



# Typické žákovské představy ve výuce fyziky 2

KONKRÉTNÍ NÁMĚTY PRÁCE S VYBRANÝMI PŘEDSTAVAMI

DANA MANDÍKOVÁ, MARTINA KEKULE A KOL.

KATEDRA DIDAKTIKY FYZIKY MFF UK

2024

Autoři:

Kapitola 1: RNDr. Dana Mandíková, CSc.

Kapitola 2: RNDr. Martina Kekule, Ph.D.

Kapitoly 3 – 6: kolektiv autorů

Editorky: RNDr. Martina Kekule, Ph.D. a RNDr. Dana Mandíková, CSc.

Recenze: RNDr. Dana Mandíková, CSc., RNDr. Martina Kekule, Ph.D., RNDr. Petr Kolář, Ph.D.

Fotografie na obálce: pixabay.com, geralt-9301

Pokud není uvedeno jinak, autoři fotografií a obrázků jsou autoři jednotlivých textů.

Publikace neprošla jazykovou korekturou.

Tisk: Reprintcentrum MFF UK, Sokolovská 83, Praha 8

Vydal MatfyzPress, nakladatelství Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy, Sokolovská 83, 186 75 Praha 8, jako svou 716. (tištěná verze 715.) publikaci.

První vydání, Praha 2024

Publikace byla vydána pro potřeby Katedry didaktiky fyziky MFF UK.

Nakladatelství MatfyzPress neodpovídá za kvalitu a obsah textu.

Realizace elektronické publikace byla v roce 2024 podpořena MŠMT v rámci opatření na podporu studijních programů specificky zaměřených na přípravu učitelů s deficitními aprobacemi na nepedagogických fakultách veřejných vysokých škol.

© Martina Kekule, Dana Mandíková, 2024

© MatfyzPress, nakladatelství Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy, 2024

ISBN 978-80-7378-522-2

ISBN 978-80-7378-521-5 (tištěná verze)

Vážení čtenáři,

nabízíme vám další díl publikace s texty zaměřenými na práci s typickými miskoncepcemi u žáků na základních a středních školách. Texty vznikly v rámci předmětu Didaktika fyziky I jako student-ské seminární práce.

Autoři si vybrali typickou miskoncepci (ať už z odborné literatury nebo z vlastní zkušenosti vyučujících fyziky) a navrhli možnosti jejího odstranění pomocí tří typických strategií – analogie, kognitivního konfliktu a autoreflexivního učení žáka. Podrobněji o těchto strategiích v první kapitole v prvním díle nebo v monografii:

Mandíková, D., Trna, J.: Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky. Paido, Brno, 2011.  
ISBN 978-80-7315-226-0

Práce jsou autentickými díly studentů, v rámci recenze a odborného posouzení jsme se zaměřili pouze na nezbytnou věcnou správnost, další možnosti rozšíření a doplnění textů.

Texty zabývající se konkrétními miskoncepcemi z jednotlivých fyzikálních oborů jsou uvedeny dvěma teoretickými kapitolami. V rámci kapitoly 1 se dozvíte více o úlohách (a testech), které jsou efektivní při odstraňování miskoncepcí. Kapitola 2 je zaměřená na nové technologie, které nám pomáhají ve výzkumu intuitivních představ, zejména na metodu oční kamery (eyetrackingu), kterou by případně bylo možné využít i ve školní praxi.

První díl publikace D. Mandíková, M. Kekule a kol. (2022). Typické žákovské představy ve výuce fyziky. Konkrétní náměty práce s vybranými představami. MatfyzPress, Praha.  
ISBN 978-80-7378-476-8 (print), ISBN ISBN 978-80-7378-479-9 (e-kniha)

je dostupný v elektronické podobě zde:

<https://fyzweb.cz/materialy/kekule/Typicke-zakovske-predstavy-e-kniha.pdf>



Přejeme zajímavé a užitečné čtení!

Martina Kekule a Dana Mandíková

# Obsah

<b>1 Concept Cartoons a ConcepTests</b> – Dana Mandíková .....	<b>3</b>
<b>2 Jak nám v porozumění intuitivním představám pomáhají nové technologie</b> – Martina Kekule .....	<b>18</b>
<b>3 Mechanika</b> .....	<b>34</b>
Proč nelze zakřivit dráhu střely máchnutím zbraně a jak to tedy udělat – Jan Fejt	
Shoz bomby za 2. světové války – Petr Šulc	
Tvar hladiny moře – Eva Kšírová	
„Stav beztlíže znamená, že tam není gravitační síla“ – Iva Koblížková	
Pohyb člověka na Měsíci je výrazně jednodušší než na Zemi – Jindřich Dvořák	
Hydrodynamický paradox – David Holý	
Hustota versus viskozita – Aneta Korcová	
Zvuk je ve vodě pomalejší než ve vzduchu – Sára Palatková	
<b>4 Teplo a teplota</b> .....	<b>73</b>
Kožich „hřeje“ – Tomáš Kopřiva	
Teplotní roztažnost – Jaroslav Kafka	
Vývoj teploty při ohřívání látky a změně skupenství – Michaela Arnoštová	
<b>5 Elektřina</b> .....	<b>83</b>
Žárovka „požírá“ elektrický proud – Kateřina Tetalová	
Úbytek napětí při paralelním zapojení – Roman Dědic	
Elektrický potenciál je nebezpečný – František Zajíc	
<b>6 Optika</b> .....	<b>94</b>
Viditelnost paprsku světla – Vojtěch Šesták	
Zrcadlo je zdrojem světla – Tomáš Tayari	

# 1 Teoretická část I

## Concept Cartoons a ConcepTests

V předchozím dílu publikace „Typické žákovské představy ve výuce fyziky“ jsme zmínili některé diagnostické nástroje a metody, jak prekoncepce<sup>1</sup> odhalovat. Tentokrát se zaměříme na úlohy, při jejichž řešení často vyplouvají na povrch chybné představy žáků, tzv. miskoncepce. Úlohy tohoto typu by měly odhalit, zda žáci porozuměli fyzikálním pojmům a zákonitostem a jsou obvykle označovány jako konceptuální úlohy. Zdrojů takových úloh je celá řada, my se soustředíme hlavně na ty dostupné v češtině.

Věnovat se budeme zejména tzv. bublinovým úlohám (Concept Cartoons) a konceptestům (ConcepTests). Zmíníme také některé konceptuální testy a publikace, kde lze konceptuální úlohy nalézt.

### 1. Concept Cartoons

#### 1.1 Co jsou Concept Cartoons

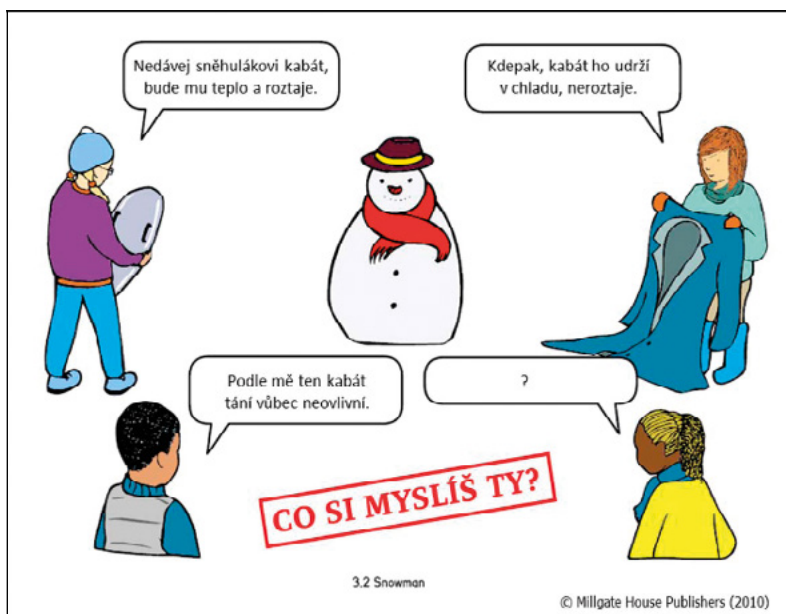
V češtině se tyto úlohy označují nejčastěji jako „bublinové úlohy“, případně jako úlohy zadané formou diskuze. Jejich prvními tvůrci a autory názvu Concept Cartoons jsou Stuart Naylor a Brenda Keogh ([1], [2]). Concept Cartoons měly původně sloužit jako výuková pomůcka pro přírodovědné předměty, a to hlavně pro mladší děti.

---

<sup>1</sup> Vymezení pojmu prekoncepce najdete v 1. dílu publikace.

Úloha má obvykle formu kresby a vystupuje v ní několik mluvčích, kteří vyjadřují svůj názor na předložený problém. Jeden z prvních Concept Cartoons je na obr. 1.

Názory jednotlivých postav odpovídají zpravidla typickým miskoncepcím souvisejícím s daným tématem. Tyto názory jsou obvykle zjišťovány na základě rozhovorů s žáky nebo testováním pomocí úloh s otevřenými odpověďmi a vybrány jsou typické nejčtenější odpovědi žáků.



Obr. 1: Ukázka Bublinové úlohy 1 (převzato z [3], [4])

Jeden názor představuje správné či alespoň přijatelné řešení a jedna z postav pak dává žákovi možnost vyjádřit svůj vlastní názor. Tato možnost je velmi důležitá pro žáky, kteří budou nad úlohou přemýšlet v širším kontextu, divergentním způsobem apod.

## 1.2 Ukázky českých bublinových úloh Evy Hejnové

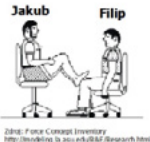
V České Republice se vytváření bublinových úloh věnuje zejména Eva Hejnová [5]. Na jejích webových stránkách [6] lze nalézt čtyři sady těchto úloh k tématům Pohybové zákony, Gravitace, Optika a Atomistika včetně metodických poznámek k jejich řešení. Úlohy mají jednotnou formu, mnohé z nich mají základ v úlohách z různých konceptuálních testů. Pojďme se podívat na několik ukázek.

### Úlohy k tématu Pohybové zákony

Obr. 2: Ukázka Bublinové úlohy 2 (převzato z [6])

Tato úloha (obr. 2) cílí na jednu z častých miskoncepcí, která říká, že při každém pohybu, včetně rovnoměrného přímočarého, musí působit síla v jeho směru, tedy ve směru rychlosti. Této miskoncepci odpovídá Vojtova odpověď. Nejpřijatelnější je odpověď Katky, která platí v případě, že neuvažujeme působení odporu vzduchu. Úloha tedy dává prostor k další diskusi. Dá se také rozebrat, jak by vypadal pohyb skútru v případě Petrovy odpovědi.

**Pohybové zákony** *Odstrkávání*



**A**  
Jakub váží 65 kg se opírá o Filipa, který váží 50 kg. Jakub se chce od Filipa odstrčit nohama.

**B**  
Jakub působí silou na Filipa, ale Filip na Jakuba žádnou silou nepůsobí.

**C**  
Oba na sebe působí silami, ale Jakub na Filipa působí větší silou, protože je těžší.

**D**  
Nemáte pravdu. Já si myslím, že ...

Oba na sebe působí stejně velkými silami.

**U**

**Učitel:** Albert Einstein

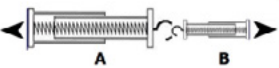
**Žáci:** Martina, Petr, Katka, Lukáš

*Poznámka*

Obr. 3: Ukázka Bublinové úlohy 3 (převzato z [6])

Ukázat, že síly, kterými na sebe tělesa při srážce působí, mají stejnou velikost, není snadné. Experiment, kde se síly při pružné srážce přímo měří, lze nalézt na [7].

**Pohybové zákony** *Siloměry*



**A**  
Siloměr A je větší a má pevnější (tužší) pružinu než siloměr B. Siloměr A ukazuje 4 N.

**B**  
Siloměr B bude ukazovat také 4 N, protože oba siloměry na sebe působí stejnými silami.

**C**  
Siloměrem B naměříme sílu větší než 4 N, protože na něj působí siloměr A větší silou.

**D**  
Siloměr B bude ukazovat menší sílu než 4 N, protože má slabší pružinu.

**U**

**Učitel:** Albert Einstein

**Žáci:** Jirka, Jana, Katka, Vojta

*Poznámka*

Obr. 4: Ukázka Bublinové úlohy 4 (převzato z [6])

Úloha (obr. 3) se týká další části a silné miskoncepce, kdy si žáci myslí, že větší a těžší těleso působí na menší a lehčí větší silou. Této představě odpovídá odpověď Katky. Správná je Petrova odpověď, jedná se o síly vzájemného silového působení, které mají podle 3. Newtonova zákona stejnou velikost. Miskoncepce podporuje skutečnost, že účinky silového působení bývají patrnější na lehčím tělese, osobní auto obvykle odnese srážku s nákladákem podstatně hůře.

Úloha (obr. 4) je zaměřená na podobnou chybnou představu jako předchozí, a to že tužší, pevnější pružina bude působit na měkčí pružinu s menší tuhostí větší silou. To vyjadřuje odpověď Jany. Podporuje to i fakt, že se měkčí pružina více protáhne. Správná je odpověď Jirky. S pomocí siloměrů se dá snadno ověřit. Ukazuje to například experiment využívající siloměry s pružinami různých tuhostí na [7].

## Úlohy k tématu Gravitace

**Gravitace** *Strom a jablka*



**A** Na obrázku některá jablka visí na stromě, jedno jablko padá a jedno leží na zemi.

**B** Gravitační síla působí pouze na padající jablko. Jestliže jablko visí na větvi nebo když leží na zemi, gravitační síla na něj nepůsobí.

**C** Gravitační síla působí na všechna jablka na obrázku, ale největší je v případě, když jablko padá. Když jablko visí nebo leží na zemi, je gravitační síla zmenšována silou větve nebo podložky.

**D** Gravitační síla působí na všechna jablka na obrázku a její velikost závisí na hmotnosti jablek.

Nemáte pravdu. Já si myslím, že ...

**Jana**  
**Jirka**  
**Vojta**  
**Katka**

Zdroj: <http://program.audito.cz>

Poznámka

Obr. 5: Ukázka Bublinové úlohy 5 (převzato z [6])

Úloha (obr. 5) se dotýká chybných představ souvisejících zejména se vztahem síly a pohybu. Janina odpověď odpovídá miskonceptci, že na jablka, která jsou v klidu (jablko na větvi a na zemi), nepůsobí žádná síla. Z Jirkovy odpovědi je patrné nepochopení podstaty gravitačního působení jako vzájemného působení dvou těles, které závisí na hmotnosti obou. Gravitační sílu tedy nezmenší ani tah větve, tlak podložky či třeba působení vody v sudu, do kterého jablko spadlo a padá v ní ke dnu.

Správná je odpověď Vojty, ke které by bylo ještě fajn dodat, že velikost gravitační síly závisí i na hmotnosti Země, která jablka přitahuje.

**Gravitace** *Míček a Země*



**A** Malý míček padá na povrch Země.

**B** Země přitahuje gravitační silou míček, ale míček na Zemi žádnou silou nepůsobí.

**C** Země i míček na sebe působí přitažlivými silami, ale Země působí na míček mnohem větší silou, protože má oproti míčku obrovskou hmotnost.

**D** Nemáte pravdu. Já si myslím, že ...

**Martina**  
**Petr**  
**Katka**  
**Lukáš**

Poznámka

Obr. 6: Ukázka Bublinové úlohy 6 (převzato z [6])

Úloha (obr. 6) opět naráží na miskonceptci, že větší a těžší těleso působí na menší a lehčí větší silou. Pro děti je obtížné připustit, že i míček působí na Zemi silou, a to navíc stejně velkou jako Země na míček, když účinek této síly na Zemi není vůbec patrný.



**Gravitace** *Míček*

**Tomáš vyhodí míček přímo nahoru.**

**A**  
Petr  
Na míček působí po celou dobu jeho pohybu ve vzduchu gravitační síla, kterou na něj působí Země.

**B**  
Katka  
Na míček působí gravitační síla Země a síla ruky, která se postupně zmenšuje.

**C**  
Martina  
V okamžiku, kdy se míček v nejvyšším bodě zastaví, na něj žádná síla nepůsobí.

**D**  
Lukáš  
Nemáte pravdu. Já si myslím, že ...

Zdroj: <http://www.zonglenkadina.umax.cz>

Poznámka

Obr. 7: Ukázka Bublínové úlohy 7 (převzato z [6])

vzhůru a přitom na něj působí síla směrem dolů. Typickou miskoncepcí zde bývá, že síla, kterou na míček působí naše ruka při výhozu, se na něj přenesa a díky ní letí míček nahoru. Během pohybu vzhůru musí být větší než síla, kterou míček přitahuje Země a postupně se zmenšuje (odpověď Katky). V nejvyšším bodě se pak síly vyrovnají. Někteří žáci říkají, že tam je míček v beztížném stavu a žádná síla na něj nepůsobí (odpověď Martiny). Je důležité se žáky rozebrat, jak se mění rychlost míčku v průběhu pohybu. Směrem vzhůru její velikost klesá, musí tedy působit nějaká síla, která míček zpomaluje. Tou je právě gravitační síla. V nejvyšším bodě je rychlost nulová a mění se její směr. Kdyby v tomto bodě žádná síla nepůsobila, zůstal by zde míček spokojeně viset. Dolů začne míček padat a nabírat na rychlosti právě díky působení gravitační síly. Zejména na vyšších stupních (SŠ, VŠ) je dobré rozebrat situaci i v případě působení vzduchu. Odporová síla vzduchu míček při pohybu vzhůru i dolů brzdí. V nejvyšším bodě je nulová. Vzduch po celou dobu také míček mírně nadlehčuje vztlakovou silou, která je ale vzhledem k ostatním silám zanedbatelná.

Správný popis silového působení na míček, který vyhodíme vzhůru do vzduchu (obr. 7), je velmi obtížný nejen pro mladší žáky, ale chybují v něm často i začínající vysokoškolsí studenti fyzikálních oborů. Nebudeme-li uvažovat působení vzduchu, pak na míček v průběhu celého pohybu (poté, co opustí naši ruku a než ho zase chytíme) působí pouze gravitační síla (odpověď Petra). Díky tomu, že žáci často spojují sílu s rychlostí a nikoliv se zrychlením, je pro ně nesmírně obtížné připustit, že míček letí

**Gravitace** *Padání těles 2*

**Tenisový míček a papírovou kouli stejné velikosti pustíme ze stejné výšky a ve stejný okamžik z ruky.**

**A**  
Jirka  
Tenisový míček padá rychleji, protože je těžší.

**B**  
Jana  
Obě tělesa padají stejně rychle.

**C**  
Katka  
Papírová koule nemůže za žádných okolností dopadnout na zem ve stejný okamžik jako míček.

**D**  
Vojta  
Nemáte pravdu. Já si myslím, že ...

Zdroj: <http://www.astrofiz.cz>

Poznámka

Obr.8: Ukázka Bublínové úlohy 8 (převzato z [6])

Tato úloha (obr. 8) dává velký prostor k diskusi. Na úrovni ZŠ a často i SŠ při řešení úloh a problémů neuvažujeme působení vzduchu. Pokud bychom předpokládali, že tenisový míček a papírová koule padají ve vakuu, bude na ně působit jen gravitační síla, ta jim bude udělovat stejné zrychlení a dopadnou stejně. To odpovídá řešení Jany. Kdybychom ale zůstali jen u této situace a dostatečně nezdůvodnili, že to platí jen za specifických podmínek, které ale kolem nás ne-

jsou, mohou děti nabýt dojmu, že to, co se učí ve fyzice, nemá s realitou moc společného a může je to podpořit v jejich miskoncepcích. Reálně na míček a kouli působí ještě odporová síla vzduchu (vztlaková je zanedbatelná), ta závisí na tvaru padajícího objektu, ploše průřezu kolmého na směr padání a roste s druhou mocninou rychlosti. V našem případě jde o dvě stejně velké koule, takže při dané rychlosti bude odporová síla stejná. Tenisový míček má ale větší hmotnost a vzduch ho bude brzdit méně ( $a_{\text{míček}} = g - (F_{\text{odporová}}/m_{\text{míček}}) > a_{\text{koule}} = g - (F_{\text{odporová}}/m_{\text{koule}})$ ). Pustíme-li míček a kouli současně z malé výšky, bude rozdíl v čase dopadu malý a těžko postřehnutelný, pustíme-li je ale třeba z okna ve druhém patře, bude již dobře vidět, že míček dopadne dříve. Pokud budou mít padající tělesa různý tvar, plochu průřezu i hmotnost, je již odpověď složitější.

