota krve je  $1\,050 \frac{\text{g}}{\text{litr}}$ , pak určíme hmotnost kapky krve při této transfuzi. **4 b**  
Hmotnost kapky krve při transfuzi:

$$m = V \cdot \rho$$

$$m = 0,000\,069\,4 \cdot 1050 \text{ g} \doteq 0,073 \text{ g}.$$

### FO54F4: Voda ke koupání

Zadané údaje z textu: Z vodovodního ventilu vytékají za 1 min 4 litry vody o teplotě  $80^\circ\text{C}$ , a 6 litrů vody o teplotě  $15^\circ\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita vody je přibližně  $4\,200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$ .

- a) Jak dlouho bude do vany natékat 140 litrů vody tak, že ventily budou uvolněny na maximum? Určíme, jak dlouho bude natékat stanovený objem vody a jaká bude výsledná teplota vody. **4 b**

Za 1 min přiteče do vany 6 litrů vody o teplotě  $15^\circ\text{C}$  a 4 litry vody o teplotě  $80^\circ\text{C}$ , dohromady 10 litrů za 1 min. 140 litrů vody nateče za 14 min. Výslednou teplotu vody zjistíme pomocí kalorimetrické rovnice, počítáme s hustotou vody  $\rho = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ :

$$m_1 \cdot c \cdot (t - t_1) = m_2 \cdot c \cdot (t_2 - t)$$

$$t = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{(m_1 + m_2)}$$

$$t = \frac{56 \cdot 80 + 84 \cdot 15}{(56 + 84)} \text{ }^\circ\text{C} = 41 \text{ }^\circ\text{C}.$$

- b) Na koupání se doporučuje užít vodu o teplotě  $35^\circ\text{C}$ , určíme, kolik studené či teplé vody je třeba přidat, aby této teploty bylo dosaženo. **3 b**

Musíme přidat vodu studenou.

$$m \cdot c \cdot (t - t') = m_3 \cdot c \cdot (t' - t_2)$$

$$m_3 = \frac{m \cdot (t - t')}{(t' - t_2)}$$

$$m_3 = \frac{140 \cdot (41 - 35)}{(35 - 15)} \text{ kg} = 42 \text{ kg}.$$

$$V_3 = 42 \text{ l}.$$

- c) Protože však po přidání vody Adélka ještě následujících 30 min telefonovala, voda ve vaně vychladla o  $8^\circ\text{C}$ . Určete, kolik teplé vody musí ještě nechat přitéci, aby se teplota vody ve vaně dostala na počáteční teplotu, tedy  $35^\circ\text{C}$ . Jaký bude objem vody ve vaně nyní? **3 b**

$$(m_3 + m) \cdot c \cdot \Delta t = m_4 \cdot c \cdot (t_1 - t')$$

$$m_4 = \frac{(m_3 + m) \cdot \Delta t}{(t_1 - t')}$$



$$m_4 = \frac{(140 + 42) \cdot 8}{(80 - 35)} \text{ kg} \doteq 32 \text{ kg.}$$
$$V_4 \doteq 32 \text{ l.}$$

Celkový objem vody ve vaně bude:

$$V = \frac{(m + m_3 + m_4)}{\rho}$$
$$V = \frac{(140 + 42 + 32)}{1000} \text{ m}^3 \doteq 214 \text{ l.}$$

Zaujaly Vás úlohy? Doufáme, že ano a že jsou pro vás inspirující. V příštím čísle se můžete těšit na úlohy z krajského kola kategorie E.

Chtěli bychom také touto cestou poděkovat všem vyučujícím, kteří se věnují nadaným žákům a umožňují jim se zúčastnit soutěže. Rádi bychom, aby se nadcházející 55. ročník rozšířil na všechny základní školy.

Velmi často se v posledních letech hovoří o tom, že žáci našich škol (ať základních nebo středních) nemají dostatečně hluboké vzdělání ve fyzice a potřebný kladný vztah k matematice, přírodovědným a technickým předmětům. Jedním z hlavních úkolů Fyzikální olympiády je tento trend, neblahý pro naši společnost jako celek, ale např. i pro profesní rozhodování mladých lidí, zastavit a najít formy práce i vhodné náměty, které by bylo možné na školách využívat. Každým rokem připravuje Ústřední komise Fyzikální olympiády 32 (dosti) originálních úloh, v nichž se ukazuje, že fyzika je všude kolem nás a že jejích výsledků běžně používáme (leckdy ani o tom sami nevíme).



## Historie a elementární základy teorie barev III.

Václav Kohout<sup>1</sup>, Nakladatelství Fraus, s. r. o., Plzeň

Dostává se vám do rukou třetí díl série článků zabývajících se teorií barev. Problematika barev je na rozhraní fyziky, informatiky a výpočetní techniky, přírodopisu, výtvarné výchovy a případně i dalších vyučovacích předmětů. Poznatky, které jsou ve výuce běžně zmiňovány, jsou zde doplněny a rozšířeny odbornějšími informacemi z oboru kolorimetrie. Tento díl obsahuje i některá složitější matematická vyjádření. Ta již nejsou přirozeně určena žákům, ale hlavně učitelům, kteří mají o problematiku kolorimetrie hlubší zájem. Na kolorimetrický přehled dále naváže článek popisující mezipředmětové výukové téma „Barvy kolem nás“, které bylo na jeho základě vytvořeno, a článek popisující a hodnotící ověření tohoto tématu ve výuce.