Jirkova odpověď vyjadřuje další typickou miskoncepci. Protiargumentem může být snadno realizovatelný pokus, kdy vezmeme list papíru, utrheme mu roh a ten zmačkáme do malé kuličky. Ta má mnohem menší hmotnost než zbytek papíru. Pustíme kuličku a list papíru ze stejné výšky a sledujeme, co dopadne dříve.

## Úlohy k tématu Optika

**Optika** *Obraz na stěně*

Marek se dívá na obraz na stěně. Proč vidí Marek obraz?

**A** Z Markova oka dopadá paprsek na obraz a odráží se zpátky do jeho oka.

**B** Ze žárovky dopadá světlo nejprve do Markova oka a potom z oka na obraz.

**C** Světlo ze žárovky dopadá na obraz, od něhož se odráží, a pak dopadá do Markova oka.

**D** Ze žárovky dopadá světlo zároveň do oka i na obraz.

**E** Nemáte pravdu. Já si myslím, že ...

Vojta, Petr, Katka, Lukáš, Martina

Zdroj: Ellis, Ryan et al. Science (virokook), 2005

Poznámka

Obr. 9: Ukázka Bublinové úlohy 9 (převzato z [6])

do oka, tak na objekt, který pozorujeme, ale již není žádné spojení mezi okem a objektem. Správná je pak Katčina odpověď.

Úloha (obr. 9) může být dobrým startovním bodem pro zjištění představ dětí o tom, proč vlastně vidíme předměty kolem sebe a diskuzi nad nimi. Vojtova odpověď vystihuje jednu z chybných prekonceptů zejména mladších dětí. Podle ní oči fungují podobně jako radary, vysílají paprsky, kterými „ohmatáváme“ objekty. Některé děti si podobně jako Petr myslí, že světlo dopadne nejprve do oka a pak jde z oka na objekt, který pozorujeme. Lukášova odpověď odpovídá představě, že světlo jde ze zdroje jak

**Optika** *Fotografování v zrcadle*

Lenka je půl metru od zrcadla a chce se vyfotit. Na jakou vzdálenost musí být její fotoaparát nastaven, aby její fotografie byla ostrá?

**A** Fotoaparát musí být nastaven na jeden metr.

**B** Fotoaparát musí být nastaven na půl metru.

**C** Fotoaparát musí být nastaven na nekonečno.

**D** Nemáte pravdu. Já si myslím, že ...

Jana

Katka

Jirka

Petr

*Zdroj: http://www.mathov.sk/ova/sem2011/04/zrcadlo-nerovinu.html*

Poznámka

Obr. 10: Ukázka Bublínové úlohy 10 (převzato z [6])

Úloha (obr. 10) je zaměřena na zobrazení rovinným zrcadlem, konkrétně jde o to, kde vidíme svůj obraz. Neptá se ale na jeho polohu přímo, žáci si musí navíc uvědomit, že fotoaparát je třeba zaostřit právě na vzdálenost, ve které obraz leží. Typickou miskoncepci, že obraz předmětu leží v rovině zrcadla, vyjadřuje Jirkova odpověď. Správná je odpověď Jany.

**Optika** *Pohyb před zrcadlem*

Chlapec pozoruje v zrcadle obraz kuličky, která před ním visí na niti. Kam se bude pohybovat obraz kuličky, jestliže se chlapec posune vlevo.

**A** Obraz kuličky se bude posunovat také směrem doleva.

**B** Poloha obrazu kuličky v zrcadle se měnit nebude.

**C** Obraz kuličky se bude posunovat směrem doprava.

**D** Nemáte pravdu. Já si myslím, že ...

Vojta

Lukáš

Katka

Jana

Poznámka

Obr. 11: Ukázka Bublínové úlohy 11 (převzato z [6])

V úloze na obr. 11 se poloha kuličky ani jejího obrazu v zrcadle nezmění. Pohyb chlapcovy hlavy to nijak neovlivní. Správná je odpověď Katky. Mnoho žáků má ale pocit, že když pohneme hlavou na jednu stranu, v tomto případě doleva, obraz předmětu se posune na druhou stranu, tedy doprava (odpověď Lukáše). Hledají ho na spojnici svých očí a kuličky.

### 1.3 Tvorba vlastních bublinových úloh

Pokud byste potřebovali nějakou vhodnou bublinovou úlohu k tématu, které probíráte, a žádnou takovou nemáte k dispozici, můžete si ji snadno vytvořit.

Ideální je, pokud máte třeba úlohu z nějakého konceptuálního testu s výběrem odpovědí, které vyjadřují miskoncepce, na které se chcete zaměřit. Na obrázku vidíte úlohu ze sbírky Evy Hejnové a její předlohu z testu Force Concept Inventory (obr. 12).

**Pohybové zákony Výtah**

Výtah, který je tažen ocelovým lanem, se pohybuje stálou rychlostí nahoru.

**A** Tahová síla lana je větší než gravitační síla, kterou působí na výtah Země.

**B** Tahová síla lana je stejně velká jako gravitační síla.

**C** Výtah se pohybuje nahoru díky zkracování lana a ne kvůli tomu, že na něj působí lano směrem nahoru.

**D** Nemáte pravdu. Já si myslím, že ...

**Katka**

Zdroj: Force Concept Inventory <http://modelinglab.asu.edu/RCI/Research.html>

Výtah jede výtahovou šachtou konstantní rychlostí nahoru a je tažen ocelovým lanem, jak ukazuje obrázek. Tření (včetně odporu vzduchu) je zanedbatelné. Co platí pro síly působící na výtah v této situaci?

(A) Síla, kterou působí lano směrem vzhůru, je větší než gravitační síla mířící dolů.

(B) Síla, kterou působí lano směrem vzhůru, je stejná jako gravitační síla mířící dolů.

(C) Síla, kterou působí lano směrem vzhůru, je menší než gravitační síla mířící dolů.

(D) Síla, kterou působí lano směrem vzhůru, je větší než součet gravitační síly mířící dolů a síly, kterou působí vzduch směrem dolů.

(E) Žádná z uvedených možností. (Výtah se pohybuje nahoru díky zkracování ocelového lana a ne kvůli tomu, že na něj působí lano silou směrem vzhůru.)

Obr. 12: Ukázka Bublinové úlohy 12 (převzato z [6], [17])

Můžete si samozřejmě vytvořit i úplně vlastní bublinovou úlohu třeba na základě chybných odpovědí vašich žáků, které se objevily v písemce či jste na ně narazili při diskuzích se žáky. Příklad je na obr. 13.

Do tvorby úloh můžete zapojit i samotné žáky.

Otvor se bude zmenšovat.

Velikost otvoru se měnit nebude.

Kovový kroužek s otvorem zahíváme nad plamenem. Jak se bude měnit velikost otvoru?

**EMA**

**SAM**

Otvor se bude zvětšovat.

Já si myslím, že ...

**BEN**

**IVA**

Obr. 13 Ukázka Bublinové úlohy 13 (zdroj obrázků [8])

## 1.4 Využití bublinových úloh

Výzkumy ([9] [10]) ukazují, že používání bublinových úloh motivuje děti k diskuzi, zapojují se i žáci, kteří se normálně zdráhají projevit svůj názor či mají problém s vyjadřováním. Pomáhá jim i to, že za ně mluví postava na obrázku a případnou chybu tedy vlastně neudělají oni.

Úlohy jsou vhodné zejména pro mladší děti na prvním či druhém stupni základní školy, ale určitě je lze využít i u starších žáků a studentů. Nejprve by měli žáci dostat čas, aby si samostatně přečetli zadání problému, vyjádření jednotlivých postav a zaujali k nim vlastní stanovisko. Názory žáků je pak možné zjistit formou hlasování. Dále je dobré nechat žáky diskutovat o svých řešeních v rámci skupin. Ty je třeba tvořit tak, aby v nich byli žáci s různými pohledy na věc a v diskuzi si je vzájemně sdělovali a obhajovali svá řešení. Pak je dobré opět hlasovat, na jakých řešeních se skupiny shodly. V závěru je pak třeba úlohu důkladně společně rozebrat a dát prostor vlastním řešením žáků. Vyjádření jednotlivých postav v úlohách mohou být poměrně volná a platit třeba jen za určitých podmínek.

Úlohy lze použít v libovolné fázi výuky. Na úvod nového tématu mohou pomoci zjistit, jaké představy mají žáci o problémech, kterým se chceme věnovat. Diskuze nad zadanou úlohou umožní do nich i hlouběji nahlédnout. V průběhu výuky mohou sloužit jako rychlá zpětná vazba, zda žáci problém pochopili. Na závěr pak dobře poslouží, abychom zjistili, nakolik se nám podařilo pomoci dětem překonat některé nesprávné představy, s kterými do výuky vstupovaly.

## 2. ConcepTesty

### 2.1 Co jsou ConcepTesty a jak se využívají

ConcepTests (česky konceptesty) jsou krátké otázky, které se zaměřují na porozumění základním pojmům v dané oblasti fyziky a pochopení podstaty fyzikálních jevů. Lze pomocí nich odhalit přetrvávající miskoncepce žáků a při práci s nimi pomoci k jejich odstranění.

Konceptesty vznikly jako součást výukové metody Peer Instruction, tu vytvořil v devadesátých letech minulého století Eric Mazur [11]. Původně byla určena pro jeho vysokoškolské studenty. Podnětem byly neuspokojivé výsledky studentů v testu FCI (Force Concept Inventory), které ukázaly na řadu přetrvávajících miskonceptů i u studentů, kteří byli v tradičních testech a zkouškách úspěšní. Dnes se tato metoda využívá po celém světě. V České republice byla její průkopnicí J. Šestáková (Končelová), která s ní pracovala na základní škole ([12]). Peer Instruction využívá vzájemného učení žáků, kteří mají možnost diskutovat nad krátkými konceptuálními úlohami (konceptesty). Učitel pak od žáků získává okamžitou zpětnou vazbu pomocí hlasovacích zařízení.

Výuka probíhá tak, že učitel má nejprve krátký výklad k dané látce, kdy prezentuje nějaký fyzikální koncept. Pak následuje zadání konceptestu. Žáci nejprve řeší úlohu individuálně a odpovídají obvykle pomocí hlasovacích zařízení, lze si ale vystačit třeba i s hlasovacími kartičkami. Žáci by při hlasování neměli vidět odpovědi svých kolegů. (Mohou například hlasovat se zavřenýma očima.)

Po hlasování může nastat několik situací. Pokud většina (přes 70%) žáků odpoví správně, učitel stručně objasní řešení a pokračuje dalším výkladem. Pokud je úspěšnost naopak velmi nízká (pod

30 %), učitel dá nápovědu, případně zopakuje něco z výkladu a zadá znovu stejnou, případně jednodušší otázku. Obvykle nastává situace, kdy je úspěšnost někde mezi uvedenými hodnotami. V tomto případě jsou žáci rozděleni do skupin, kde by měli být ideálně žáci, kteří volili různé odpovědi. Žáci diskutují nad řešením konceptestu, mají možnost vzájemně si klást otázky, zdůvodňovat, proč volili právě danou odpověď, vysvětlovat si látku vlastním jazykem a způsobem, který jim může být bližší.

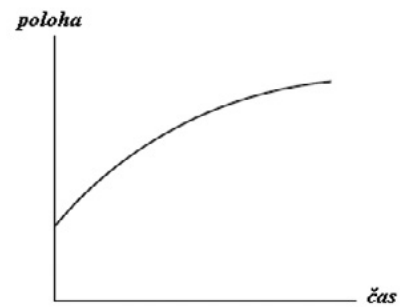
Po diskuzi následuje další hlasování o stejné otázce. Pokud při tomto hlasování odpověděl správně dostatečný počet žáků, následuje vysvětlení řešení. Je ideální, když tak činí někdo ze žáků a učitel ho případně koriguje. Pak následuje další blok.

K výhodám konceptestů patří, že pomáhají odhalit a opravit běžné mylné představy, aktivně zapojují žáky do procesu učení, podporují diskuzi a vzájemnou spolupráci a umožňují učitelům okamžitě vyhodnotit úroveň porozumění žáků.

## 2.2 Ukázky konceptestů

### *Konceptest 1: ([13])*

Vlak jede po přímé dlouhé trati. Graf závislosti polohy na čase na obrázku 14 popisuje pohyb vlaku. Grafem je znázorněno, že vlak



Obr. 14 Ukázka konceptestu 1

- A. stále zrychluje,
- B. stále zpomaluje,
- C. chvíli zrychluje a chvíli zpomaluje,
- D. jede konstantní rychlostí.

*Řešení:* B. stále zpomaluje

*Typická chybná odpověď:* stále zrychluje

### *Konceptest 2: ([11])*

Člověk stojící na okraji útesu hodí jeden míček přímo vzhůru a druhý přímo dolů se stejnými počátečními rychlostmi. Zanedbejte odpor vzduchu.

Míček, který dopadne na zem pod útesem s větší rychlostí, je ten, který byl na začátku hozen:

- A. přímo vzhůru,
- B. přímo dolů,
- C. ani jeden, oba dopadnou se stejnou rychlostí.

*Řešení:* ani jeden, oba dopadnou se stejnou rychlostí

*Typická chybná odpověď:* přímo dolů

### Koncepttest 3: ([14])

Krevní destička se pohybuje *spolu* s krví tepnou, která je částečně ucpaná (obr. 15).



Obr. 15 Ukázka konceptestu 3

Když se destička pohybuje ze zúžené do širší části, tak velikost její rychlosti:

- A. vzrůstá,
- B. zůstává stejná,
- C. klesá.

*Řešení:* klesá

*Typická chybná odpověď:* vzrůstá

### Koncepttest 4: ([15])

Máme dvě stejné kostky ledu. Jednu necháme volně ležet v místnosti na stole, druhou zabalíme do kožichu a dáme na stůl.

Která kostka roztaje dříve?

- A. zabalená v kožichu,
- B. volně ležící na stole,
- C. obě roztají za stejnou dobu.

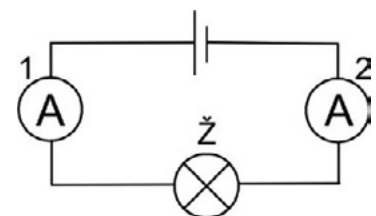
*Řešení:* volně ležící na stole

*Typická chybná odpověď:* zabalená v kožichu

### Koncepttest 5: ([15])

Porovnejte výchylky ampérmetrů v zapojení na obrázku 16.

- A. ampérmetr A číslo 1 ukazuje méně,
- B. ampérmetr A číslo 2 ukazuje méně,
- C. oba ampérmetry ukazují stejně.



Obr. 16 Ukázka konceptestu 5

*Řešení:* Oba ampérmetry ukazují stejně.

*Typická chybná odpověď:* Ampérmetr A číslo 2 ukazuje méně, protože v žárovce se část proudu spotřebuje.

Databázi konceptestů v češtině spolu s dalšími informacemi k metodě Peer Instruction a užívání konceptestů najdete na [13].

### 3. Konceptuální testy

Konceptuální testy z fyziky jsou speciálně navržené testy, které se zaměřují na porozumění základním fyzikálním pojmům a jevům. Úlohy, které obsahují, jsou obvykle kvalitativní. Cílem těchto testů je odhalit běžné žákovské miskoncepce. Řada testů je standardizovaných, existují ve více jazycích, jsou široce používány ve světě, což umožňuje srovnávání výsledků na mezinárodní úrovni.

#### 3.1 Příklady konceptuálních testů

##### 3.1.1 Force Concept Inventory (FCI)

FCI ([16]) je jedním z nejznámějších a nejpoužívanějších konceptuálních testů. Test se zaměřuje na chápání pojmu síla a Newtonovy pohybové zákony. Je navržen tak, aby identifikoval mylné představy žáků týkající se síly a pohybu. Test je přeložen i do češtiny. Jako první ho k výzkumným účelům u českých gymnazistů a vysokoškoláků využila Dita Čížková. V její diplomové práci [17] lze nalézt i další konceptuální test zaměřený na pochopení Newtonových zákonů.

##### 3.1.2 Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K)

TUG-K [18] je jeden z nejznámějších testů zaměřených na grafy v kinematice. Test tvoří otázky, které prověřují schopnost žáků interpretovat grafy závislosti polohy, rychlosti a zrychlení na čase. Test je přeložený do češtiny a v rámci své bakalářské práce ho k výzkumu grafické gramotnosti českých středoškoláků i vysokoškoláků použila Blanka Trulíková [19].

K dalším testům zaměřeným na práci s grafy patří Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) [20], který sleduje pochopení vztahu mezi silou, pohybem a grafickým znázorněním těchto vztahů.

##### 3.1.3 Thermal Concept Evaluation (TCE) a Heat and Temperature Concept Evaluation (HTCE)

Test TCE [21] je zaměřen na koncepty tepla a teploty, včetně termodynamických zákonů, měrné tepelné kapacity a přenosu tepla. Test je přeložený do češtiny a k výzkumu miskonceptů českých středoškoláků ho v upravené verzi ve své dizertační práci využil Petr Kácovský [22].

Podobným testem je HTCE [23] týkající se představ žáků o teple, teplotě a tepelné výměně. Test je přeložený do češtiny a k výzkumu miskonceptů českých středoškoláků ho ve své diplomové práci využil Michal Čechák [24].

##### 3.1.4 Conceptual Survey of Electricity and Magnetism (CSEM)

Test CSEM [25] je zaměřený na základní pojmy v oblasti elektřiny a magnetismu. V češtině existuje obdobný test KTEM, který z originálního CSEM testu vychází. Miskoncepce českých žáků v oblasti elektřiny a magnetismu s jeho pomocí zkoumala Věra Koudelková [26].

Na koncepty související s elektrickými obvody včetně Ohmova zákona, Kirchhoffových zákonů a základních konceptů týkajících se proudu, napětí a odporu se soustřeďuje test Electric Circuits Concept Evaluation (ECCE) [27].



### 3.1.5 Další konceptuální testy

Mezi první konceptuální testy patří Mechanic Baseline Test [28]. Zabývá se pochopením nejzákladnějších pojmů mechaniky, které se probírají v úvodních kurzech fyziky.

Na porozumění základním pojmům spojeným s energií, včetně práce, kinetické energie, potenciální energie a zákona zachování energie je zaměřen test Energy Concept Assessment (ECA) [29].

Problematikou vlnění se zabývá test Wave Concept Inventory (WCI) [30], zaměřuje se na mechanické vlny, elektromagnetické vlny a stojaté vlny.

## 4. Sbírký konceptuálních úloh

Moc pěkné konceptuální úlohy obsahuje publikace Zdeňky Koupilové Fyzikální oříšek na každý týden [31]. Úlohy byly součástí prvního ročníku hry Neadventní kalendář. Úlohy se zaměřují na pochopení základních fyzikálních zákonitostí, mnohé se dotýkají i častých miskonceptů. Typické pro ně je, že nabízí prostor k širším diskuzím, protože nejsou obvykle zcela jednoznačně zadané a řešení se může lišit podle nastavení počátečních podmínek. Podle toho, do jaké hloubky chceme jít, je lze mnohdy použít od základní po vysokou školu. Publikace obsahuje i podrobná řešení všech úloh i případné náměty na jejich modifikace a rozšíření.

Podobné úlohy z dalších dvou ročníků hry jsou k nalezení na [32].

Řadu konceptuálních úloh členěných po fyzikálních tématech obsahuje publikace Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky [15]. Kromě správných řešení, lze u úloh nalézt i typické chybné odpovědi žáků.

## Literatura

[1] Keogh, B. & Naylor, S. (1993). Learning in science: another way in. *Primary Science Review*, 26, 22–23.

[2] Keogh, B. & Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: an evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431–446.

[3] Naylor, S. & Keogh, B. (2010). *Concept Cartoons in Science Education*, 2nd Edition. Sandbach: Millgate House Education.