### CIE – Commission Internationale de l’Eclairage

V předchozích kapitolách jsme viděli několik typů tristimulů, tj. definic barev založených na třech hodnotách. Jednalo se o RGB, CMY (s odvozenou formou CMYK) a HSB (s jeho variantami HVC, HSL a dalšími). Všechny tyto barvové prostory mohou být odvozeny z RGB a všechny proto také přebírají základní nedostatek RGB. Každé zařízení – lidské oko, skener, monitor, tiskárna atd. – má mírně odlišné tři primární barvy a tím také odlišnou definici celého barvového prostoru RGB. Existují stovky různých barvových prostorů, každý z nich je optimálně vhodný k danému účelu, je poměrně jednoduché převádět hodnoty barev z jednoho do druhého, ale žádný z nich není možné označit jako obecný standard pro všeobecné využití.

Skupina vědců zabývajících se barvami – tzv. skupina CIE – se pokusila tento problém vyřešit a vypracovala definici nového barvového prostoru, nového tristimulu, který vychází z RGB, ale v mnoha ohledech je lepší. Tento systém se nazývá XYZ. Běžný člověk, resp. uživatel počítače se s ním většinou vůbec nesetká, je primárně používán pouze pro kolorimetrické účely a případně pro interní zápis barvy v některých softwarových aplikacích. V dalším uvedeme, které problémy řeší.

Zkratka CIE označuje francouzský termín „Commission Internationale de l’Eclairage“ (Mezinárodní komise pro osvětlování). Od založení CIE v roce 1913 se každoročně schází vědeckí delegáti z mnoha zemí, aby projednali otázky týkající se výzkumu v různých oblastech vědeckého poznání lidského vnímání barev. Cílem CIE je vytvořit a průběžně aktualizovat systém, který umožňuje precizně popisovat barvy a jejich kvantitativní vlastnosti, případně přímo specifikovat barevnost různých produktů, jako jsou tiskařské barvy, fólie, inkousty, barevné monitory atd.

### Dva mezníky v práci CIE – 1931 a 1976

Jednou z klíčových schůzek v historii CIE bylo setkání v září 1931 v Cambridge v Anglii. Z tohoto roku pochází první komplexní pokus využít velké množství nejrůznějších dosud naměřených dat a vytvořit z nich systém, který systematicky popisuje světelné a pozorovací podmínky, za kterých má být do budoucna prováděno sledování a měření barev. Mimo jiné specifikuje 1931 CIE systém následující:

- **Standardní pozorovatel** – definice průměrného lidského pozorovatele,
- **Standardní osvětlení** – specifikace světelných zdrojů, které mají být používány pro porovnávání barev,
- **Primární systém XYZ** – systém imaginárních primárních barev souvisejících s RGB, ale vhodnějších jako standard pro výpočty, popisuje jak barvy světelných zdrojů, tak barvy objektů odrážejících či propouštějících světlo,
- **Barvový prostor xyY** – barvový prostor odvozený od XYZ, odděluje souřadnice  $x$  a  $y$  popisující barevný odstín od souřadnice  $Y$ , kterou je jas barvy,
- **Chromatický diagram** – graf přehledně znázorňující viditelné barvy a vztahy mezi nimi.

V následujících letech byl uvedený systém postupně zdokonalován a upřesňován, a to včetně úpravy definice standardního pozorovatele v roce 1964. Dalším klíčovým rokem je pro CIE a vědecký popis barev rok 1976. V tomto roce CIE zaměřila svoji pozornost zejména na následující:

<sup>1</sup> kohout@fraus.cz

- **Perceptuálně uniformní barvové prostory** – barvové prostory Lab a Luv bližší lidskému vnímání barev, vhodné pro posuzování „vzdáleností“ barev,
- **Barvná diference** – definice vztahu pro barevnou diferenci ( $\Delta E$ ), který umožňuje číselně popsat „vzdálenost“ nebo „rozdíl“ dvou barev.

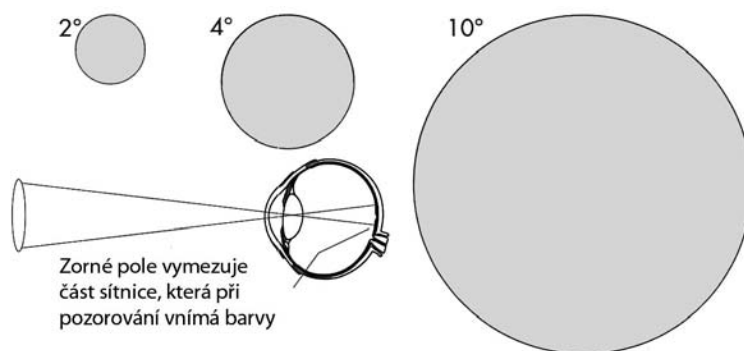
Dále rozebereme uvedené klíčové pojmy podrobněji.

### Standardní pozorovatel (2° a 10°)

Pro určení standardů měření je nutné definovat parametry pozorovatele. Během mnoha let bylo s dobrovolníky prováděno za účelem definice „normálního“ vidění velké množství experimentů týkajících se vnímání barev. Jedním z faktorů, které mohou mít vliv na barevnou citlivost lidského oka i u jednoho konkrétního pozorovatele, je mimo jiné velikost zorného pole.

V roce 1931 byl definován standardní pozorovatel s 2° zorným polem a tento standard se používá dodnes. Roku 1964 byla zkoumána a ověřována dříve prováděná měření a byly objeveny rozdíly, zejména v modrozelené oblasti spektra, pokud byly zorné úhly větší než 2°. Příčina těchto zjištěných rozdílů je zajímavá. V úplném středu sítnice uprostřed žluté skvrny je oblast nazývaná folvea. Je to jediná oblast na sítnici, kde množství barevných fotoreceptorů čípků výrazně převyšuje množství nebarevných fotoreceptorů pro noční vidění – tyčinek. Je-li zorné pole větší než 4°, zasahuje již barevné vidění i do oblasti s menší koncentrací čípků, což může způsobit mírnou odchylku při vnímání barev. Skutečný rozdíl je velice malý, zřídka pozorovatelný, nicméně je měřitelný. Ze zasedání CIE v roce 1964 vyplynula definice doplňkového standardního pozorovatele s 10° zorným polem, která by měla být použita při jakémkoli pozorování se zorným polem větším než 4°. Od tohoto roku by každé měření barev mělo obsahovat informaci, zda odpovídá použití definice 2° standardního pozorovatele z roku 1931 nebo definice 10° doplňkového standardního pozorovatele z roku 1964. Není-li tento údaj uveden, předpokládá se použití definice 2° standardního pozorovatele.

Pro představu o velikosti zorného pole 2° a 10° standardního pozorovatele slouží obrázek vpravo. Kruhy v něm vyznačené znázorňují zorná pole 2°, 4° a 10° za předpokladu, že stránku pozorujete ze vzdálenosti 25 cm.



Obr. 21 – zorné pole standardního pozorovatele<sup>2</sup>

### Standardní osvětlení

Aby byly podmínky pozorování barvy kompletní, je vždy nutno specifikovat zdroj světla, který osvětluje pozorovanou barevnou plochu. Zasedání CIE v roce 1931 definovalo tři standardní osvětlení A, B a C, ke kterým byla později přidána sada osvětlení D, hypotetické osvětlení E a také sada neoficiálních zářivkových osvětlení F. Standardní osvětlení byla charakterizována jako žárovky reprodukující světlo určité barevné teploty.

Osvětlení A až F jsou popsána následovně:

- **A** – Žárovka s barevnou teplotou 2 856 K vyzařující žlutooranžové světlo. Standardní osvětlení A se obecně používá k simulaci osvětlení klasickými žárovkami.
- **B** – Žárovka s filtrem pro simulaci přímého slunečního světla odpovídajícího barevné teplotě 4 874 K. Dnes je standardní osvětlení B používáno jen velice zřídka.

<sup>2</sup> Převzato z: BUNTING, F. et al. *Colortron: User Manual. 1st Edition. Larkspur (California, USA): Light Source Computer Images, Inc., 1994. 752 p.*



- **C** – Žárovka s filtrem pro simulaci nepřímého slunečního světla odpovídajícího teplotě 6 774 K. Standardní osvětlení C je poměrně často používáno a je považováno za dobré přiblížení reálnému nepřímému slunečnímu světlu. Nejedná se však o dokonalou simulaci slunečního světla, protože neobsahuje dostatečné množství ultrafialového záření, které je zapotřebí při vyhodnocování fluorescenčních barev.
- **D** – Osvětlení nazývané denní světlo. Jde vlastně o celou skupinu jednotlivých definovaných osvětlení. Standardní osvětlení D65 odpovídá barevné teplotě 6 500 K a je téměř totožné se standardním osvětlením C. Je však ještě přesnějším přiblížením k reálnému nepřímému slunečnímu světlu, protože obsahuje ultrafialovou složku pro lepší vyhodnocování fluorescenčních barev. Všechna osvětlení D jsou pojmenována podle své barevné teploty. D50 a D75 odpovídají barevným teplotám 5 000 K a 7 500 K. Standardní osvětlení D65 a D50 jsou dnes při posuzování barev zdaleka nejrozšířenější.
- **E** – Osvětlení s rovnoměrným (equal) rozložením energie. Osvětlení E ve skutečnosti neexistuje. Jedná se o teoretický světelný zdroj, který ve viditelném spektru vyzařuje na každé vlnové délce stejné množství energie.
- **F** – Zářivkové osvětlení. Jde o sadu zářivkových světelných zdrojů, které nejsou oficiálními osvětlovacími standardy CIE. Zářivková svítidla mají ve svých spektrálních křivkách ostré špičky, a tak u nich není možné hovořit o barevné teplotě v přesném slova smyslu. Protože jsou ale zářivkové zdroje běžně používané, doporučuje CIE některé z nich alespoň jako neoficiální standardy pro porovnávání jejich barev. Zářivkové osvětlení jsou označována F1 až F12 a CIE z nich doporučuje F2 (studená bílá zářivka), F7 (zářivka v barvě denního světla) a F11 (úzkopásmová zářivka).

Kromě definice standardního pozorovatele jsou tedy specifikace barev podle CIE závislé také na konkrétním osvětlení použitým během měření.