[4] Samková, L. (2016) Didaktické znalosti obsahu budoucích učitelů 1. stupně základní školy před studiem didaktiky matematiky. *Scientia in Education* 7(2), 71–99.

[5] Hejnová, E. (2016) Realizace konstruktivistického přístupu ve výuce fyziky prostřednictvím úloh zadaných formou diskuze, *MFI* 25, Prometheus, Praha, 102–115.

[6] Dostupné online [cit. 26. 8. 2024] [https://physics.ujep.cz/~ehejnova/Pro\\_ucitele/index4.html](https://physics.ujep.cz/~ehejnova/Pro_ucitele/index4.html)

- [7] Dostupné online [cit. 26. 8. 2024] <https://fyzikalnipokusy.cz/cs/fyzika/mechanika>
- [8] Zdroj obrázků: <https://myloview.cz/obraz-stastne-kreslene-deti-vektorove-ilustrace-klipart-s-jednoduchymi-c-5BE935E> a <https://obrazky.superia.cz/ostatni/ohen.php>
- [9] Naylor, S., Keogh, B. & Downing, B. (2007). Argumentation and primary science. *Research in Science Education*, 37, 17–39.
- [10] Naylor, S. & Keogh, B. (2013). Concept Cartoons: What have we learnt? *Journal of Turkish Science Education*, 10(1), 3–11.
- [11] Mazur, E. (1997) Peer Instruction: A User's Manual. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 253 s. ISBN 0-13-565441-6
- [12] Končelová, J. (2011) Učíme se aktivně a s porozuměním díky hlasování. In: Sborník ze semináře OS FPS JČMF: Jak učím fyziku? 2, JČMF, Prah, 3 s., editor: Robert Seifert. ISBN 978-80-7015-010-8
- [13] Dostupné online [cit. 26. 8. 2024] <https://fyzweb.cz/materialy/peer-instruction/>
- [14] Crouch, C. H., Mazur, E. (2001) Peer Instruction: Ten years of experience and results. *Am. J. Phys.* 69 (9), 970–977.
- [15] Mandíková, D., Trna, J. (2011) Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky. Paido, Brno.
- [16] Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G. (1992) Force Concept Inventory. *Phys. Teach.* 30 (3), 141–158.
- [17] ČÍŽKOVÁ, D. (2009) Prekoncepce studentů o vztahu síly a pohybu. Diplomová práce. Praha, MFF UK.
- [18] Beichner, Robert J. (1994) Testing student interpretation of kinematics graphs. *American journal of Physics*, 62.8: 750–762.
- [19] Trulíková, B. (2010) Miskoncepce žáků a studentů při interpretaci kinematických grafů. Bachelářská práce. Praha.
- [20] Dostupné online [cit. 26. 8. 2024] <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=FMCE>
- [21] Yeo, S., & Zadnik, M. (2001). Introductory Thermal Concept Evaluation: Assessing Students' Understanding. *The Physics Teacher*, 39, 496-504. ISSN: 0031-921x.
- [22] Kácovský, P. (2016) Experimenty podporující výuku termodynamiky na středoškolské úrovni. Dizertační práce. Praha.

- [23] Thornton, R, Sokoloff, D. (2001) The Heat and Temperature Concept Evaluation (HTCE) 2001, Center for Science and Mathematics Teaching , Tufts University, Medford USA
- [24] Čečák, M. (2015) Prekoncepce studentů o teple a teplotě. Diplomová práce. Praha.
- [25] Maloney, D. P., et al. (2001) Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69 (7)12–23.
- [26] Koudelková, V. (2016) Elektřina a magnetismus vlastníma rukama a hlavou. Dizertační práce. Praha.
- [27] Engelhardt, P. V., Beichner, R. J. (2004) Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *Am. J. Phys.* 72 (1).
- [28] Hestenes, D.; Wells, M. (1992) A mechanics baseline test. *The physics teacher*, 30.3: 159–166.
- [29] Dostupné online [cit. 26. 8. 2024]  
<https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=ECA>
- [30] Dostupné online [cit. 26. 8. 2024]  
<https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=WCI>
- [31] Koupilová, Z. (2024) Fyzikální oříšek na každý týden, MatfyzPress, Praha 2024
- [32] Dostupné online [cit. 26. 8. 2024] <https://kdf.mff.cuni.cz/neadventni-kalendar/>

## 2 Teoretická část II

# Jak nám v porozumění intuitivním představám pomáhají nové technologie?

V současné době máme k dispozici další nové technologie, které nám umožňují hlouběji porozumět kognitivním procesům nejen nás lidí. Ve výzkumu v oborech přírodovědného vzdělávání se tyto technologie teprve začínají používat [1], [2] a až čas ukáže, které se osvědčí jako efektivní. Konkrétně se jedná o neinvazivní metody umožňující přímo sledovat indikátory kognitivních procesů. Patří mezi ně například metoda oční kamery (anglicky eyetracking – stopování očí), záznam elektrické aktivity mozku (EEG) nebo sledování aktivity mozku pomocí nukleární magnetické rezonance [3].

Masarykova Univerzita v Brně provozuje inovativní laboratoř vybavenou pro experimentální výzkum v humanitních disciplínách, a tedy i ve vzdělávání, HUME Lab: <https://humelab.cz/>. V této unikátně vybavené laboratoři disponují očními kamerami (angl. eyetrackers), EEG systémem, infračervenou spektroskopií, systémem pro sledování pohybu (angl. motion capture) a dalšími možnostmi pro měření parametrů lidského těla (termokamera, měření hladiny hormonů, bolesti, krevního tlaku a dalších).

V oblasti výzkumu vzdělávání v přírodovědných oborech se využívá zejména metoda oční kamery. Například v rámci Palackého Univerzity kolegové realizují výzkum touto metodou (nejen) v oblasti kognitivní kartografie: <https://eyetracking.upol.cz/>. V oblasti fyzikálního vzdělávání se již dlouhou dobu věnujeme výzkumu s využitím oční kamery v rámci MFF UK: <https://kdf.mff.cuni.cz/eyetracking>.



Obr. 1 Eyetrackingové zařízení

<https://humelab.cz/>



<https://eyetracking.upol.cz/>



<https://kdf.mff.cuni.cz/eyetracking/>



## V čem jsou tyto technologie přínosné ve srovnání s dosavadními přístupy?

Bez použití těchto technologií jsme se ve výzkumu mohli spoléhat na ústní nebo písemný projev žáků a studentů. Při ústním projevu můžeme zaznamenat konkrétní mluvený obsah a další neverbální signály (pauzy, doplňková slova apod.). Při tomto přístupu, jak vědí i učitelé z praxe, ztrácíme poměrně hodně informací, pokud se studenti neumí dobře vyjádřit, používají příliš zástupných zájmen apod. I v případě verbálně schopného studenta získáme již pouze řečené informace a nemáme možnost sledovat vnitřní procesy, které řečenému předcházejí. I sebevíc poctivý student se zřejmě nevyhne určitému filtrování nám sdělených informací (například citlivých informací, z jeho pohledu evidentně „hloupých“ myšlenek). V rámci ústního projevu mohou studenti také reflektovat jejich způsob přemýšlení. Tato metakognitivní činnost může dát opět zkreslené výstupy. Může se jednat o filtrování nahlas uvedených myšlenek nebo například o problém neuvědomování si zautomatizovaných procesů. Další nevýhodou je mixování reálně prováděné činnosti (například přemýšlení) a sebereflexe. V případě realizace sebereflexe až po konkrétním výkonu je nevýhodou přílišný odstup mezi vlastní prováděnou činností a touto reflexí. Podobné nevýhody můžeme zaznamenat i v případě písemného projevu. Písemná možnost dává větší šanci preciznější formulaci ve srovnání s ústním projevem, na druhou stranu je ještě více vzdálená přímému reálnému prožitku v konkrétním čase.

### Výhody nových neinvazivních metod

V úvodu zmíněné nové technologie, které můžeme použít ve výzkumu, mají oproti tradičním přístupům zejména čtyři významné výhody:

1. Procesy můžeme zaznamenávat víceméně bezprostředně. Ve srovnání s odloženou sebereflexí tam nedochází k zapomenutí možná na první pohled nedůležitých událostí.
2. Můžeme zaznamenat i procesy, které mají žáci a studenti už zautomatizované a nemusí si jich být vědomi.
3. Metody jsou velmi efektivní z časového hlediska. Například na základě zaznamenaných očních pohybů během jedné minuty řešení úlohy získáme velmi mnoho informací o odbornosti řešitele.
4. Při použití těchto metod je v podstatě nemožné, jakkoliv schovat a tím i filtrovat jednotlivé akce v rámci přemýšlení. Toto je velmi zajímavé právě v případě výzkumů týkajících se miskonceptů, kdy řešitelé úloh mohou mít tendenci jasnou prvotní „blbost“, která je napadne, filtrovat. Díky těmto metodám tak můžeme pozorovat i to, co bychom typicky my lidé rádi ponechali skryté. Samozřejmě o to více je třeba dbát na etickou stránku používání těchto technologií!

## Vizualizujeme přemýšlení aneb metoda oční kamery (eyetrackingu)

Metoda eyetrackingu nám umožňuje sledovat oční pohyby osob, které se buďto dívají na obrázek, text, video, webové stránky na počítači (obr. 2) nebo které se s eyetrackingovými brýlemi pohybují v reálném nebo virtuálním prostoru (obr. 3).



Obr. 2 Desktopová oční kamera



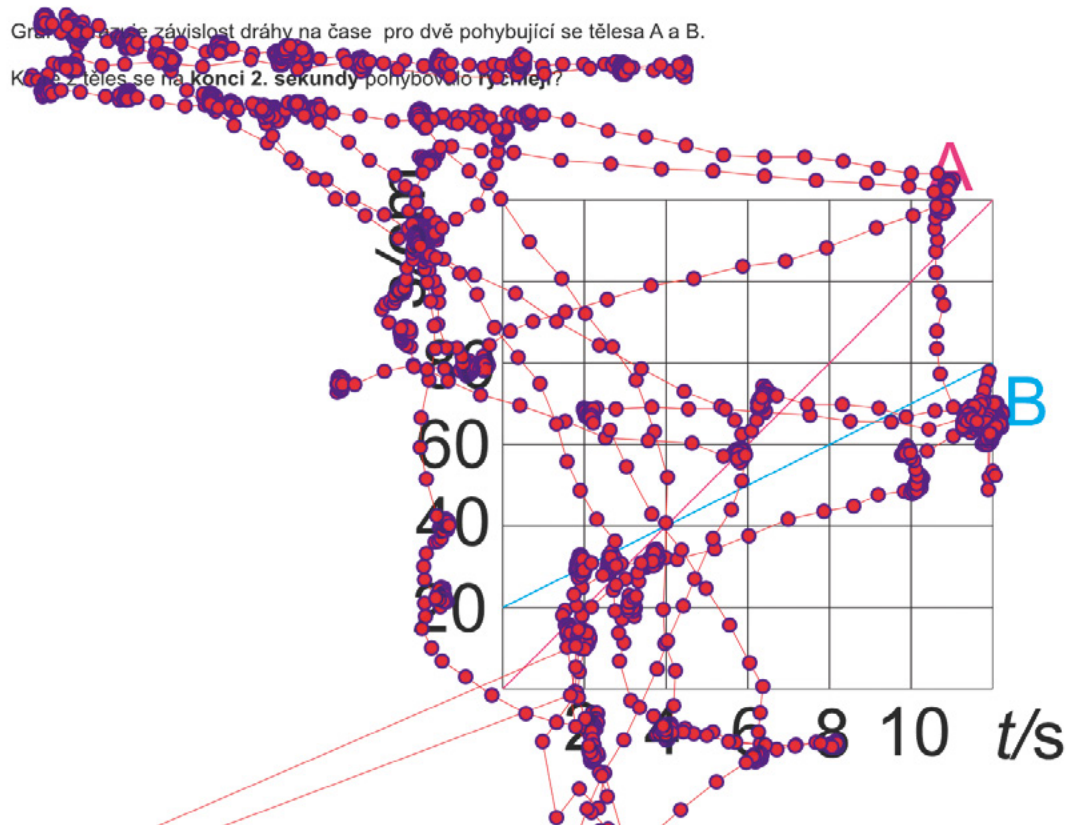
Obr. 3 Oční kamera ve formě brýlí

Na základě získaných záznamů očních pohybů pak můžeme odhadnout zaměření pozornosti osob při sledování obrazovky nebo reálné či virtuální scény. **Metoda nám tedy nabízí velmi zajímavou a užitečnou možnost vizualizovat „přemýšlení“ a jako učitelé nebo didaktikové tak můžeme přímo „vidět“ některé kognitivní procesy žáků.**

Pomocí oční kamery získáme pozici očí a také velikost pupily. Frekvence záznamu je důležitým parametrem přístroje. Na obr. 4 je záznam prohlížení grafu závislosti dráhy na čase žákem při řešení úlohy, kdy byly oční pohyby žáka snímány s frekvencí 300 Hz, tj. cca každé 3 ms. Žák měl určit, zda se v čase  $t = 2$  s pohyboval rychleji objekt A nebo objekt B.

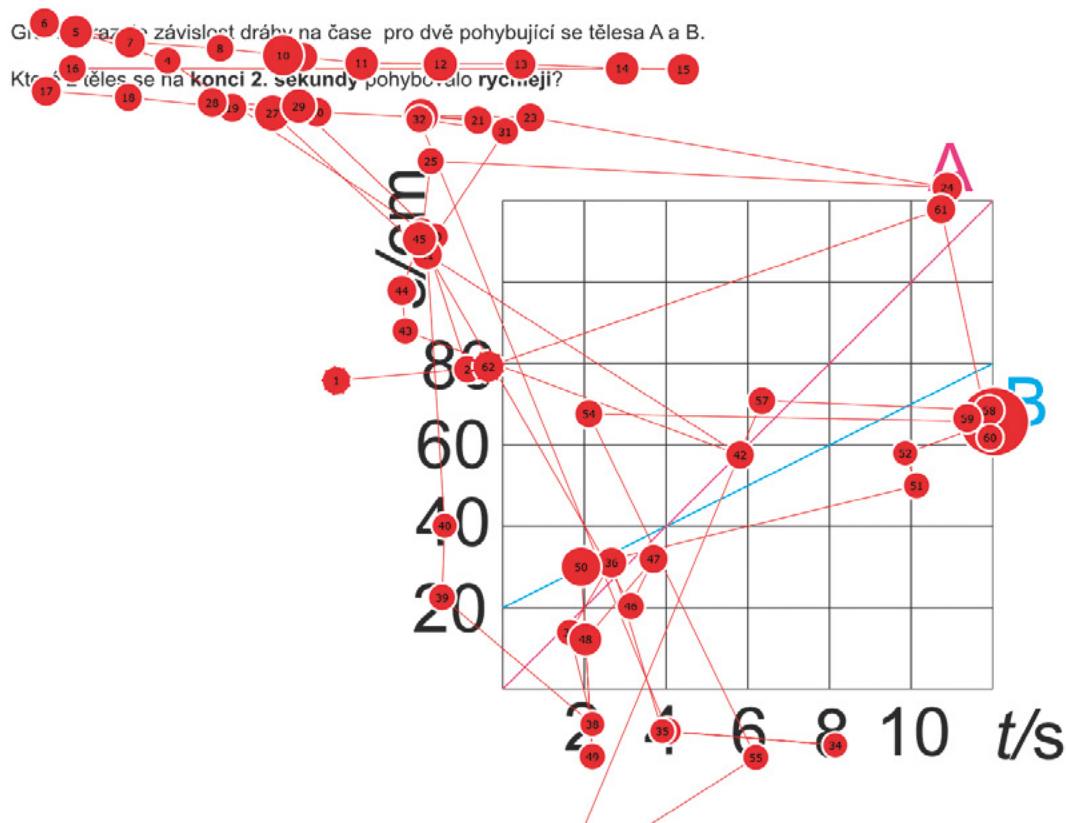
Toto je však jen záznam pozice oka. Proces prohlížení statického obrázku se děje typicky pomocí dvou událostí: fixací a sakád. Místo na obrázku, které nás zajímá, zaměřujeme určitou dobu, abychom získali požadovanou informaci. Této události se říká **fixace** a průměrně například při čtení trvá 250 ms. Ale může být i kratší. Například pokud žáci měli za úkol určit, jaká (typicky známá) zvířata jsou na obrázku, stačilo jim k tomu pohodlně i jen 100 ms. Přesun na další místo, které budeme fixovat, se nazývá **sakáda**. Tato událost je obvykle velmi krátká, řádově se jedná o milisekundy, a nezískáváme během ní žádnou informaci. Velmi často tedy můžeme pozornost, kterou žáci věnovali nějaké oblasti, vyjádřit jako čas, který strávili na této oblasti, nebo také jako dobu trvání fixací na této oblasti.

Záznam pozice očí na obr. 4 tedy převedeme na záznam fixací a sakád (obr. 5), který může sloužit jako podklad pro naši interpretaci. Srovnáte-li obr. 4 a 5, je na nich pěkně vidět mikrotřes oka, který se děje při fixování na jedno místo. Zaměříme-li se na fixace žáka na obr. 5, je zřejmé, že se podíval na veličiny, které jsou zobrazené v grafu, i na hodnoty na osách. Dokázali byste, na základě tohoto obr. 5 odhadnout, jakou odpověď žák uvedl? Zda vybral objekt A nebo objekt B? A byla jeho odpověď správná?



Obr. 4 Záznam pozice očí žáka každé 3 ms při řešení úlohy, kdy měl rozhodnout, zda se v čase  $t = 2$  s pohyboval rychleji objekt A nebo objekt B (graf závislosti dráhy na čase)

Prohlížení obrázků, grafů a dalších vizuálně komplexních materiálů souvisí s úlohou, která se daného obrázku týká. Může se jednat o úlohu, kterou nám někdo zadá z vnějšku. Sami také ale můžeme mít nějaké očekávání, a úkol může přicházet od nás. Například zahradníka při prohlížení svatební fotografie zřejmě zaujme květina nevěsty, kdežto oděvní návrhářku bude více zajímat oblečení svatebčanů. I když tedy neznáme přímo zadaný úkol, velmi často dokážeme z očních pohybů odhadnout, o čem žák přemýšlel. V tomto případě vidíme zaměření žáka na hodnoty dráhy v čase  $t = 2$  s, resp. fixace obou křivek grafu v tomto čase. Pak očima zamířil na písmeno B, a ještě provedl čtyři fixace mimo oblast s informacemi, kdy přemýšlel. Třikrát krátce fixoval písmeno B, jedenkrát fixoval písmeno A a prohlížení grafu ukončil. Z tohoto záznamu je tedy velmi pravděpodobné, že jeho odpověď byla B. A skutečně ji pak uvedl. Na základě očních pohybů žáka vidíme, že za rozhodnutím vybrat objekt B byla očekávaná miskoncepce, kdy žáci zaměňují význam směrnice a „výšky“ (svislé souřadnice) grafu. A o jiném řešení neuvažoval.



Obr. 5 Záznam fixací a sakád žáka (z dat na obr. 4) při řešení úlohy, kdy měl rozhodnout, zda se v čase  $t = 2$  s pohybovalo rychleji objekt A nebo objekt B (graf závislosti dráhy na čase)

## A co nám prozradí oční pohyby při řešení úloh týkajících se typických miskoncepcí?

Už předchozí případ ukazuje, že záznam očních pohybů nám může nastínit proces přemýšlení žáků a může odhalit i typické miskoncepce. V didaktickém výzkumu za tímto účelem také využíváme úlohy s výběrem odpovědi. Zajímá nás pozornost, jakou žáci věnovali jednotlivým možnostem. Měříme ji například časem nebo celkovou dobou trvání fixací. Tento čas samozřejmě bude ovlivněn pořadím možností. Lze očekávat, že na nejvzdálenější možnost se žáci budou dívat méně a na možnost nejbližší zadání, se budou naopak dívat více. Obvykle tedy srovnáváme zaměření pozornosti mezi žáky. Můžeme srovnávat jak jednotlivé žáky, tak třeba i skupinu těch, kteří úlohu vyřešili správně, a skupinu těch, kteří úlohu vyřešili špatně.