## Barevná teplota

Jak je vidět z definic výše, pro popis zářících zdrojů světla se často používá pojem barevná teplota. Všechna zahřátá tělesa vyzařují světlo. I člověk s normální tělesnou teplotou 37 °C (310 K) vysílá záření, ale pouze na dlouhých vlnových délkách v infračerveném oboru.

Vědci definovali hypotetické tzv. absolutně černé těleso, které neodráží ani nepropouští žádné světlo. Absolutně černé těleso dokonale pohlcuje světlo všech vlnových délek, takže jakékoli světlo, které opouští jeho povrch, muselo být tímto tělesem vyzářeno. Rozložení vlnových délek vyzařovaných zahřátým absolutně černým tělesem při dané teplotě udává Planckův vyzařovací zákon. Při teplotě 2 000 K těleso září oranžově, při 4 800 K září jasně žlutě, při 6 500 K je vyzařovaná barva bílá (vlnové délky viditelného světla jsou zastoupeny podle Planckova zákona podobně jako u Slunce), při 9 300 K má světlo již výrazně modravý nádech. Při vyšších teplotách zůstává světlo namodralé, protože velká část záření je tak krátkých vlnových délek, že se dostává do ultrafialové oblasti a není viditelná.

Analogickým způsobem mohou být popsány všechny zdroje vyzařující světlo. Spektrální křivka zdroje může být změřena a označena např. jako 2 800 K (75W žárovka) nebo 6 500 K (denní světlo). Počítačové monitory a televizní obrazovky mají tzv. charakteristický bílý bod. Monitor s bílým bodem 9 300 K se bude jevit namodralý, monitor s bílým bodem 4 800 K bude mít žlutý nádech. Tento popis je však pouze přibližný, protože většina reálných zdrojů vyzařujících světlo se nechová zcela přesně jako absolutně černá tělesa.

Popis barvy pomocí barevné teploty je možný pouze u zdrojů, které vyzařují světlo. V žádném případě ho nelze použít u těles, která světlo odrážejí nebo propouštějí. Tento popis je striktně založen na modelu záření absolutně černého tělesa.

## XYZ – základní tristimulus CIE

Barvový prostor XYZ definuje všechny barvy pomocí tří imaginárních primárních barev X, Y a Z založených na lidském vidění. Tento barvový prostor se však v běžném životě téměř nepoužívá. Je využíván pro kolorimetrické zpracování barev a interně také v některých počítačových aplikacích pro transformace barev. Přesto je jednoznačně základem systému CIE.

Existuje mnoho popisů barev založených na třech primárních barvách, např. mnoho různých RGB prostorů, a všechny mají stejnou platnost. Je možné barvy mezi nimi libovolně transformovat, a proto je možné zvolit za základní libovolný soubor primárních barev. Komise CIE zvolila soubor primárních barev X, Y a Z, který je definovaný následujícími vlastnostmi:

1. Je založen na experimentálních údajích z pokusů s lidským vnímáním barev. Tím je zajištěno, že výsledky při teoretických operacích s barvami pomocí matematických výpočtů odpovídají přesně realitě.
2. Sada primárních barev X, Y a Z se chová aditivně, stejně jako primární barvy RGB. Každá barva může být vyjádřena jako směs složek X, Y a Z se stejně značenými hodnotami X, Y a Z.
3. Jedna z uvedených tří hodnot – Y – zároveň odpovídá jasů barvy. (Jas barvy závisí na vlnové délce příslušného světla. Barvy některých vlnových délek, zejména žluté a zelené části spektra, se jeví jasnější, než okraje spektra – hluboké fialové a červené odstíny.)
4. Všechny hodnoty všech tří složek jsou kladné. Experimenty s vnímáním barev nedávají pro XYZ výsledky, které by vyžadovaly zápornou hodnotu některé z primárních složek, jak bylo zmíněno dříve.

Definice primárních barev XYZ je přímou součástí specifikace standardního pozorovatele z roku 1931. CIE definuje pro standardního pozorovatele sadu barvových funkcí – soubor tří spektrálních křivek, které popisují, jakým způsobem je nutno kombinovat primární barvy XYZ pro reprodukci všech existujících barev spektra, resp. všech vlnových délek viditelného světla.

Hodnoty X, Y a Z jsou definovány následovně:

$$\begin{aligned} X &= k \int_{\lambda} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) \beta(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{\lambda} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \beta(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_{\lambda} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) \beta(\lambda) d\lambda \end{aligned} ,$$

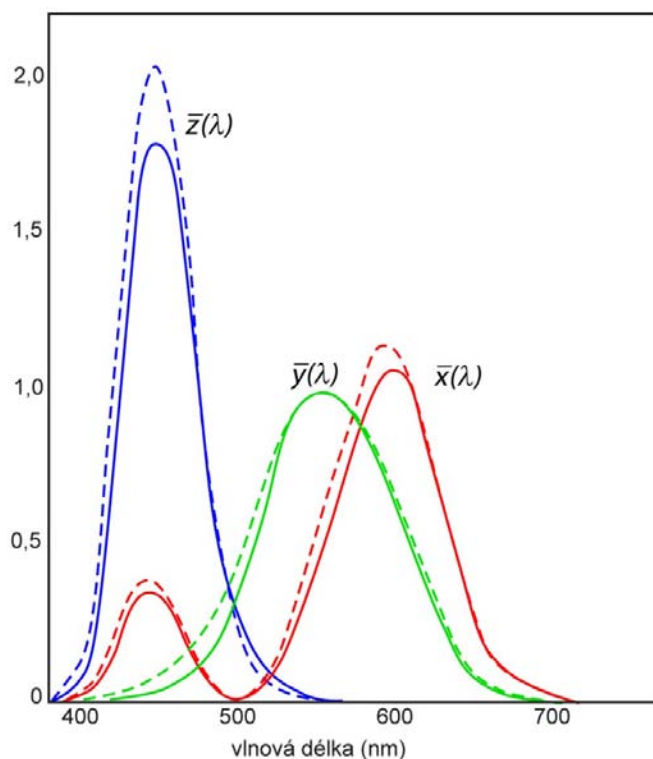
kde

$$k = \frac{100}{\int_{\lambda} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} ,$$

$\beta(\lambda)$  = spektrální odrazivost vzorku při vlnové délce  $\lambda$ , pro průhledné nebo průsvitné vzorky se jedná o spektrální propustnost  $\tau(\lambda)$  ,

$S(\lambda)$  = spektrální rozložení energie osvětlení podle vlnové délky  $\lambda$ ,

$\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  jsou barvové funkce pro 2° standardního pozorovatele z roku 1931.



Obr. 22 – barvové funkce (hodnoty tristimulu CIE) 2° standardního pozorovatele 1931 (plná čára) a 10° standardního pozorovatele 1964 (přerušovaná čára)<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Podle: HUNT, R. W. G. *The reproduction of Colour. 6th Edition, Chichester (West Sussex, England, GB): John Wiley & Sons Ltd., 2004. 726 p. ISBN 0-470-02425-9.*





## xyY – chromatický diagram CIE

Barvový prostor xyY je odvozený přímo z XYZ a je určen především ke grafickému znázornění barev ve dvojrozměrném prostoru nezávisle na světlosti barvy. Hodnota Y je shodná s hodnotou Y, která je součástí tristimulu XYZ a představuje právě světlost nebo jas barvy. Hodnoty x a y se nazývají chromatické souřadnice barvy a jsou vypočtené přímo z hodnot X, Y a Z tristimulu XYZ následujícím způsobem:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

Z toho vyplývá, že  $x + y + z = 1$ , a proto je libovolná ze tří chromatických souřadnic x, y a z jednoduše odvoditelná ze zbývajících dvou, např.  $z = 1 - x - y$ .

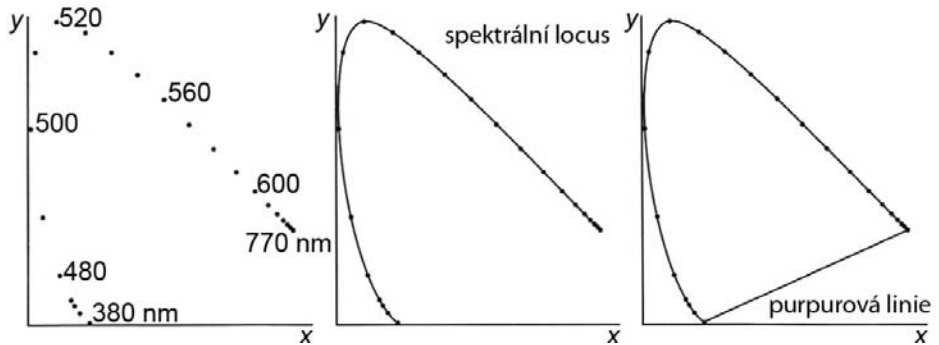
CIE se tímto částečně vrací k Munsellovu katalogizačnímu systému a odděluje jasový atribut barvy od hodnot popisujících pouze čistou barvu – chromatických složek. Dvě barvy, které se od sebe liší pouze jasnem, mají tentýž chromatický popis a tedy stejné chromatické souřadnice.

Hodnoty x, y, Y je možné zobrazit v užitečném grafu nazývaném chromatický diagram. Tento diagram významným způsobem zpřehledňuje poměrně komplikovaný systém barev zavedený CIE a činí ho srozumitelným i laikům. Poskytuje názorný náhled všech viditelných barev a zobrazuje vztahy mezi nimi.