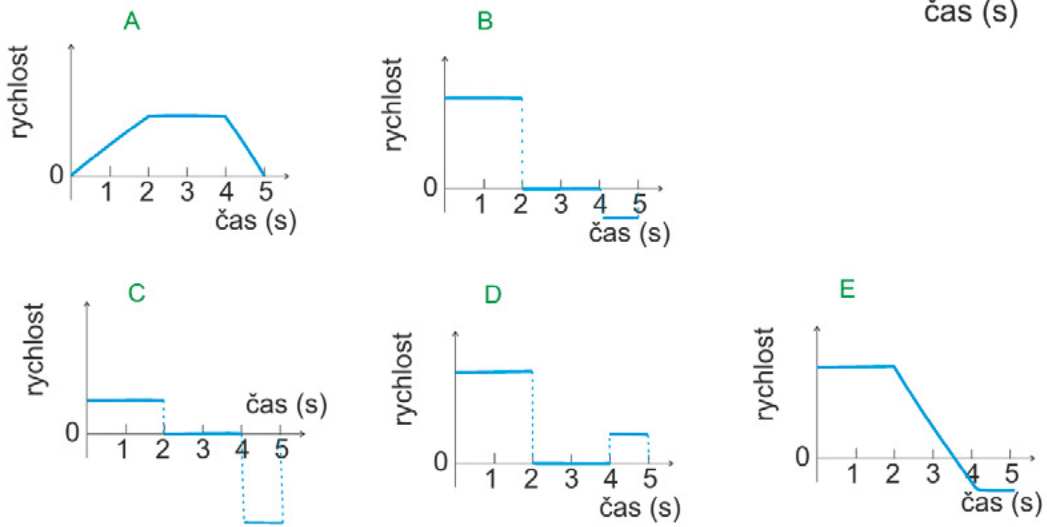
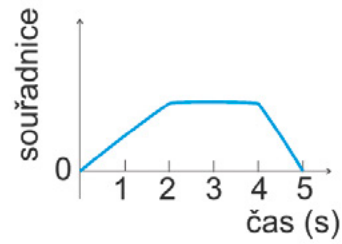
Podívejme se nejprve na dvě ukázky úloh týkajících se grafů. Jedná se o úlohy z amerického testu [8] zaměřeného na zjišťování typických miskoncepcí při práci s grafy. Typickou miskonkepcí bývá, že žáci vnímají graf jako obrázek nebo záznam trajektorie v prostoru. Dále bývají přesvědčeni, že křivky kinematických grafů (například závislosti dráhy a velikosti rychlosti na čase) jsou stejné nebo alespoň podobné. Na obr. 6 je úloha, kdy mají žáci ke grafu závislosti souřadnice na čase vybrat graf závislosti rychlosti na čase. Není zde specifikováno, zda se jedná o souřadnici nebo o velikost rychlosti, nicméně z nabízených možností je zřejmé, že se jedná o souřadnici rychlosti. Na obr. 7 jsou záznamy pohybu očí při řešení této úlohy dvou žáků. Jeden žák celý test vyřešil



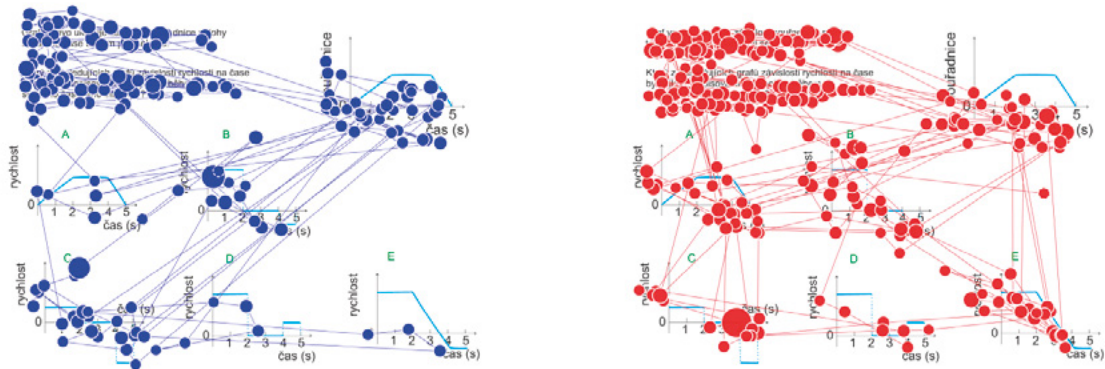
nejlépe, druhý žák naopak celý test řešil nejhůře. Dokážete odhadnout, který záznam odpovídá kterému žákovi? A proč? Stejně tak se podívejte na úlohu na obr. 8 a na obr. 9 a vyberte záznam, který odpovídá nejlépe řešícímu žákovi. Odpovědi najdete v textu za obrázky.

Graf vpravo ukazuje závislost souřadnice polohy tělesa na čase během pěti sekund.

Který z následujících grafů závislosti rychlosti na čase by nejlépe popisoval tentýž pohyb během stejného časového intervalu?



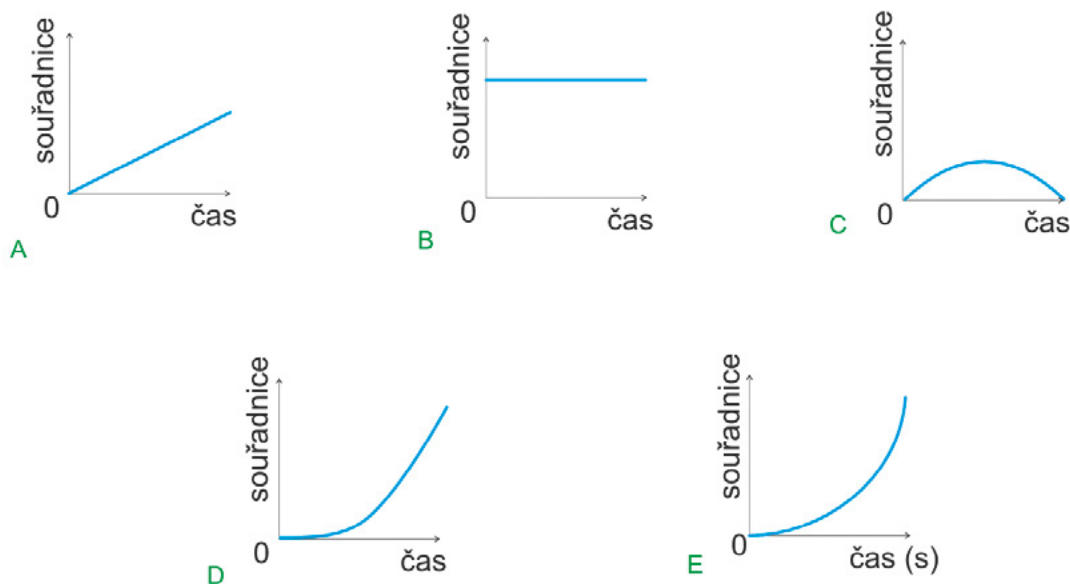
Obr. 6 Úloha zaměřená na porozumění grafům v kinematice



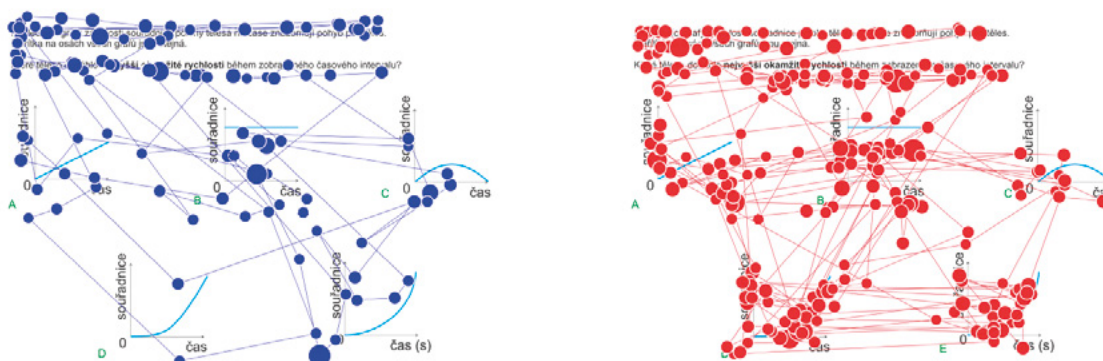
Obr. 7 Záznam fixací a sakád dvou žáků, kteří řešili úlohu na obr. 6

Následující grafy závislosti souřadnice polohy tělesa na čase znázorňují pohyb pěti těles. Měřítka na osách všech grafů jsou stejná.

Které těleso dosáhlo **nejvyšší okamžité rychlosti** během zobrazeného časového intervalu?



Obr. 8 Úloha zaměřená na porozumění grafům v kinematice



Obr. 9 Záznam fixací a sakád dvou žáků, kteří řešili úlohu na obr. 8

Jaká vodítka mohou ukazovat na žáka, který test řešil výborně? Experti jsou v případě výběru odpovědi obecně více selektivní. Konkrétně to znamená, že zejména velmi rychle zjistí, kterými možnostmi se vůbec zabývat nemají, které jsou více či méně nesmyslné. Experti také bývají nejen přesnější (tedy uvedou správnou odpověď), ale i rychlejší. Dalším znakem bývá rychlé přečtení zadání. Jak v případě obr. 7, tak obr. 9, nejlepšímu žákovi odpovídá modrý záznam očních pohybů. Vybral správnou odpověď c) v případě úlohy na obr. 6 a e) v případě úlohy na obr. 8. V obou případech je výběr možnosti vidět i na očních pohybech (delší fixace na písmeno možnosti). Naopak oční pohyby žáka, který řešil test nejhůře, jsou zaznamenány červenou barvou. Tento žák prohlížel jednotlivé možnosti mnohem déle a věnoval se důkladněji všem, byl méně selektivní.

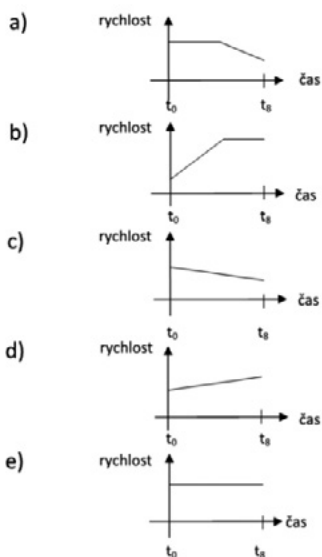
Pokud mají žáci na výběr z možností, z nichž jedna ukazuje na typickou miskoncepci, můžeme pomocí očních pohybů odhadnout, jak moc je žák o této miskoncepci přesvědčen. Podívejme se například na dvě úlohy, které se zabývají raketou letící ve vesmíru (obr. 10 a 14). Raketa letí

ve vesmíru, kde na ni nepůsobí žádné vnější síly. V čase  $t_0$  je zapnut raketový motor, který působí na raketu konstantní silou ve směru pohybu. V čase  $t_8$  je motor vypnut. Úkolem žáků bylo vybrat graf závislosti velikosti rychlosti rakety na čase v intervalu a) než je motor vypnut (obr. 10) a b) po vypnutí motoru (obr. 14).

Raketa letí ve vesmíru, kde na ni nepůsobí žádné vnější síly. V čase  $t_0$  je zapnut raketový motor, který působí na raketu konstantní silou ve směru pohybu. V čase  $t_8$  je motor vypnut.



Který z následujících grafů nejlépe popisuje závislost velikosti rychlosti rakety na čase v intervalu  $t_0 - t_8$ ?

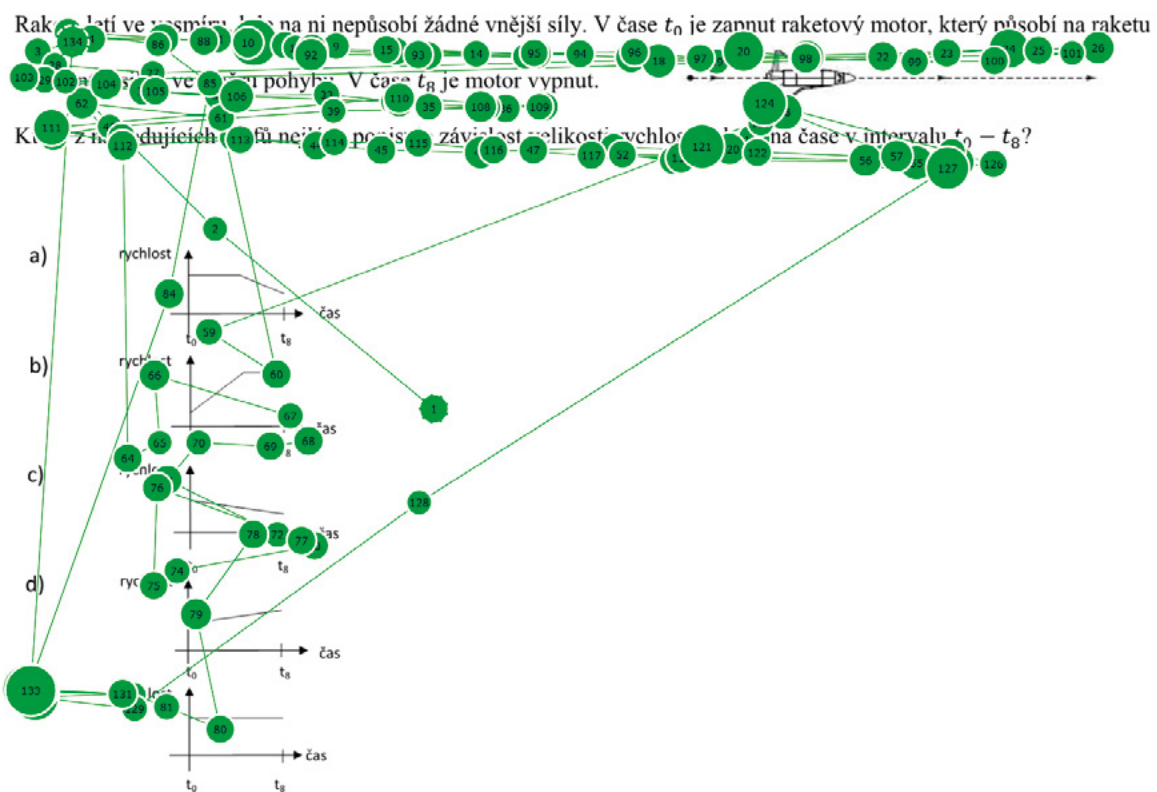


Obr. 10 Úloha z mechaniky s výběrem odpovědí, z nichž jedna ukazuje na typickou miskoncepci (možnost e))

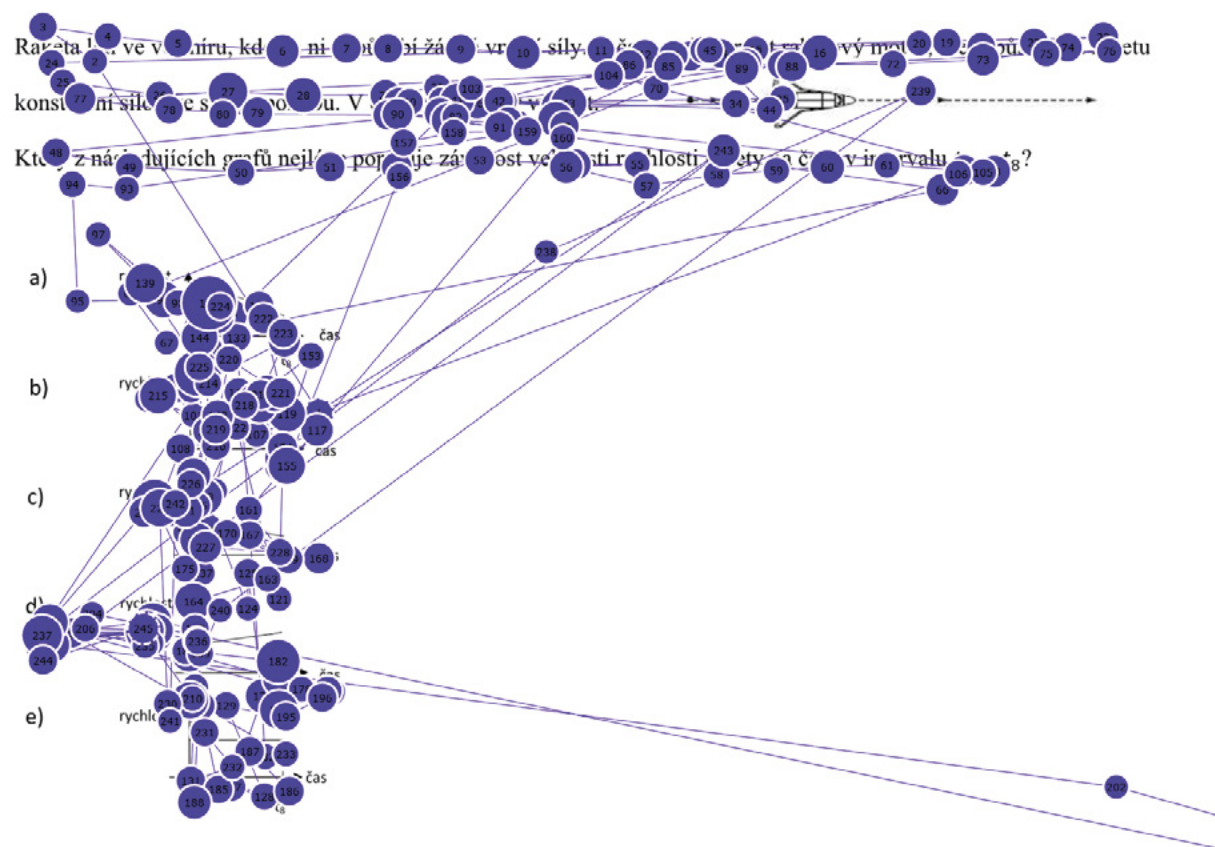
V případě úlohy na obr. 10 na raketu působí konstantní síla, bude se tedy pohybovat se zrychlením a její rychlost na daném úseku poroste. Správná odpověď je tedy d).

Na obr. 11 vidíme záznam očních pohybů žáka, který byl přesvědčen, že při působení konstantní (nenulovou) silou se raketa také bude pohybovat konstantní rychlostí. Víceméně ignoroval první možnost, v případě možností b) a c) se zajímal o popis veličin na osách. Během prohlížení možnosti c) mrknul i na popis svislé osy v možnosti d). Pak se 1x podíval na křivku grafu d) a 1x na křivku grafu e) a znovu si přečetl zadání. Po tomto přečtení neváhal a už se zaměřil jen na možnost e).

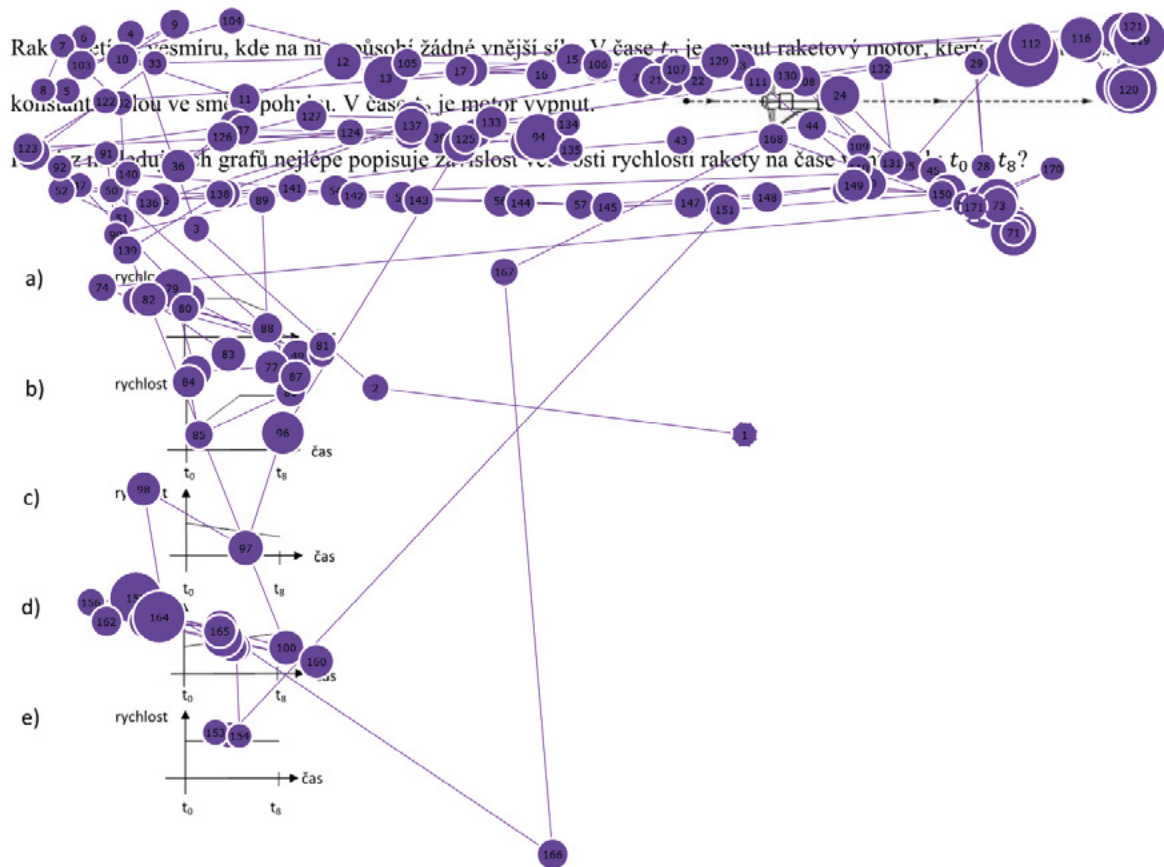
Oční pohyby žáka na obr. 12 ukazují, že sice vybral správnou odpověď d), ale dlouho a důkladně přemýšlel o všech možnostech, řešení této úlohy pro něho nebylo snadné. Žák, jehož oční pohyby jsou na obr. 13, také vybral správnou možnost d). V jeho případě je zřejmé, že se nejprve zdržel u první možnosti a), kdy se podíval, jaké veličiny jsou vyneseny v grafu, a dále už věnoval pozornost víceméně jen správné možnosti.



Obr. 11 Záznam fixací a sakád žáka, který řešil úlohu na obr. 10



Obr. 12 Záznam fixací a sakád žáka, který řešil úlohu na obr. 10



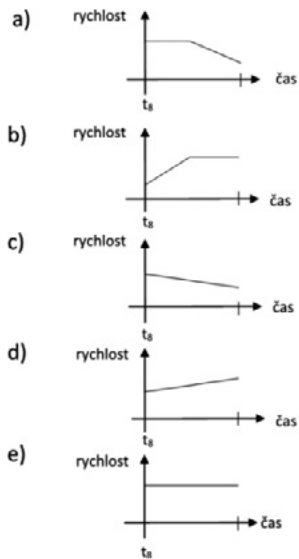
Obr. 13 Záznam fixáci a sakád žáka, který řešil úlohu na obr. 10

V úloze na obr. 14 nás zajímá velikost rychlosti, s jakou se bude pohybovat raketa po vypnutí motoru. Tato úloha svádí k uvedení typické miskoncepce, že raketa bude zpomalovat (možnost c)). Pokud však ideálně na raketu nebudou působit žádné vnější síly, bude se dále pohybovat konstantní rychlostí (odpověď e)). Na následujících obrázcích (obr. 15 a 16) jsou oční pohyby dvou žáků, kteří byli jasně přesvědčeni o správnosti možnosti c). Navíc žák z obr. 16 možnost d) a i správnou možnost e) vůbec nepovažoval za relevantní, věnoval každé pouze jednu fixaci.

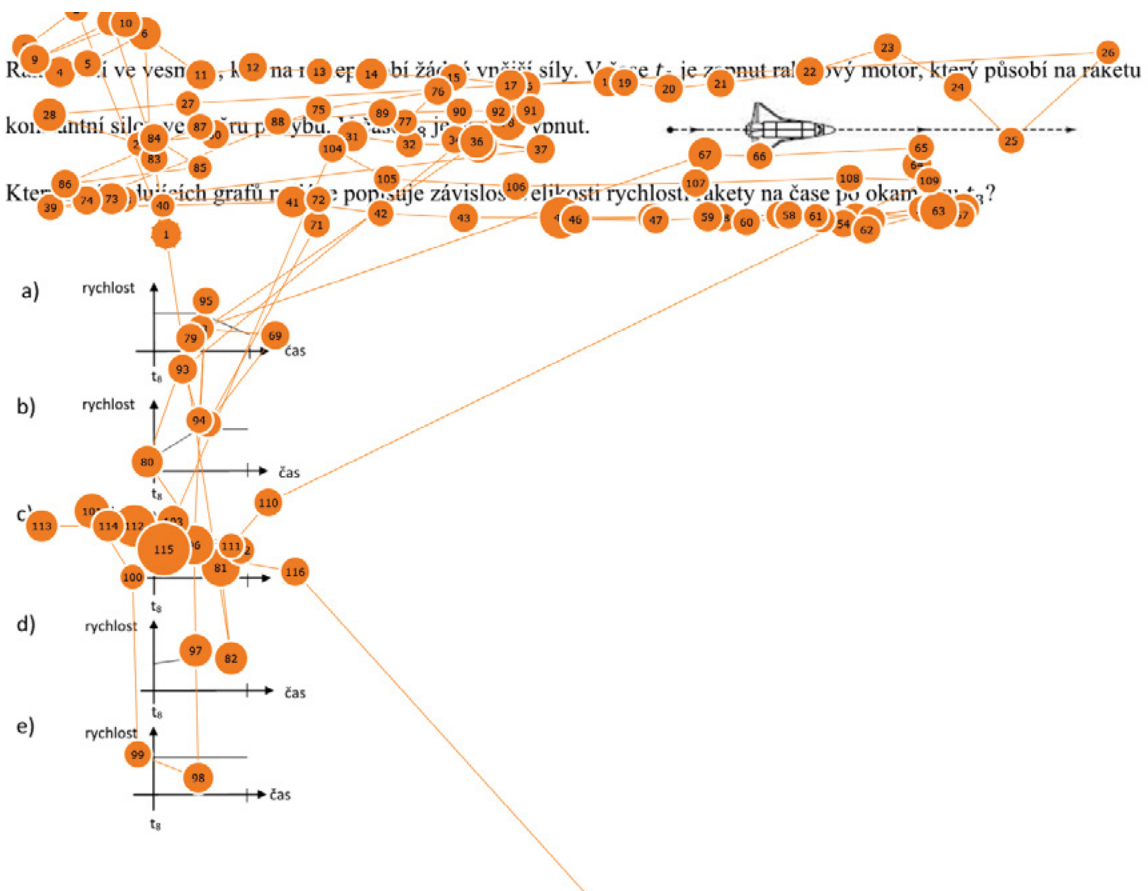
Raketa letí ve vesmíru, kde na ni nepůsobí žádné vnější síly. V čase  $t_0$  je zapnut raketový motor, který působí na raketu konstantní silou ve směru pohybu. V čase  $t_B$  je motor vypnut.



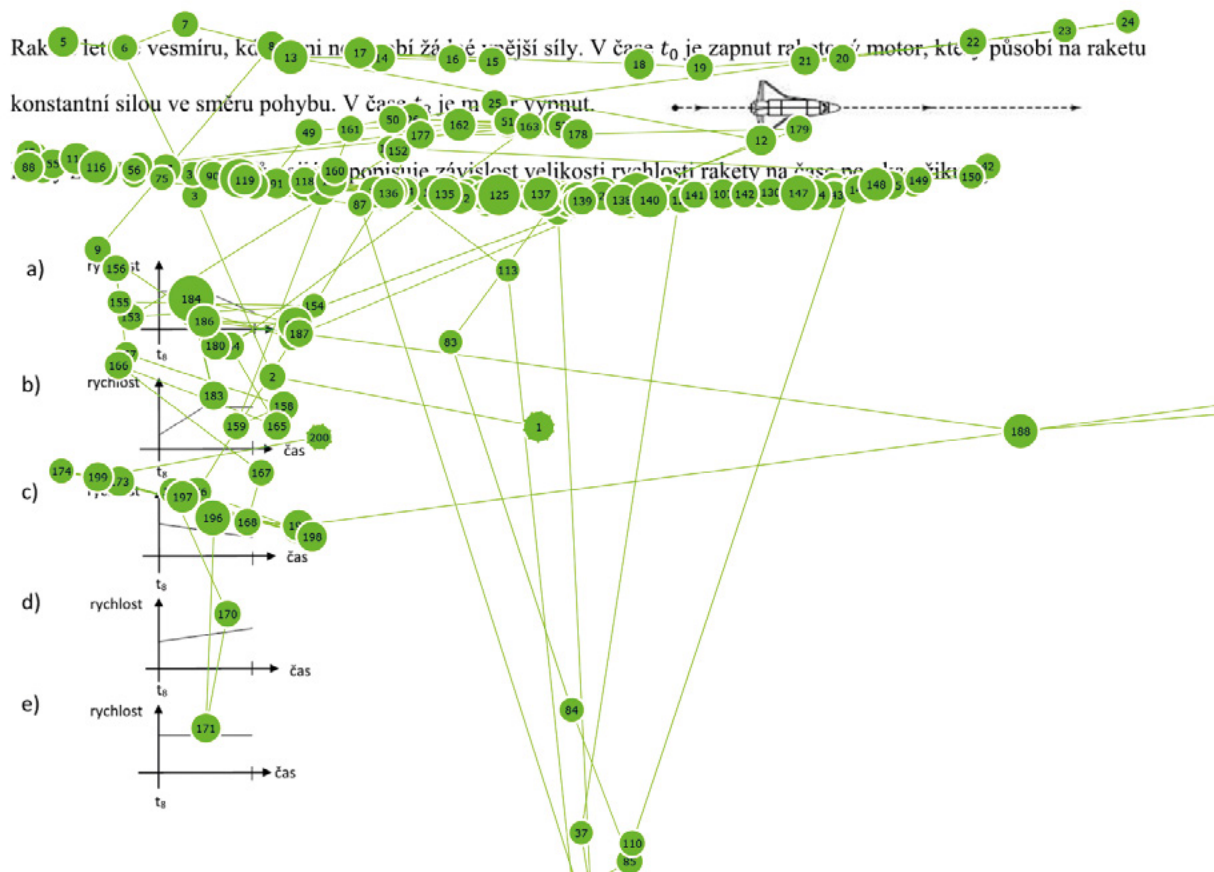
Který z následujících grafů nejlépe popisuje závislost velikosti rychlosti rakety na čase po okamžiku  $t_0$ ?



Obr. 14 Úloha z mechaniky s výběrem odpovědí, z nichž jedna ukazuje na typickou miskoncepci (možnost c))



Obr. 15 Záznam fixací a sakád žáka, který řešil úlohu na obr. 14

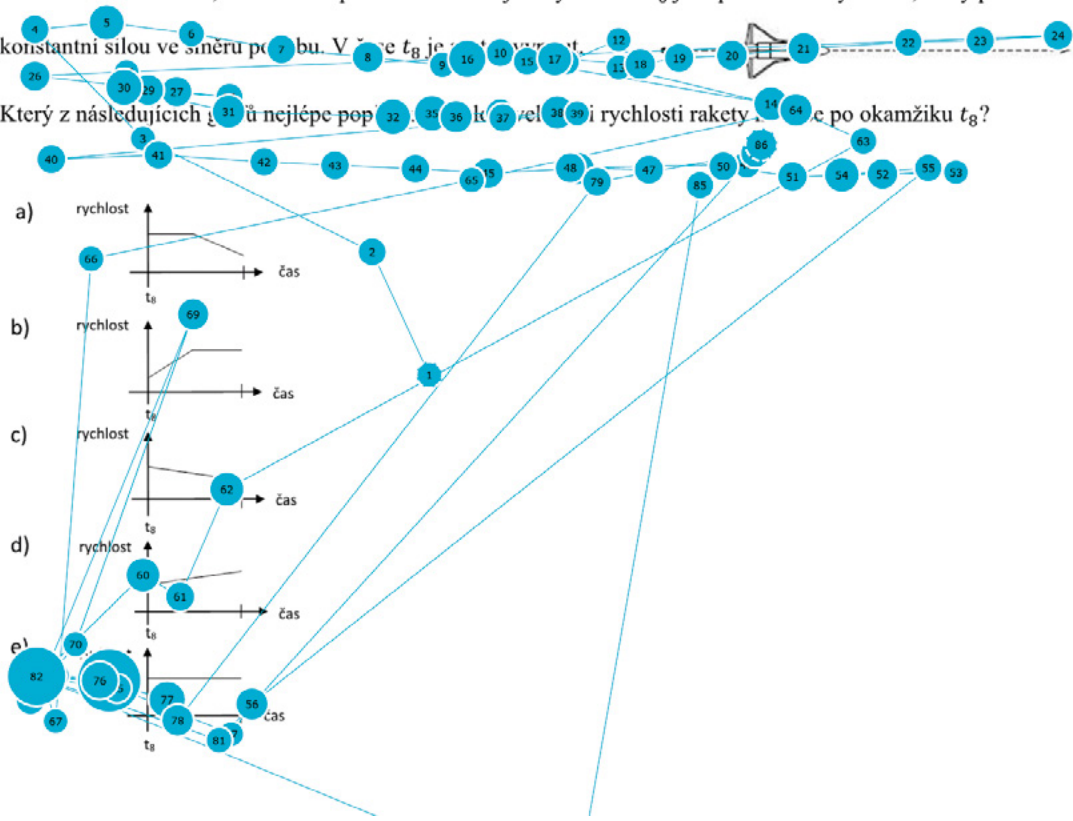


Obr. 16 Záznam fixací a sakád žáka, který řešil úlohu na obr. 14

Vnímavý čtenář může namítnout, že žáci byli jen nepozorní a neprohlédli si možnosti, které byly nabízeny jako poslední. Ano, pořadí možností může ovlivnit množství pozornosti, které žáci jednotlivým možnostem věnují. V rámci výzkumu je pak potřeba možnosti rotovat nebo porovnávat dvě skupiny žáků mezi sebou (například správně a nesprávně řešící žáky). Jak je ovšem vidět na obr. 17 a 18, žáci, kteří si zřejmě už po přečtení zadání zformulovali odpověď, šli hned na poslední možnost, kterou vybrali jako správnou. Předchozím možnostem věnovali pouze minimum pozornosti. Zejména v případě takto jednoduchých grafických závislostí, žáci získají informaci velmi rychle, a pokud pro ně daná možnost není relevantní, nemusí jí věnovat téměř žádnou pozornost.

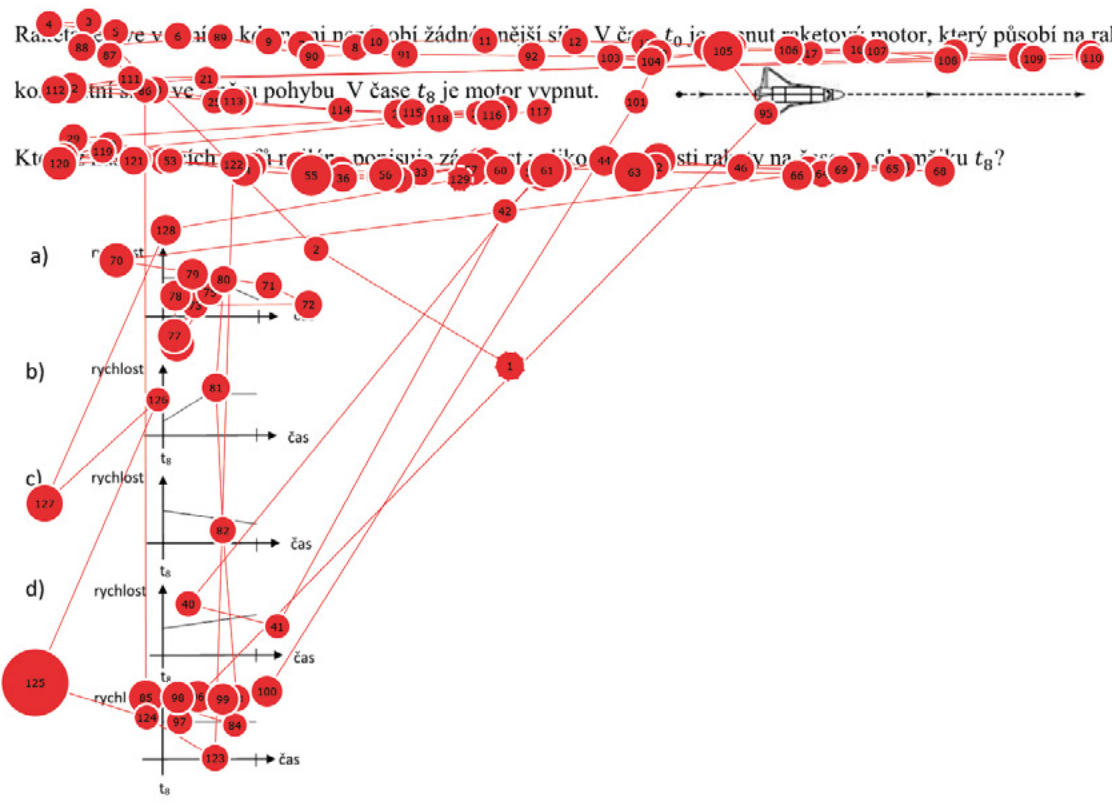
Žák na obr. 19 vybral nakonec nesprávnou možnost c), nicméně na rozdíl od svých spolužáků (obr. 15 a 16) správné možnosti e) také věnoval relativně dost pozornosti. V případě písemného testu bychom od všech tří žáků obdrželi stejnou nesprávnou odpověď. Záznam z oční kamery nám umožňuje žáky více diferencovat a pokud je to možné, věnovat se jim více individuálně.

Raketa letí ve vesmíru, kde na ni nepůsobí žádné vnější síly. V čase  $t_0$  je zapnut raketový motor, který působí na raketu konstantní silou ve směru pohybu. V čase  $t_8$  je motor vypnut. Který z následujících grafů nejlépe popisuje změnu rychlosti rakety na časovém úseku  $t_0$  až  $t_8$ ?



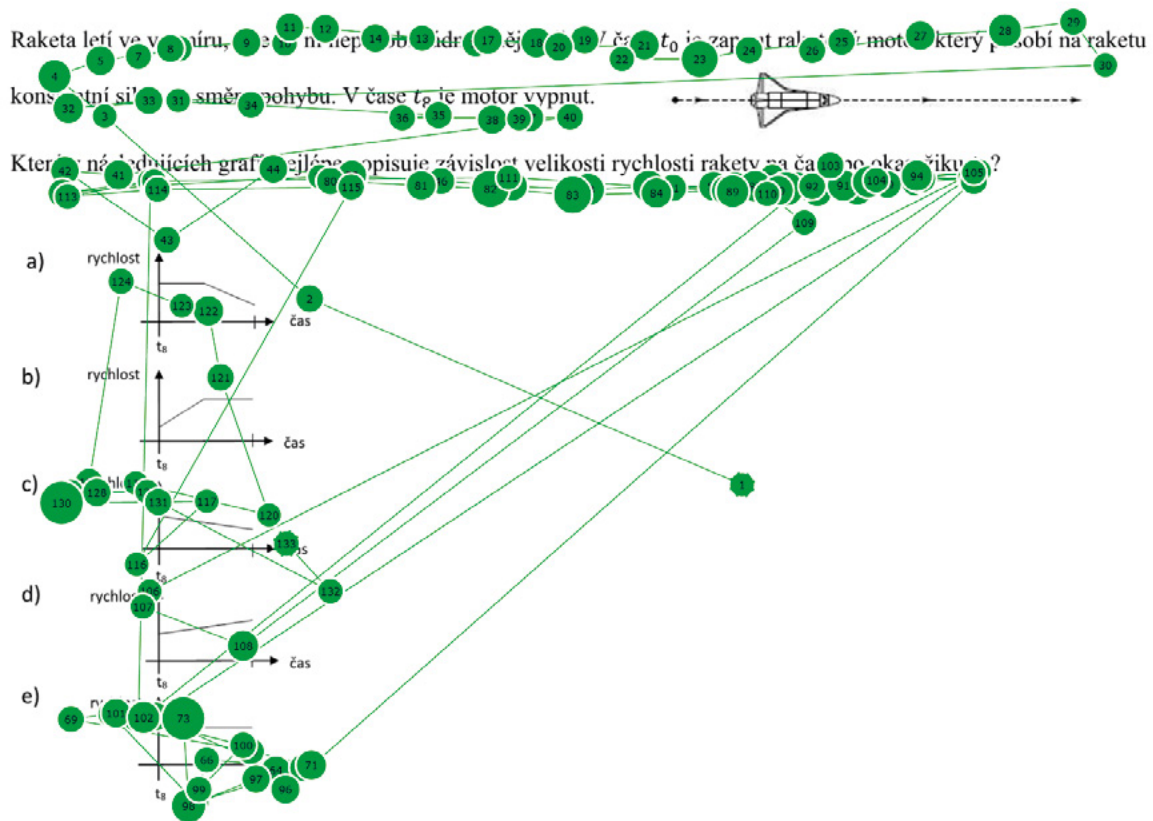
Obr. 17 Záznam fixací a sakád žáka, který řešil úlohu na obr. 14

Raketa letí ve vesmíru, kde na ni nepůsobí žádné vnější síly. V čase  $t_0$  je zapnut raketový motor, který působí na raketu konstantní silou ve směru pohybu. V čase  $t_8$  je motor vypnut. Který z následujících grafů nejlépe popisuje změnu rychlosti rakety na časovém úseku  $t_0$  až  $t_8$ ?