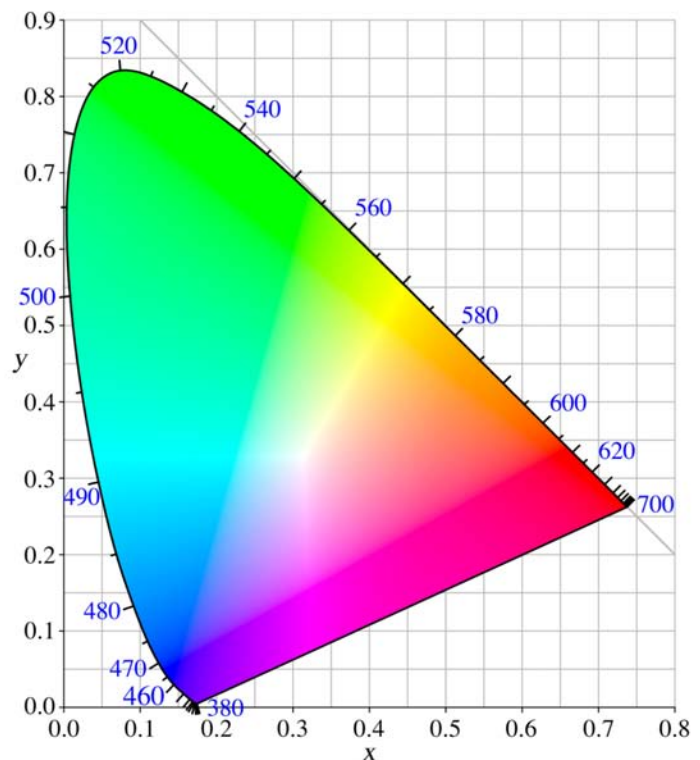
Pokud převedeme na chromatické souřadnice x, y čisté spektrální barvy, dostaneme v chromatickém diagramu tvar podkovy, známý jako spektrální locus. Protože všechny viditelné barvy jsou definované jako směs těchto čistých spektrálních barev, musí se nacházet uvnitř této křivky. Čára, která spojuje koncové body podkovy, se nazývá purpurová linie nebo purpurová hranice. Barvy na této čáře jsou složeny ze směsi čistého fialového světla o vlnové délce 380 nm a červeného světla o vlnové délce 770 nm.

Je třeba si uvědomit, že barvy, které jsou zobrazené v diagramu vytištěném zde na stránce, jsou pouze zástupné – jsou zkrácené technickými omezeními tiskového procesu použitého k vytištění tohoto diagramu, případně technickými omezeními monitoru počítače, dataprojektoru apod.

Chromatický diagram je do jisté míry podobný barevnému kruhu, tj. vodorovnému průřezu barvovým prostorem HSB. Ve středu podkovy se nacházejí neutrální barvy. Pokud se vzdalujeme



Obr. 23 – konstrukce chromatického diagramu CIE



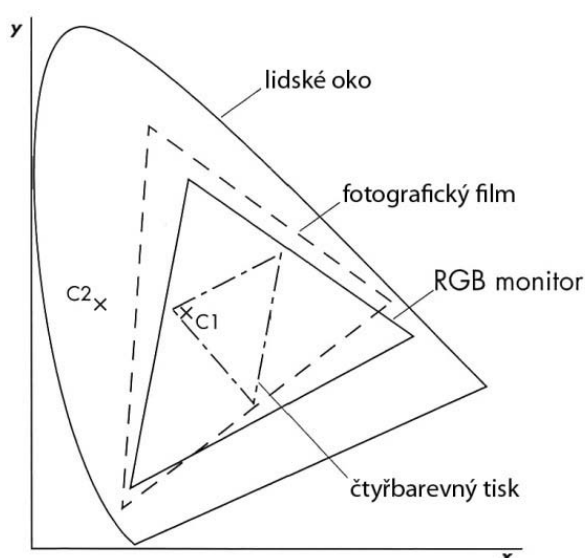
Obr. 24 – chromatický diagram CIE 1931<sup>4</sup>

4 CIE 1931 xy chromaticity diagram. [online]. c2005. [cit 2011 07 01]. Dostupné z URL <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:CIExy1931.png>>.

od středu, jsou barvy sytější, a na okrajích se nacházejí nejsytější čisté spektrální barvy. Odstín barvy se mění při pohybu po obvodu podkovy.

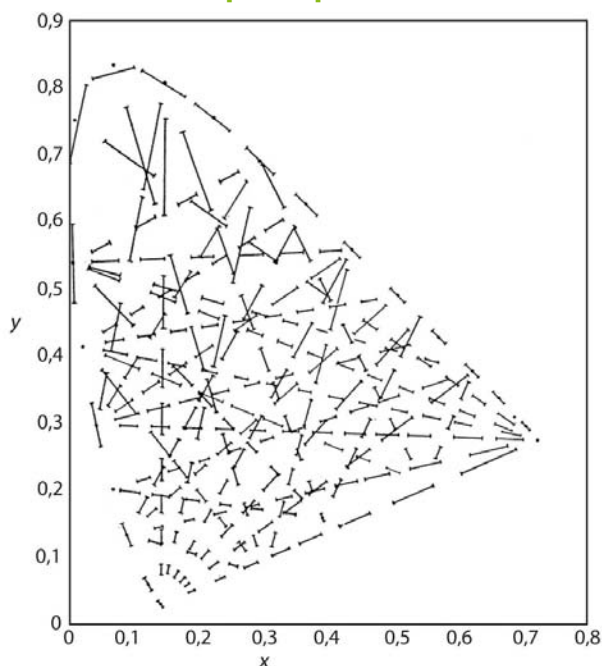
Podstatný rozdíl je ale v tom, že u chromatického diagramu je zcela jasná představa, kde se nacházejí viditelné barvy. Případné virtuální barvy ležící mimo oblast ohraničenou spektrálním locusem a purpurovou linií jsou lidským okem neviditelné, tj. mají nulový jas, případně jsou lidským okem neodlišitelné od barev, které leží na obvodu oblasti. Oblast viditelných barev se nazývá barevný gamut [gemit, dnes také gamut] (rozsah) lidského barevného vnímání. V praxi můžeme určit barevný gamut pro libovolné zařízení pracující s barvami na bázi nějakého tristimulu. Pro monitory, tiskárny i další zařízení je možné nakreslit jejich barevný gamut, který vymezuje barvy jimi reprodukovatelné.