Obr. 18 Záznam fixací a sakád žáka, který řešil úlohu na obr. 14





Obr. 19 Záznam fixací a sáklad žáka, který řešil úlohu na obr. 14

## Využití metody oční kamery ve škole?

Metoda oční kamery nám umožňuje získat nejen výsledek přemýšlení žáků, ale také vizualizovat proces tohoto přemýšlení [4]. Jak jsme si ukázali na předchozích příkladech, i když dva žáci uvedou stejnou odpověď, na základě očních pohybů je vidět, že mohou o úloze přemýšlet odlišným způsobem. Pokud by měl učitel k dispozici i tento záznam očních pohybů a uměl ho adekvátně interpretovat, mohl by pak žákům poskytnout efektivnější zpětnou vazbu a lépe cílit navazující výuku. Mít možnost sledovat zaměření pozornosti žáků při práci s bohatým vizuálním materiálem, ať už se jedná o netradiční úlohy [5], čtení z učebnice [6] apod. by opět mohlo učitelům pomoci lépe porozumět svým žákům a realizovat tak efektivnější výuku. Další přehled možností využití eyetrackingu v prostředí školní třídy uvádí například Zuzana Šmideková [7].

Na závěr chci ještě jednou připomenout, že se jedná o **citlivá data a je tedy velmi důležité dbát na etickou stránku používání těchto technologií!** Z očních pohybů lze identifikovat netypické strategie, které mohou ukazovat na dyslexii, poruchy pozornosti nebo třeba i autismus. Při využívání těchto technologií ve školní praxi by byla potřeba i spolupráce s proškoleným psychologem a zabezpečené nakládání se získanými daty.

## Literatura

[1] Kekule, M. (2014) *Výzkum pomocí oční kamery ve fyzikálním vzdělávání. Scientia in educatione* 5(2), 2014, ISSN 1804-7106. 58–73. Dostupné on-line: <https://ojs.cuni.cz/scied/article/view/107>



[2] Kekule, M., Burdová, V. (2020) Oční kamera ve fyzikálním vzdělávání. *Dílňky Heuréky 2019*. Sborník konference projektu Heuréka (Náchod, 4.–6. 10. 2019), ed. Koudelková, V. ISBN 978-80-7378-410-2.

[3] Allaire-Duquette, G., Brault Foisy, L.-M., Potvin, P., Riopel, M., Larose, M. et Masson, S. (2021). An fMRI Study of Scientists with a PhD in Physics Confronted with Naïve Ideas in Science. *NPI Science of Learning*, 6(1), 1-12.

Dostupné on-line: <https://www.nature.com/articles/s41539-021-00091-x>



[4] Kekule, M., Špaňová, I., Viiri, J. (2019) Benefits of using the eye-tracking method for qualitative observation of students' multiple-choice physics tasks solution process. *Pedagogická orientace* 4 (Special Issue), 424-465, ISSN: 1805-9511 (on-line), ISSN: 1211-4669 (print). Dostupné on-line: <https://journals.muni.cz/pedor/article/view/14760/12039>



[5] Hejnová, E., Kekule, M. (2018) Využití oční kamery pro kvalitativní posouzení postupů při řešení úloh z mechaniky. *Scientia in educatione* 9(2), 102-116, ISSN 1804-7106. Dostupné <https://ojs.cuni.cz/scied/article/view/1018/552>



[6] Kekule, M., Krejčí A. (2022) Žákovské čtení textu z učebnice sledované oční kamerou a role otázek při porozumění tomuto textu. *Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 9*. Sborník z konference, Plzeň: ZČU, 68–78.

Dostupné on-line: [https://kof.zcu.cz/ak/trendy/9/sbor/ModerniTrendy9\\_sbornik.pdf](https://kof.zcu.cz/ak/trendy/9/sbor/ModerniTrendy9_sbornik.pdf)



[7] Šmideková, Z. (2018). Eye-tracking v prostředí školské třídy. *Pedagogika*, 68(1), 25–50.

[8] Beichner, Robert. (1994). Testing student interpretation of kinematic graphs. *American Journal of Physics- AMER J PHYS.* 62. 10.1119/1.17449.

# 3 Mechanika

<b>Proč nelze zakřivit dráhu střely máchnutím zbraně a jak to tedy udělat</b> – Jan Fejt .....	<b>35</b>
<b>Shoz bomby za 2. světové války</b> – Petr Šulc .....	<b>40</b>
<b>Tvar hladiny moře</b> – Eva Kšírová .....	<b>44</b>
<b>„Stav beztlíže znamená, že tam není gravitační síla”</b> – Iva Koblížková .....	<b>51</b>
<b>Pohyb člověka na Měsíci je výrazně jednodušší než na Zemi</b> – Jindřich Dvořák.....	<b>55</b>
<b>Hydrodynamický paradox</b> – David Holý.....	<b>64</b>
<b>Hustota versus viskozita</b> – Aneta Korcová .....	<b>67</b>
<b>Zvuk je ve vodě pomalejší než ve vzduchu</b> – Sára Palatková .....	<b>69</b>

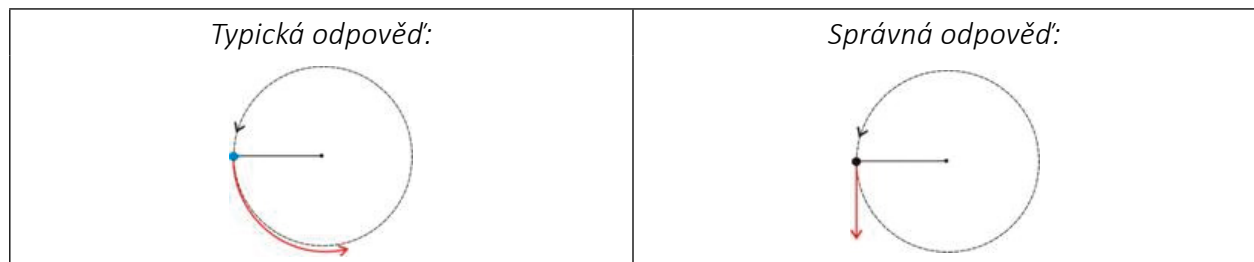
# Proč nelze zakřivit dráhu střely máchnutím zbraně a jak to tedy udělat

V akčním filmu *Wanted* z roku 2008 protagonisté střílí z pistolí za roh a okolo překážek. Docilují toho pomocí máchnutí zbraně. V tomto textu osvětlíme, že tímto způsobem není možné trajektorii střel zakřivovat a následně uvedeme příklady, jak toho dosáhnout lze.

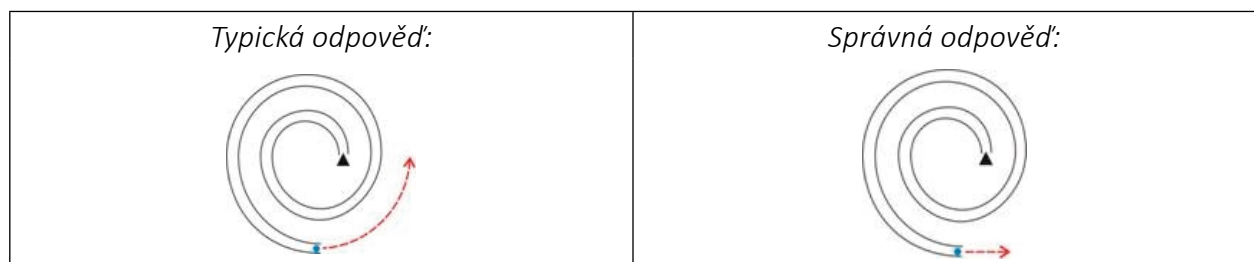
## Miskoncepce

Samotné zakřivování trajektorií jako extrapolace původní trajektorie je součástí významné fyzikální miskoncepce. Mandíková uvádí: "Pohybující se tělesa mají tendenci zachovávat původní tvar trajektorie i poté, co přestanou působit vazbové síly." [1] Dále uvádí dva příklady miskonceptů spjatých se zkoumaným tématem:

13. Nakreslete, jak se bude pohybovat míček, který máme uvázaný na provázku a točíme s ním na stole, poté, co se provázek přetrhne.



14. Nakreslete, jak se bude pohybovat kulička poté, co opustí konec trubice ležící na stole.



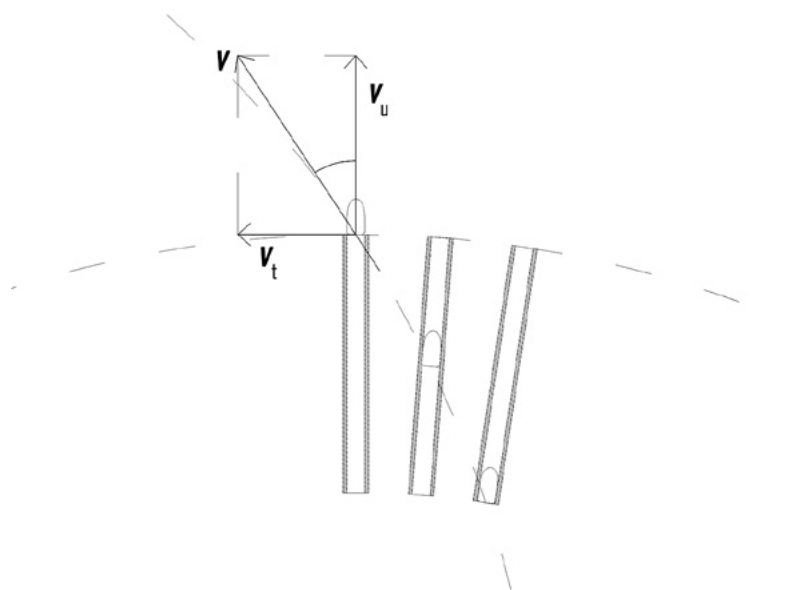
Představy o zakřivených trajektoriích jako důsledek předchozí křivé trajektorie jsou přirozené.

## Rozbor situace

Zakřivené trajektorie pohybujících se těles pozorujeme každý den: míč vržený do dálky poletí po balistické křivce; planety obíhají po eliptických drahách kolem Slunce; fotbalisté umí správným nakopnutím zahnout trajektorii míče doleva nebo doprava, stejně tak baseballoví nadhazovači udílí míčům faleš. Proč by to tedy nešlo i se střelami?

Z prvního Newtonova zákony plyne, že pokud na tělesa nepůsobí žádné vnější síly, tak se pohybují po přímkách. Jinými slovy každý zakřivený pohyb musí mít svoji „zakřivující“ sílu.

Střela bude konat křivočarý pohyb, dokud bude uvnitř hlavně zbraně<sup>2</sup>. „Zakřivující“ silou působí na střelu hlavě zbraně, kterou střelec máchnul vzduchem. V moment jejího opouštění kontakt s hlavní pomine, tudíž pomine „zakřivující“ síla. Střela bude pokračovat po trajektorii přímočaré (zanedbáme nyní tíhovou sílu další případné silové působení, které by zakřivovalo trajektorii). Rychlost  $\vec{v}$  se bude rovnat vektorovému součtu ústové rychlosti střely  $\vec{v}_u$ , tj. relativní rychlosti střely vzhledem k zbrani v moment opouštění ústí hlavně, a tečné rychlosti ústí hlavně  $\vec{v}_t$ , vizte *obr.1*. Úhel  $\alpha$ , který svírá výsledná rychlost  $\vec{v}$  s ústovou rychlostí  $\vec{v}_u$ , bude v praxi v jednotkách stupňů<sup>3</sup>.



Obr. 1: rychlost střely při opouštění hlavně (není v měřítku)

Pojďme tedy najít „zakřivující“ síly u nadnesených případů a zkusme se zamyslet, zdali jdou použít u střely z pistole.

## Tíhová síla

Tíhová síla přitahuje vše na zemském povrchu. Působí nám jako zakřivující síla. Tím si vysvětlujeme balistickou křivku, po níž se pohybuje vržený míč. Touto cestou by šlo zatáčet i střely, touto cestou dokonce střely zatáčeny jsou! Vždyť lovci i vojáci mají stavitelná hledí na větší vzdálenosti, řádově na stovky metrů<sup>4</sup>, aby vyrovnali pokles střely. Nicméně jsme omezeni na zatáčení v jediné rovině, rovině svislé, navíc tyto zatáčky jsou velmi mírné, a tedy velmi vzdálené kýženému zahnutí střely okolo nějaké překážky přímo do cíle, jak to pozorujeme ve filmu Wanted.

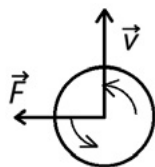
<sup>2</sup> O trajektorii nelze říci nic „hezkého“. Střela v hlavní zrychluje, ale zrychluje nerovnoměrně. Kupředu ji žene tlak plynů vznikajících hořením střelného prachu. Nárůst tlaku v hlavní není lineární - nemůže se tedy jednat o rovnoměrně zrychlený pohyb. Trajektorie střely v hlavní vzhledem k inerciální soustavě nemůže mít jednoduchou podobu.

<sup>3</sup> Maximální tečná rychlost  $\vec{v}_t$  se odvíjí od maximální rychlosti, kterou je schopen člověk máchnout rukou. Můžeme čerpat např. ze softbalových statistik [2],  $v_t = 35$  m/s. Ústová rychlost pistolové střely  $v_u$  se pohybuje v nižších stovkách m/s [3], např.  $v_u = 300$  m/s.  $\alpha = \arctg(35/300) \approx 6,7^\circ$ .

<sup>4</sup> Kompenzují se i další vlivy, ku příkladu Coriolisova síla.

## Magnusův jev

Fotbalisté, baseballisté, hráči kriketu a další umí zatáčet své míče v libovolné rovině. Docilují toho pomocí rotace míče a tzv. Magnusova jevu. Ten v kostce říká, že rotující projektil v plyném prostředí bude zatáčet ve směru, v kterém rotuje, v důsledku rozdílů tlaků na protilehlých stranách, vizte *obr. 2*. Jeden povrch se točí po směru pohybu a druhý se točí proti směru pohybu těžiště míče.



Obr. 2: směr Magnusovy síly

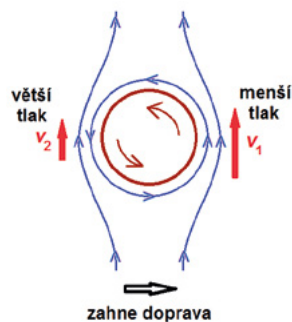
O Magnusově jevu se můžeme přesvědčit jednoduchým pokusem: z archu kancelářského papíru slepíme ruličku a necháme ji volně skutálet po nakloněné desce. Po opuštění desky nebude rulička pokračovat po očekávané balistické křivce, nýbrž zatočí pod desku. Vizte *obr. 3*.



Obr. 3: demonstrace Magnusova jevu

## Magnusův jev - jak to vlastně funguje?

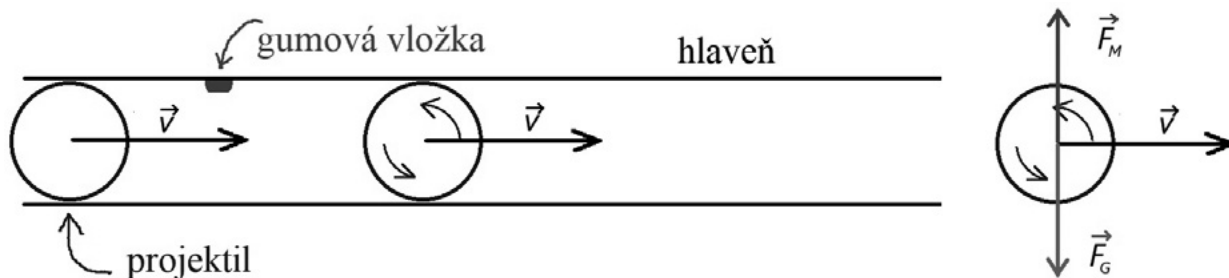
Válec, který se kutálí po prkně, strhává vzduch ve svém okolí. Vzduch má tu vlastnost, že se „lepí“ na předměty, které se jím pohybují. Když válec padá dolů po opuštění prkna, stále strhává vrstvičku vzduchu okolo sebe. Tato vrstva vzduchu se tedy točí spolu s válcem. Když válec padá, pohybuje se vůči okolnímu vzduchu. Z hlediska válce si to můžeme představit tak, že proti němu zdola fouká vzduch. Rotující vrstvička vzduchu brzdí „foukající“ vzduch na jedné straně a urychluje ho na straně opačné (tyto dva proudy vzduchu se k sobě totiž také trochu lepí). Výsledkem je to, že na jedné straně padajícího válce (a k němu nalepené vrstvičce vzduchu) je menší tlak než na straně druhé. Vzduch odtlačuje válec z místa, kde je větší tlak do místa, kde je tlak menší. Vizte *obr. 4*. (Převzato z [4].)



Obr. 4: k Magnusovu jevu (převzato z [4])

## Aplikace

Šel by využít Magnusův jev pro zatáčení střel? Využívá se u airsoftových zbraní, které střílí 6mm plastové kuličky o hmotnostech několika desetin gramu. Magnusova jevu využívají ke kompenzaci poklesu. V hlavni je umístěná gumová vložka (tzv. hop up), která kuličku navrchu zbrzdí a tím jí udělí zpětnou rotaci. Magnusova síla  $\vec{F}_M$  je při správném seřízení stejně velká, jako tíhová síla  $\vec{F}_G$ , vizte obr. 5. Střely tak létají po křivce tvarem velmi blízké přímce.



Obr. 5: Zpětná rotace kompenzuje pokles střely

Pokud je gumová vložka příliš utažená, potom je Magnusova síla větší než tíhová síla a plastové kuličky po opuštění hlavně stoupají vzhůru. Poté stačí pušku či pistoli natočit na bok a máme projektily, které ve vzduchu zatáčí, a to bez nutnosti jakéhokoliv máchání.

Lze to implementovat do skutečných zbraní? Problém se zakřivenými trajektoriemi je ten, že výrobci zbraní se je snaží všemožnými způsoby odstranit. Rovná trajektorie znamená přesnější a dalekonosnější střelbu. Dnes se střely stabilizují rotací kolem osy rovnoběžné se směrem letu a také tím, že již dávno nejsou kulové, ale mají tvar válečku, který je na jednom konci zašpičatělý. Museli bychom si tedy pořídit historickou pistoli na kulové střely, a poté jí upravit přidáním vložky na tu stranu hlavně, na kterou bychom chtěli střelu zatočit.

## Závěrem

Střely z pistole zahrnout lze, rozhodně ale ne mácháním pistolí. Navíc, proč by to kdo dělal, když by se tím připravil o možnost střílet rovně. Rovná střelba má tu výhodu, že nám nezáleží, jak daleko



cíl je, budeme stále mířit stejným směrem. Pro různě vzdálené cíle bychom však potřebovali různé poloměry zakřivené trajektorie. Zakřivenou střelbu tedy s poklidem zanechme v říši filmů.