Chromatický diagram na obr. 25 ukazuje barevný gamut typického počítačového monitoru a tiskárny. Barvy mimo daný gamut nedokáže zařízení nikdy reprodukovat a tento fakt vyplývá již přímo ze sady primárních barev, kterou používá. Uvedená tiskárna například dokáže vytisknout pouze azurovou barvu C1, při pokusu o tisk azurové barvy C2 mimo gamut bude výsledek téměř stejný jako při tisku C1.



Obr. 25 – barevný gamut různých zařízení<sup>5</sup>

### Lab a Luv – perceptuálně uniformní barvé prostory



Obr. 26 – „vzdálenosti barev“ v chromatickém diagramu xy<sup>6</sup>

CIE Lab a Luv jsou barvé prostory, které mají za cíl být perceptuálně uniformní. Perceptuálně uniformní systém (barvé prostor) je takový, ve kterém číselná vzdálenost mezi libovolnými dvěma barvami v barvému prostoru odpovídá pozorovatelem vnímané „blízkosti“ nebo „vzdálenosti“ těchto barev.

*Terminologická poznámka. Poměrně dlouhou dobou jsem se pokoušel o adekvátní překlad výrazu perceptuálně uniformní. Nalezl jsem jediný přijatelný překlad „jednotný z hlediska vnímání“<sup>6</sup>. Toto označení však dle mého o obsahu daného pojmu neříká vůbec nic, a proto se v textu přidržuji původního označení a jeho opisného vysvětlení.*

Nejprve se podíváme na tento problém v chromatickém diagramu xy. Pokud necháme lidského pozorovatele zkoumat dvojice barev a posuzovat jejich vzájemnou „vzdálenost“, dospějeme k nějaké intuitivní definici jednotky „barevné vzdálenosti“. Nyní můžeme do chromatického diagramu zakreslit všechny dvojice barev, které jsou podle pozorovatele stejně „vzdálené“ či „blízké“ – obr. 26. Člověk je daleko citlivější

5 Převzato z: BUNTING, F. et al. *Colortron: User Manual. 1st Edition.* Larkspur (California, USA): Light Source Computer Images, Inc., 1994. 752 p.

6 FRASER, B. – MURPHY, C. – BUNTING, F. *Správa barev: Průvodce profesionála v grafice a pre-pressu. 1. vydání.* Brno: Computer Press, 2003. 522 s. ISBN 80 722 6943 7.

7 Převzato z: HUNT, R. W. G. *The reproduction of Colour. 6th Edition,* Chichester (West Sussex, England, GB): John Wiley & Sons Ltd., 2004. 726 p. ISBN 0-470-02425-9.



na malé změny v odstínech fialové a červené než na změny v odstínech zelené a žluté. Tento efekt ztěžuje potřebné výpočty při porovnávání shody dvou barev. Řešením jsou právě barvové prostory Lab a Luv.

Již v roce 1931 byly podniknuty pokusy o vytvoření tzv. UCS (uniform color scale) diagramu, kterým byl do jisté míry zdeformovaný a natočený chromatický diagram. Roku 1960 byly z chromatických souřadnic  $x, y$  odvozeny nové souřadnice  $u, v$  a roku 1976 byl jejich výpočet upřesněn a byly označeny  $u'$  a  $v'$ . Dále byla definována nová souřadnice popisující jasovou složku barvy  $L^*$  odvozená od  $Y$  a upravené hodnoty  $u^*$  a  $v^*$ .  $L^*$  je podobná Munsellově hodnotě  $V$  v tom, že definuje světlost od černé do bílé v rovnoměrných stejně velkých krocích. Rozsah hodnot  $L^*$  je od 0 (černá) do 100 (bílá).

Barvový prostor definovaný CIE a používající souřadnice  $L^*, u' a v'$ , resp.  $u^* a v^*$  je označován jako  $L^*u^*v^*$ , často také CIELUV nebo pouze Luv. Jeho souřadnice jsou odvozeny ze souřadnic prostoru CIE XYZ a jsou definovány následujícími vztahy:

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_n)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_n) \quad ,$$

kde:

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

$$u'_n = \frac{4X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n} \quad v'_n = \frac{9Y_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n} \quad .$$

$X_n, Y_n, Z_n$  jsou hodnoty základního tristimulu CIE XYZ pro ideální těleso dokonale odrážející nebo propouštějící rozptýlené světlo.  $X_n = 96,422; Y_n = 100,00; Z_n = 82,521$ .

Barvový prostor CIE Luv je oproti prostoru  $xyY$  perceptuálně uniformní a jeho použití je dnes značně rozšířené, a to zejména v průmyslu vyrábějícím zařízení vyzařující světlo, jakými jsou televizní obrazovky, počítačové monitory nebo řízené světelné zdroje.

Druhou cestou, která směřuje k perceptuálně uniformnímu prostoru, jsou souřadnice  $a^*, b^*$ , také matematicky odvozené z primárních hodnot  $X, Y$  a  $Z$ . Souřadnice  $a^*$  víceméně odpovídá běžné červeno-zelené škále barev a nabývá hodnoty od  $-128$  (zelená) do  $128$  (červená). Souřadnice  $b^*$  odpovídá běžné žluto-modré škále a nabývá hodnot od  $-128$  (modrá) do  $128$  (žlutá). Matematicky jsou souřadnice  $L^*, a^*, b^*$  definovány takto:

$$L^* = 116 \left[ f \left( \frac{Y}{Y_n} \right) \right] - 16$$

$$a^* = 500 \left[ f \left( \frac{X}{X_n} \right) - f \left( \frac{Y}{Y_n} \right) \right]$$

$$b^* = 200 \left[ f \left( \frac{Y}{Y_n} \right) - f \left( \frac{Z}{Z_n} \right) \right] \quad ,$$

kde:

$$f \left( \frac{X}{X_n} \right) = \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{pro } \frac{X}{X_n} > 0,00856,$$

$$f \left( \frac{X}{X_n} \right) = 7,7867 \left( \frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116} \quad \text{pro } \frac{X}{X_n} \leq 0,00856,$$

(analogicky pro  $Y$  a  $Z$ ).  $X_n, Y_n, Z_n$  jsou hodnoty základního tristimulu CIE XYZ pro ideální těleso dokonale odrážející nebo propouštějící rozptýlené světlo.  $X_n = 96,422; Y_n = 100,00; Z_n = 82,521$ . Výsledný barvový prostor je  $L^*a^*b^*$  a často je označován jako CIELAB nebo jednoduše Lab.

Diagram barev (spektrální locus) prostoru Lab je obtížnější znázornit, a proto se příliš často nepoužívá. Pro tyto účely se používá chromatický diagram  $xy$  a Luv diagram. Protože je Lab perceptuálně uniformní a chromatické souřadnice kopírují názorné škály červená-zelená a modrá-žlutá, je Lab populárním barvovým prostorem v mnoha

odvětvích lidské činnosti zabývajících se barvami, mimo jiné i v grafickém průmyslu. Interní reprezentace barev ve známém profesionálním software na úpravu fotografií Adobe Photoshop je také v souřadnicích Lab.

### $\Delta E$ – rozdíl barev

Nejpodstatnější vlastností perceptuálně uniformních barvových prostorů, jako jsou CIE Lab a Luv, je, že umožňují vypočítat hodnotu, které vyjadřuje, jak „blízko“ jsou navzájem dvě dané barvy. Tato hodnota se označuje  $\Delta E$  a nazývá se rozdíl barev. V praxi se používá zejména  $\Delta E$  vypočtené v prostoru Lab.

Zde můžeme rozdíl dvou barev spočítat velice jednoduše. Najdeme souřadnice zadaných barev a spočítáme vzdálenost těchto dvou bodů:

$$\Delta E_{ab}^* = \left[ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

kde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  jsou rozdíly souřadnic  $L^*$ ,  $a^*$  a  $b^*$  porovnávaných barev.

Vzhledem k tomu, jak jsou tyto perceptuálně uniformní barvové prostory definovány, bude vypočtené číslo odpovídat tomu, jak jsou barvy „podobné“. Hodnoty  $\Delta E$  jsou využívány všude tam, kde je zapotřebí přesně vyjádřit barevnou toleranci nějakého zařízení. Otázkou zůstává, jaká hodnota  $\Delta E$  odpovídá ještě stále přijatelné toleranci. Obecně platí, že rozdíl barev  $\Delta E \doteq 1$  je minimální hodnota, kterou je lidské oko schopné rozlišit. Byly zpracovány statistické studie, které naznačují, že rozdíl barev  $\Delta E$  6 nebo 7 je ještě považován za přijatelný u běžných tištěných materiálů. Je nutno zdůraznit, že se jedná o pokus kvantifikovat vlastnost, která je ze své podstaty poměrně subjektivní. Posouzení barevné tolerance vždy závisí na konkrétním pozorovateli, na specifických pozorovacích podmínkách a dalších faktorech. Nicméně hodnota  $\Delta E$  zůstane pro toto posouzení dobrým referenčním základem.

### Literatura

- [1] Bunting F. a kol.: *Colortron: User Manual*. Light Source Computer Images, Inc., Larkspur (California, USA) 1994.
- [2] Fraser B., Murphy C., Bunting F.: *Správa barev: Průvodce profesionála v grafice a pre-pressu*. Computer Press, Brno 2003.
- [3] Giorgianni E. J., Madden T. E.: *Digital Color Management: Encoding Solutions*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester (West Sussex, England, GB) 2008.
- [4] Hunt R. W. G.: *The reproduction of Colour*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester (West Sussex, England, GB) 2004.
- [5] Kang H. R.: *Computational Color Technology*. SPIE – The International Society for Optical Engineering, Bellingham (Washington, USA) 2006.

**Dalším pokračováním seriálu bude článek popisující mezipředmětové výukové téma „Barvy kolem nás“, které bylo na základě dosud předloženého kolorimetrického přehledu vytvořeno.**



# ŠKOLSKÁ FYZIKA

praktický časopis pro výuku fyziky

2  
2013

Vydává

Fakulta pedagogická  
Západočeské univerzity v Plzni,  
Univerzitní 8, Plzeň

oddělení fyziky katedry matematiky,  
fyziky a technické výchovy

**ISSN 1211-1511**