## Literatura

[1] Mandíková, Dana. *Výuka Newtonových zákonů I - intuitivní představy žáků*. dostupné online [4. 7. 2020]

<https://clanky.rvp.cz/clanek/o/z/212/VYUKA-NEWTONOVYCH-ZAKONU-I---INTUITIVNI-PREDSTAVY-ZAKU.html/>

[2] Average softball pitching speeds by age, dostupné online [27.9.2024]

<https://fastpitcher.com/average-softball-pitching-speeds-by-age/>

[3] Pistolové a revolverové náboje Sellier a Bellot, dostupné online [27. 9. 2024]

<https://www.sellier-bellot.cz/produkty/pistolove-a-revolverove-naboje/pistolove-a-revolverove-naboje/>

[4] Mandíková Dana, Drozd Zdeněk, Rojko, Milan: *Vzduch a jiné plyny. Soubor námětů pro motivační pokusy v přírodovědě*, dostupné online [4. 7. 2020]

[https://kdf.mff.cuni.cz/ucitele/kurzprirodoveda/vzduch\\_def.pdf](https://kdf.mff.cuni.cz/ucitele/kurzprirodoveda/vzduch_def.pdf)

## Shoz bomby za 2. světové války

*Doplňkový výkladový text k textu Letadlo a padající bomba od Zuzany Johanovské v prvním díle publikace (str. 33).*

Pro svůj text o miskoncepcích jsem si vybral téma shozu bomby za druhé světové války. Pochopení shozu bomb během druhé světové války vyžaduje komplexní analýzu, která zahrnuje několik základních principů klasické mechaniky, aerodynamiky a optiky. Nejprve bych se zmínil, co je vlastně miskoncepce. Miskoncepce je mylná představa, která vychází z různě získaných představ a domněnek. Pro shoz bomby mohou tyto představy vycházet z válečných filmů, romantizovaných či zkreslených historických vyprávění a často také vycházejí z nedostatečného pochopení fyzikálních principů. Jeden příklad za všechny – při sledování válečných filmů je vidět bomba, pak vertikální let a následně výbuch. A to vše díky střihu nebo animaci v několika sekundách, což může vést právě k miskoncepcím. V této práci zmíním některé z nich a pokusím se vysvětlit správný princip opírající se o fyzikální a inženýrské principy. Zde jsou nastíněny některé miskoncepce týkající se shozu bomb za 2. světové války, jako jsou například: *Bomby padaly přímo dolů*; *Bomby padaly volně bez ovlivnění letadlem*; *Balistická křivka je trajektorie od letadla přímo k cíli*; *Bombardování bylo vždy přesné*; *Shoz bomb probíhal bez přípravy* a jiné mylné představy.

Zde se zaměřím na fyzikální podstatu shozu bomby za 2. světové války. Na úvod bych vyvrátil představu, že shoz bomb probíhal nahodile bez příprav. Bombardování mělo velice přesné plánování, které se opíralo o faktory protivzdušné obrany nepřítele, počasí a dostupnost paliva. Bombardéry byly vybaveny různými typy bomb, včetně tříštivých bomb, zápalných bomb a speciálních bomb určených k ničení konkrétních cílů. Bombardovací letadla měla na palubě profese navigátorů a bombometčíků, kteří byli zodpovědní za přesnou navigaci k cíli a shazování bomb. Navigátoři používali mapy, kompas a další navigační přístroje k udržení správného kurzu. Jakmile se letadla přiblížila k cíli, bombometčíci používali optické zaměřovače a další nástroje k přesné identifikaci a zaměření cíle. To bylo často velmi náročné kvůli počasí, kouři nebo maskování nepřítele. Po identifikaci cíle bombometčíci vydali rozkaz ke shazování bomb. Letadla často shazovala bomby z velké výšky, což mělo za následek rozptýl bomb na velké ploše.

Tento způsob byl efektivní při bombardování velkých cílů, jako byly továrny, dopravní uzly či města. Po shození bomb se letadla snažila co nejrychleji opustit oblast, aby se vyhnula protivzdušné obraně a útokům stíhačů. Návrat na základnu byl důležitý nejen z důvodu opravy letadel, ale i proto, že posádka předala důležité informace o akci, které sloužily k plánování dalších akcí nebo k návrhům nových vhodných přístrojů, např. Nordenova zaměřovače<sup>5</sup> atp.

---

<sup>5</sup> Nordenův zaměřovač fungoval jako součást celého systému. Když se bombardér blížil k cíli, zadával bombometčík údaje o směru větru, rychlosti letu a výšce do analogového počítačového zaměřovače, který vypočítal odchylku vlivem větru a určil správný bod zaměření. Vnitřní gyroskop zajišťoval stabilitu nezbytnou pro použití teleskopického zaměřovače ve velkých výškách.

## Shoz bomby

Pro úspěšný shoz bomb bylo nezbytné rozumět základním fyzikálním principům, které ovlivňovaly trajektorii a přesnost zásahu bomb. Mezi hlavní témata, kterých se to týká, patří gravitace, aerodynamika, balistická křivka a malý vliv měla i Coriolisova síla. *Coriolisova síla* působí pouze v rotující (neinerciální) vztažné soustavě. Je to zdánlivá síla, která vzniká, když se objekty pohybují v systému, jenž rotuje, jako například Země. Při shozu bomb z letadel za druhé světové války měla Coriolisova síla vliv na přesnost zásahu, zvláště při bombardování z velkých výšek a na dlouhé vzdálenosti v kombinaci s dalšími faktory, které ovlivňovaly dráhu bomby. Bomba shozená z letadla na severní polokouli se kvůli Coriolisově síle odchýlila mírně doprava (z pohledu pilota), zatímco na jižní polokouli by se odchylka projevila doleva. Tato síla nebyla velká, ale při výškách shozu kolem 5 000 až 10 000 metrů by mohla způsobit odchylku v řádu desítek až stovek metrů. *Gravitační síla* je přitažlivá síla, která působí mezi všemi objekty s hmotností. Na Zemi má tato síla za následek, že všechny objekty padají směrem k zemskému povrchu se zrychlením, které je označováno jako gravitační zrychlení  $g$ . V případě bomby shozené z letadla působí gravitační síla neustále dolů, což způsobuje zrychlení bomby směrem k zemi. Zrychlení dané vlivem gravitace je na zemském povrchu přibližně  $9,81 \text{ m/s}^2$ .<sup>6</sup> Při průletu bomby atmosférou na ni působí ještě odpor vzduchu a vztlaková síla, které zpomalují její pád. *Vztlaková síla* je velmi malá ve srovnání s gravitační silou, proto její vliv na shoz bomby lze zanedbat.<sup>7</sup> *Odpor vzduchu* je závislý na aerodynamickém tvaru bomby, velikosti její čelní plochy, hustotě vzduchu a rychlosti bomby. Při nízkých rychlostech je těleso obtékáno laminárně a odporová síla je přímo úměrná rychlosti pohybu, vyjadřuje to Stokesův vztah. Při vyšších rychlostech, které lze vyjádřit pomocí Reynoldsova čísla  $Re$ , je proudění turbulentní pokud  $Re > 1$ , a pak je odporová síla úměrná druhé mocnině rychlosti.<sup>8</sup> Vztah pro odporovou sílu vyjadřuje Newtonův vzorec, který má tento tvar  $F_o = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d S$ , kde  $\rho$  je hustota vzduchu,  $v$  je rychlost tělesa,  $S$  je průřez vystavený proudění vzduchu a  $C_d$  je součinitel odporu prostředí, který zohledňuje tvar a kvalitu povrchu tělesa a stanovuje se experimentálně.

Setrvačnost hraje klíčovou roli při určování trajektorie bomby po shozu z letadla. Pohyb bomby lze popsat pomocí balistické křivky, která popisuje trajektorii bomby při volném pohybu v atmosféře, ovlivněném gravitací a odporem vzduchu. Tato křivka zohledňuje jak horizontální, tak vertikální složky pohybu. Když je bomba shozená z letadla, které letí horizontálně, má počáteční horizontální rychlost, která je stejná jako rychlost letadla. V průběhu letu bomby na ni působí gravitační síla, což způsobuje vertikální zrychlení směrem k zemi. Aby vertikální pohyb převládl nad horizontálním pohybem, musí se vertikální rychlost stát dominantní složkou rychlosti bomby. To závisí na těchto klíčových faktorech: typu bomby, výšce shozu, počáteční horizontální rychlosti, a vlivu

<sup>6</sup> Bombardéry létali ve výšce 6 000 až 9000 m, kde se gravitační zrychlení pohybuje v rozmezí od  $9,78$  do  $9,79 \text{ m/s}^2$ .

<sup>7</sup> Pro ilustraci lze předpokládat menší leteckou bombu s objemem  $V=0,05 \text{ m}^3$ , hustota vzduchu  $\rho$  v atmosféře je přibližně  $1,23 \text{ kg/m}^3$  a gravitační zrychlení  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Z takto zadaných parametrů lze získat vztakovou sílu  $F_v$  působící na bombu pomocí vzorce  $F_v = \rho \cdot V \cdot g$  a má velikost  $F_v \approx 0,6 \text{ N}$ . Pro stejnou bombu s hmotností  $50 \text{ kg}$  je gravitační síla  $F_g = m \cdot g = 50 \cdot 9,81 \text{ N} = 490,5 \text{ N}$ . Vztaková síla je tedy zanedbatelná (jen zhruba  $0,1\%$  gravitační síly) a v praktických výpočtech se u takto těžkých objektů obvykle neuvažuje.

<sup>8</sup> Stokesův vztah platí pro podzvukové rychlosti letadel. Což měla skoro všechna letadla za 2. světové války. I když nejrychlejším letadlem II. světové války byl koncept Lippisch P. 13A s maximální nadzvukovou rychlostí  $1650 \text{ km/h}$ , který však do bojů nezasáhl. Nejbližší hranice zvuku byli němečtí konstruktéři s jejich stíhacími letadly nasazenými v boji, která se blížila rychlosti  $1000 \text{ km/h}$ .

odporu vzduchu. Vyšší výška poskytuje více času pro zrychlení ve vertikálním směru. Nižší horizontální rychlost znamená, že vertikální rychlost může snáze převládnout. Aerodynamický tvar bomby souvisí s koeficientem odporu  $C_d$ , který je bezrozměrnou veličinou. Tyto parametry zásadně ovlivňují dosažení maximální vertikální rychlosti, která je pak konstantní a nazývá se terminální rychlost, což je důležitý koncept, který hraje klíčovou roli při studiu pohybu objektů v atmosféře.

Terminální rychlost ve vertikálním směru je určena rovnováhou mezi gravitační silou a odporovou silou. Pochopení těchto faktorů je klíčové pro návrh a analýzu pohybu různých objektů v prostředí, od parašutistů až po shoz bomby. Gravitační sílu lze vyjádřit pomocí vztahu  $F_g = m \cdot g$ , kde  $m$  je hmotnost bomby a  $g$  je gravitační zrychlení. Odporovou sílu lze vyjádřit takto  $F_o = \frac{1}{2} \rho v^2 C_d S$ , kde  $\rho$  je hustota vzduchu,  $v$  je rychlost bomby,  $C_d$  je součinitel odporu vzduchu a  $S$  je obsah průřezu bomby kolmého na směr pádu. Při dosažení terminální rychlosti jsou síly v rovnováze  $F_g = F_d$  z této rovnosti tedy vyplývá vztah  $m \cdot g = \frac{1}{2} \rho v_t^2 C_d S$ . Z této rovnice je vyjádřena terminální rychlost jako  $v_t = \sqrt{\frac{2mg}{\rho C_d S}}$ .

Horizontální a terminální rychlost jsou klíčové parametry při shození bomby z letadla. Horizontální rychlost je ovlivněna počáteční rychlostí letadla a odporem vzduchu, zatímco terminální rychlost je určena rovnováhou mezi gravitační silou a odporem vzduchu. Porozumění těmto parametrům je nezbytné pro přesné modelování trajektorie bomby a predikci jejího dopadu.

## Modely výpočtu dopadu bomby

Nejjednodušším modelem pro výpočet dopadu bomby od místa vypuštění je použít případ, kdy nebudeme uvažovat odpor vzduchu. Ve svislém směru pak padá bomba volným pádem díky působení gravitační síly a horizontální rychlost je konstantní po celou dobu volného pádu bomby. Představme si konkrétní příklad, kdy letadlo letí ve výšce 5000 metrů rychlostí 200 m/s. Z rovnice pro volný pád je určen čas letu bomby, a to takto

$$h = \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5000}{9,81}} \text{ s} \approx 31,93 \text{ s.}$$

Po dosažení tohoto času do rovnice pro vzdálenost při uvažování konstantní horizontální rychlosti je získána dopadová vzdálenost  $d = v_0 \cdot t = 200 \cdot 31,93 \text{ m} \approx 6386 \text{ m}$ .

Zpřesňujícím výpočtem je použití efektivní hodnoty odporu vzduchu pro horizontální pohyb, která vychází ze zkušeností. Tato efektivní hodnota sníží o 30% horizontální vzdálenost dopadu bomby. Pro náš modelový případ je získána hodnota dopadu  $d_{eff} = 0,7 \cdot d = 0,7 \cdot 6386 \text{ m} \approx 4470 \text{ m}$ .

Dalším zpřesněním výpočtu je uvažovat odpor vzduchu. Pohyb bomby lze potom popsat výchozí pohybovou rovnicí  $\vec{F} = \vec{F}_g + \vec{F}_o$ , kde  $\vec{F}$  je výsledná síla působící na bombu,  $\vec{F}_g$  gravitační síla působící ve směru svislého pohybu a  $\vec{F}_o$  je odporová síla působící proti pohybu (uvažujeme ji nejprve úměrnou rychlosti), což po dosažení za jednotlivé síly vede na soustavu diferenciálních rovnic v horizontálním a vertikálním směru.

Pak půjde o tyto dvě lineární diferenciální rovnice: pro horizontální pohyb  $m \frac{dv_x}{dt} = -kv_x$  a pro vertikální pohyb  $m \frac{dv_y}{dt} = mg - kv_y$ , kde  $m$  je hmotnost bomby,  $k$  je koeficient odporu vzduchu,  $v_x$  a  $v_y$  jsou složky rychlosti v horizontálním a vertikálním směru. Prvním krokem je vyjádření rychlosti bomby v závislosti na čase. Toto řešení je získáno pomocí metod pro řešení lineárních diferenciálních rovnic (separace proměnných, metoda integračního faktoru aj.) a počátečních podmínek. Výsledkem je časová závislost rychlosti v obou směrech. Počáteční podmínky v čase  $t = 0$  jsou pro horizontální rychlost  $v_x(0) = v_{x0}$  rychlost letadla, pro vertikální rychlost je podmínka nulové rychlosti vypuštění bomby  $v_y(0) = 0$ . Z takto získaného vyjádření rychlostí může být například pomocí integrace a znalosti počátečních podmínek (v čase  $t = 0$  je  $x(0) = 0$  a  $y(0) = h$ ) zjištěna časová závislost souřadnic a z ní pak trajektorie bomby od shozu bomby z letadla ve výšce  $h$  až po dopad.

Pokud použijeme v silové rovnici odporovou sílu závislou na kvadrátu rychlosti, kterou jsme vyjádřili v předchozí části, pak jsou získány diferenciální rovnice pohybu s odporem vzduchu pro horizontální pohyb  $m \frac{dv_x}{dt} = -\frac{1}{2} \rho v_x^2 C_{dx} S_x$  a pro vertikální pohyb  $m \frac{dv_y}{dt} = mg - \frac{1}{2} \rho v_y^2 C_{dy} S_y$ . Tyto diferenciální rovnice jsou nelineární a nemají jednoduché analytické řešení. Proto se pro jejich řešení používají numerické metody. Uvažováním dalších faktorů pro zpřesnění výpočtu dopadu bomby jsou aerodynamické vlastnosti bomby, proměnné působení vlivu větru, proměnná hustota vzduchu s výškou, náklon letadla při shozu a atmosférické podmínky. Tyto další faktory vnášejí do těchto modelů složitější matematický popis.

## Závěr

Začátkem války byly balistické výpočty prováděny ručně pomocí tabulek a grafů. Výpočet trajektorie bomby zahrnoval faktory jako gravitace, odpor vzduchu, aerodynamický tvar bomby, úhel vypuštění a jiné. Přesnost těchto výpočtů byla omezená, což často vedlo k nepřesnému bombardování. V průběhu války se začaly používat mechanické balistické počítače, které umožnily rychlejší a přesnější výpočty. Tyto přístroje, jako například Nordenův zaměřovač používaný americkými bombardéry, byly navrženy tak, aby zlepšily přesnost bombardování, a to i z vysokých nadmořských výšek.

Mým záměrem bylo nastínit složitost a náročnost shozu bomby a tím vyvrátit určité miskoncepce získané zejména ve formě domněnek z válečných filmů, např. že bomby padají svísele dolů, shoz je proveden přímo nad cílem, bomba dopadne za několik sekund a jiné.

## Tvar hladiny moře

Miskoncepce, kterou se budu zabývat, je „Jaký tvar má hladina moře?“. Tato miskoncepce mě napadla při pročítání webu o „ploché zemi“, kde se autoři snažili argumentovat tím, že přeci žádné zakřivení země nikde nepozorujeme [1a].



Obrázek 1. Rovná hladina moře. [1b]

Napadlo mě tedy, zda si žáci nemyslí, že je hladina moře nebo oceánu rovná. Vzhledem k jejich zkušenostem s hladinou vody ve skleničce nebo na jezeře, které se nezdají být jakkoliv zakřivené, by tento dojem mohli snadno získat.

### Poznatkový konflikt

Abychom vyvolali poznatkový konflikt, je vhodné nastolit otázku: „Bude hladina rovná, nebo zakřivená?“ Poté je dobré ukázat experiment, fotografii nebo video, kde si žáci mohou ověřit, zda jejich očekávání bylo správné. U poznatkového konfliktu popisují dva různé způsoby, které se dají v hodině využít a kombinovat.

### Konfrontace fotografií

Zprv bych se opřela o fotografie z vesmíru (např. web NASA), kde je nejen vidět zakřivení Země, ale také oceánů, jelikož pokrývají velikou část naší planety. Problém by v tomto případě mohl nastat, kdyby bylo nějaké dítě stále ještě přesvědčeno o tom, že je země plochá a tyto fotografie jsou pouhé podvrhy. Podle mě by však tento problém mohl nastat jen velmi zřídka.



Obrázek 2. Zakřivená hladina moře a). [2]



Obrázek 3. Zakřivená hladina moře b). [3]

Můžeme začít obrázkem 1, kde se hladina jeví jako rovná.

*Učitel:* „Jak by to vypadalo, kdybychom se dívali na hladinu širokou například 2 km, 10 km, nebo tisíce km?“

Žáci si tuto situaci promyslí a poté můžeme ukázat obrázek 2 a 3, který poskytne odpověď na tuto otázku.

Pro posílení argumentace bychom mohli upozornit na situaci, kdy loď vyplouvá z horizontu směrem k nám – nejprve je vidět stěžeň, poté plachty a až nakonec trup. To je také důkaz zakřivení Země, protože horizont je dostatečně daleko, aby se zakřivení projevilo.

*Učitel:* Už jste někdy u moře pozorovali plout plachetnice až za obzor?

Žáci odpovídají ano nebo ne.

*Učitel:* Kdo viděl, může si zkusit vzpomenout, jak situace vypadala. Ostatní se zamyslí, jak by tato situace měla vypadat. Do svých úvah zahrňte problematiku, kterou dnešní hodinu řešíme.

Necháme žáky chvíli přemýšlet, a poté je vyzveme, aby vyslovili své nápady. (Mohou být správné i chybné.) Na závěr je důležité jejich tvrzení buďto potvrdit nebo vyvrátit například videem z YouTube [4]: [https://www.youtube.com/watch?v=8Akip2Ev\\_N8](https://www.youtube.com/watch?v=8Akip2Ev_N8)

## Konfrontace nákresem

Druhý přístup by mohl spočívat v tom, že bych se žáků ptala na to, jak si rovnou hladinu představují na kulaté Zemi.

*Učitel:* Jaký tvar má podle vás hladina moře (popřípadě oceánu), které není rozbouřené, tedy nejsou na něm žádné vlny?

*Žák:* Hladina vody v jezeře je rovná, takže logicky i hladina moře musí být rovná.

*Učitel:* Hmm. A jaký si myslíš, že je tvar naší Země?

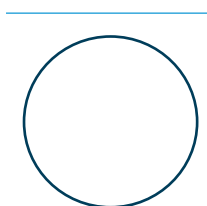
*Žák:* Země je planeta, takže má tvar koule.

*Učitel:* V tom s tebou souhlasím. Pojdme se teď vrátit k té hladině moře. Zajímalo by mě, jakým způsobem si představuješ hladinu moře na kulaté Zemi.

Zde bych nakreslila kouli na tabuli a žák by mi odsouhlasil, že takto vypadá tvar Země.

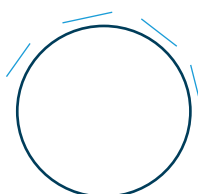
*Učitel:* Zkus mi, prosím, na této Zemi nakreslit hladinu moře.

Žák může hladinu moře zakreslit chybně, například jako přímkou nad koulí (obrázek 4). V tom případě bych se ho zeptala, jak by to fungovalo, jestli by voda přes strany neodtékala a také, jak by to bylo se všemi kontinenty, co jsou na planetě. (Tato varianta mi přijde ale krajně nepravděpodobná.)



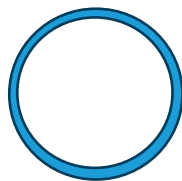
Obrázek 4. Nákres Země a rovné hladiny vody.

Žák může hladinu nakreslit jako rovnou krátkou úsečku na jednom místě (obrázek 5). V tomto případě bych ho poprosila, aby zakreslil i další jiná místa. Po nakreslení by žák pravděpodobně byl schopný říci, že se vlastně jednotlivé úsečky spojí v kulovou plochu (obrázek 6).



Obrázek 5. Nákres Země a rovné hladiny vody na více místech.





Obrázek 6. Nákres Země a hladiny vody po celém povrchu.

*Žák:* Dobře, vypadá to, že jsem měl chybnou představu. Ale pořád nechápu, že když jsem byl v létě u moře, hladina byla rovná. Žádné zakřivení jsem nepozoroval.

Pokud žáci nadále nevěří, je dobré vyzkoušet jiný koncept.

## Analogie

*Učitel:* Ano, to je možné. Naše Země má veliký průměr, takže pokud se na ni nedíváme s dostatečným odstupem, zakřivení nejsme schopni zpozorovat.

Zkusím ti to ještě trochu přiblížit. Možná už se ti někdy něco podobného stalo, když jsi jel jakýmkoliv dopravním prostředkem. Zkusíme si to ukázat na jízdě vlakem. Když vlak potřebuje změnit směr jízdy, například doted' jel směrem na sever, ale potřebuje se dostat více na západ. Tento problém nám vyřeší to, že se koleje zatočí do zatáčky. Avšak vlak se nemůže okamžitě otočit o 90 stupňů. Je totiž moc dlouhý a mohlo by to poškodit jeho konstrukci. Nehledě na pasažéry, kterým by se to nejspíše nezamlouvalo. Proto se takové zatáčky staví veliké a velmi pozvolné. My, jakožto pasažér v tomto vlaku, si této znatelné změny směru vůbec nemusíme povšimnout, jelikož je pro nás v krátkém čase prakticky nepozorovatelná. A úplně stejně je to se zakřivením vodní plochy.

U této argumentace je důležité zohlednit, že ne všichni žáci budou automaticky souhlasit s tím, že Země je kulatá. Pro tyto případy je vhodné zvolit následující přístup.

*Žák:* To, že vidíme hladinu rovnou, znamená, že Země je rovná a nemůže být kulatá.

*Učitel:* Je to opravdu tak? Nemůže být Země kulatá, pokud vidíme hladinu rovnou?

V této situaci je na místě provést pokus. Nafoukneme balonek a nakreslíme na něj fixem čáru (obrázek 7).

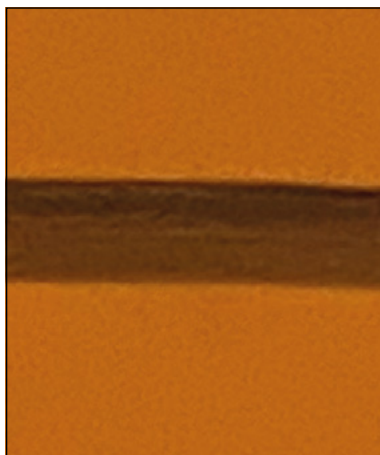


Obrázek 7. Rovná čára na kulovitém povrchu.

*Učitel:* Jaký tvar má podle vás tato čára?

Žáci mohou odpovídat, cokoli ve stylu, že se jedná o “křivou” čáru.

Učitel zadá pokyn, aby si každý žák vyfotil nakreslenou křivku na mobil a poté si fotografii hodně přiblížil.



Obrázek 8. Rovná čára na kulovitém povrchu při přiblížení.

*Učitel:* Když se na čáru díváme dostatečně z blízka, jak vypadá? (obrázek 8)

*Žák:* Vidíme jen rovnou čáru. Takže hladina vody může být zakřivená, ale pokud se díváme moc zblízka, vidíme hladinu rovně.

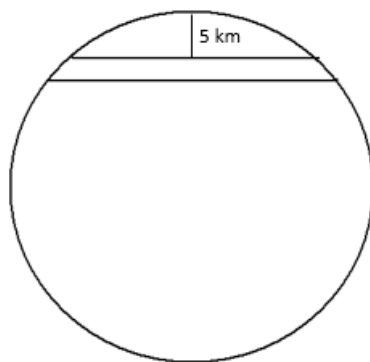
Tento pokus by měl žákům pomoci pochopit, proč zakřivení hladiny moře na krátké vzdálenosti není viditelné.

## Autoreflexivní učení žáka

Pro autoreflexivní učení žáků není vybraná problematika úplně příznivá, protože se špatně pozoruje, pokud se pohybujeme na povrchu Země. Zkusila bych tedy v rámci autoreflexivního učení žákům zadat například takto postavenou úlohu. [5]

*Představ si, že je Země provrtaná tunelem pro metro kolmo k poloměru tak, že nejhlubší místo tunelu je 5 km pod povrchem Země. Do tunelu je zaveden potok hluboký 0,5 metru. Bylo by možné tunelem projet na kánoji? Proč? (Obrázek není v měřítku.)*

Nápověda: Jak bude vypadat „rovná“ hladina vody, která se bude uprostřed tunelu hromadit?



Obrázek 9. Náskres Země provrtané tunelem. [5], upraveno

Žáci by si na ní mohli ověřit, do jaké hloubky porozuměli danému problému anebo jestli si ho ještě potřebují ujasnit.

## Řešení

V tunelu by nebylo možné projet kánoí. Voda, která by postupně natekla do tunelu, by se hromadila okolo středu tunelu, až by ho zcela zaplnila. Žákům lze situaci vysvětlit pomocí jednotlivých kapek vody.

*Učitel:* Na obrázku to vypadá, že je tunel proražen vodorovně. Je to ale opravdu tak? Rozmyslete si, jak míří svislice, nakreslete si je z konců tunelu.

*Žák:* Míří do středu Země.

*Učitel:* Ano. Vodorovný směr je kolmý na svislici. Jak je tedy tunel vlastně proražený, kam míří?

*Žák:* Z obou konců směřuje šikmo dolů.

*Učitel:* Pokud bychom poslali do tunelu kapičku vody, kde by skončila?

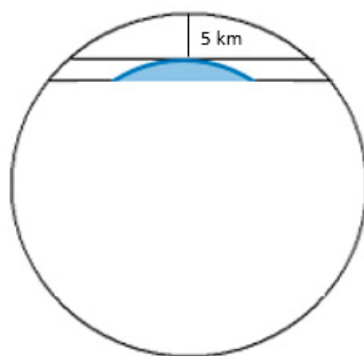
*Žák:* Kapička by se zastavila přesně uprostřed tunelu. Můžeme ji totiž poslat z obou stran a v obou případech bude padat dolů.

*Učitel:* A co se stane, když těch kapiček bude více? Kde a jak se budou hromadit?

*Žák:* Kapičky jsou gravitací nejvíce přitahovány ke středu, takže by se hromadily uprostřed tunelu a vytvořily by kulovitou hladinu.

*Učitel:* Bylo by tedy možné, aby po dodání dostatečného množství vody, kánoe projela?

*Žák:* Kdybychom dodali více vody, tunel by se uprostřed celý zaplnil vodou, ještě dříve, než by se voda dostala ke krajům tunelu (obrázek 9).



Obrázek 9. Nákres Země provrtané tunelem – řešení.

## Literatura

[1a] Kde je zakřivení Země? Dostupné online [13. 8. 2024]

<https://informace.top/kde-je-zakriveni-zeme/>

[1b] Obrázek 1. Rovná hladina moře. Dostupné online [13. 8. 2024]

<https://pixabay.com/cs/photos/mo%C5%99e-horizont-slunce-1836480/>

[2] Obrázek 2. Zakřivená hladina moře a). Dostupné online na NASA Image and Video Library

[13. 8. 2024] <https://images.nasa.gov/details/iss070e052109>

[3] Obrázek 3. Zakřivená hladina moře b). Dostupné online na NASA Image and Video Library

[13. 8. 2024] <https://images.nasa.gov/details/iss070e049644>

[4] Video lodi mizející za obzorem. Dostupné online [13. 8. 2024]

[https://www.youtube.com/watch?v=8Akip2Ev\\_N8](https://www.youtube.com/watch?v=8Akip2Ev_N8)

[5] Problémová úloha. Dostupné online [13. 8. 2024]

<https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/problemove-ulohy-a-experimenty2.doc>

# „Stav beztíže znamená, že tam není gravitační síla“

Popisuji průběh hodiny tak, jak bych ji se žáky vedla. Tři základní strategie pro odstranění miskoncepce se během hodiny různě střídají, proto je označuji čísly za odstavci: kognitivní konflikt (1), analogie (2), autoreflexivní učení žáka (3).

## Gravitační síla na ISS

Začala bych diskuzí se žáky o tom, kde se mohou se stavem beztíže setkat. Většina z nich by pravděpodobně odpověděla „ve vesmíru“. Upozornila bych je, že odpověď „ve vesmíru“ je velmi široký pojem, ať to nějak upřesní, až bychom se dostali k vesmírné stanici.

## Videoukázka života astronautů na ISS

Následovalo by promítnutí krátkého videa o tom, jak vypadají běžné denní aktivity na ISS – např. česání vlasů, spánek, konzumace jídla a pití... Šlo by použít např. toto video Life on Station [3]: <https://www.youtube.com/watch?v=X9vOoXU56KI>.

Při videu by si žáci zapisovali, které věci tam probíhaly jinak než u nás na Zemi, jak jsme na to zvyklí. Potom bych se jich zeptala, proč to tak je – typické odpovědi by pravděpodobně byly „protože je tam stav beztíže“ nebo „protože tam není gravitace“ – většina žáků by je nejspíše považovala za totožné. (2)

Zde bych je upozornila, že odpověď uvádějící stav beztíže je správně. Stav beztíže ale rozhodně neznamená, že na tom místě nepůsobí Země gravitační silou.

## Výpočet gravitační síly Země působící na člověka na ISS

Následovalo by společné počítání příkladu: Víme, že ISS je od zemského povrchu vzdálena asi 400 km. Jak velkou gravitační silou tam bude působit Země na člověka o hmotnosti 80 kg?

$$F_g = G \frac{m \cdot M}{r^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{80 \cdot 6 \cdot 10^{24}}{((6378 + 400) \cdot 10^3)^2} N \approx 700 N$$

Na Zemi by gravitační síla působící na tohoto člověka byla přibližně 800 N. Vidíme tedy, že na ISS rozhodně gravitační síla působí, a navíc dostatečně silně – ve srovnání s gravitační silou na Zemi je to skoro 90%. (1)

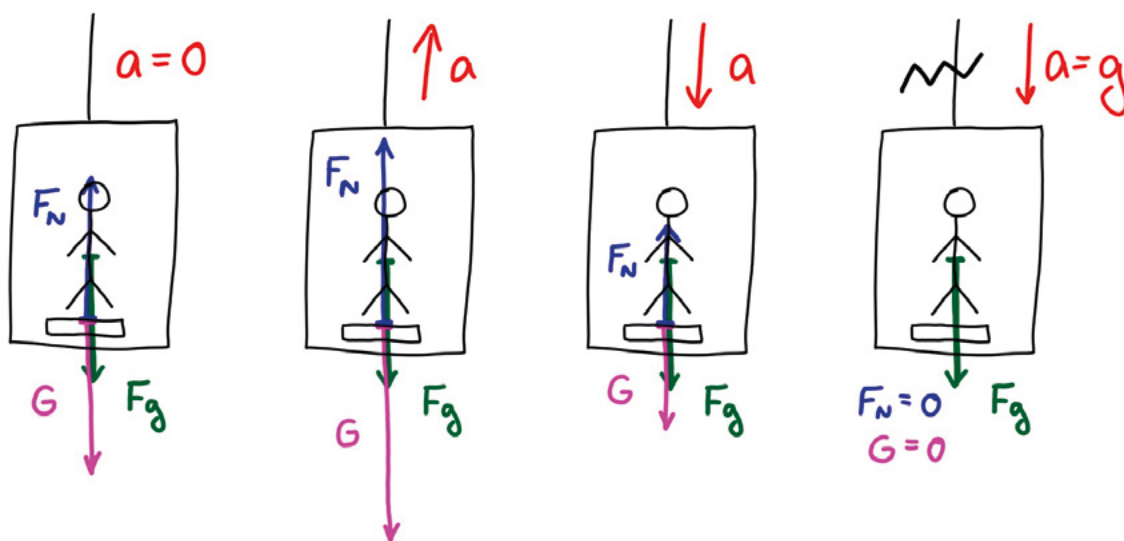
## Stav beztíže a výtah

Co je to tedy ten stav beztíže? Zeptala bych se žáků, zda se stav beztíže dá zažít nejen ve vesmíru, ale i někde na Zemi. Možná by padly odpovědi typu „na některé atrakci na pouti“, „při vyhlídkovém letu“, „při bungee-jumpingu“. Tyto odpovědi bych odsouhlasila, ale namítla, že je to dokonce ještě mnohem jednodušší. (2)

Zopakovala bych, co je tíha. Následoval by příklad s výtahem. Představme si čtyři situace. Ve všech z nich stojí (opět náš) člověk o hmotnosti 80kg na digitální váze, která je ale ještě ke všemu ve výtahu. Nyní máme určit, jaký údaj ukáže váha v jednotlivých situacích – výtah se nehýbe, výtah zrychluje směrem nahoru, výtah zrychluje směrem dolů, lano výtahu se utrhlo.

Na tabuli bych k tomu kreslila obrázky s vyznačeným směrem zrychlení, silami působícími na člověka a silou, kterou člověk tlačí na váhu tak, jak je to ukázáno na obrázku 1. Vše by bylo z pohledu pozorovatele v klidu vůči Zemi, který stojí venku mimo výtah (tedy z pohledu inerciální vztažné soustavy). (3)

1. výtah se nehýbe – Žáci by pravděpodobně bez problému určili, že váha ukáže právě 80kg.
2. výtah zrychluje směrem nahoru – Buď by to někoho napadlo, nebo bych je navedla k tomu, že si to mají představit tak, jakože výtah při zrychlení nahoru tu váhu „více natlačí“ na člověka – váha tedy ukáže o něco více, než 80kg.
3. výtah zrychluje směrem dolů – Na základě případu č. 2. by žáci neměli problém odpovědět, že zde to bude přesně naopak, váha zase člověku „ujíždí pod nohama“, ukáže tedy o něco méně než 80kg.
4. lano výtahu se utrhlo a výtah padá se zrychlením  $g$  – Pokud by to někoho z žáků nenapadlo rovnou, poradila bych jim, že výtah, člověk i váha vlastně v tu chvíli padají společně, s úplně stejným zrychlením. O kolik se při pádu posune člověk, o tolik se posune i váha – on na ni tedy nijak nemůže „zatlačit“ – váha tedy ukáže 0kg.



Obrázek 1. Tíha člověka ve zrychlujícím výtahu

Ve všech situacích působí na člověka stejně velká tíhová síla  $F_g$ . Dále na člověka tlačí váha, na které stojí. Velikost této síly  $F_N$  se v jednotlivých situacích liší. Tíha  $G$  je síla, kterou tlačí člověk na váhu. Podle 3. Newtonova zákona je stejně velká a opačně orientovaná než síla  $F_N$ .

V první situaci, kdy se výtah nehýbe (zrychlení je nulové), je výsledná síla působící na člověka nulová. Platí tedy, že  $F_g = F_N = G = mg$ , a váha ukáže 80 kg.

Ve druhé situaci se výtah a tedy i člověk a váha pohybují se zrychlením směrem vzhůru. Na člověka působí nenulová výsledná síla směrem vzhůru, musí platit:  $F_N > F_g$ , váha zatlačí na člověka více a tedy i člověk na váhu,  $F_N = G > F_g = mg$ , váha ukáže více než 80 kg.

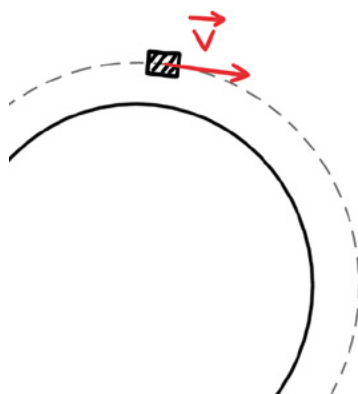
Ve třetí situaci se výtah a tedy i člověk a váha pohybují se zrychlením směrem dolů. Na člověka působí nenulová výsledná síla směrem dolů, musí platit:  $F_N < F_g$ , váha zatlačí na člověka méně a tedy i člověk na váhu,  $F_N = G < F_g = mg$ , váha ukáže méně než 80 kg.

V poslední situaci výtah, člověk i váha padají se zrychlením  $g$ . Na člověka působí jen tíhová síla  $F_g$ , váha do něj netlačí,  $F_N = 0$ . A tedy ani člověk netlačí na váhu  $G = 0$ , a ta ukáže nulu. To znamená, že tam žádná tíha není – tj. tento člověk právě dosáhl stavu beztíže. Tedy ve stavu beztíže jsem kdykoli, když by myšlená váha pode mnou ukázala nulu. (3)

## Kdykoli padáme volným pádem, jsme ve stavu beztíže

Stavu beztíže můžeme dosáhnout klidně hned tady ve třídě – tím, že vyskočíme. Během výskoku a pádu jsme ve stavu beztíže. A tady ve třídě rozhodně gravitační síla působí, takže opravdu to není to samé, jako nulová gravitační síla. Žáci zmiňovali let letadlem, pouťové atrakce a bungee-jumping – při všech těchto činnostech vlastně člověk nějakou dobu padá – a právě po ten čas je ve stavu beztíže. (1), (3)

Jak je to ale s vesmírnou stanicí? Vesmírná stanice obíhá kolem Země, což je vlastně také pád. Stanice padá pořád, ale nikdy nespadne na zemský povrch, protože má velmi vysokou rychlost – díky ní setrvává v pohybu po kružnici (obrázek 2).



Obrázek 2. Družice na orbitě

Na závěr bych žákům pustila část videa Rande s fyzikou – hlavně to, kde gymnastka na trampolíně vedle sebe odloží kladivo [4]. Dále bych pustila také část tohoto videa z parabolického letu, kde je

stav bez tíže vidět delší dobu [5]. Jedná se o přezdívaný „Vomit Comet“ let, kde mohou astronauti nacvičovat úkoly v mikrogravitaci. Více viz např. [6].

## Literatura

[1] MANDÍKOVÁ, Dana. *Výuka Newtonových zákonů I - intuitivní představy žáků*. Dostupné online [4. 7. 2020] <https://clanky.rvp.cz/clanek/o/z/212/VYUKA-NEWTONOVYCH-ZAKONU-I---INTUITIVNI-PR-EDSTAVY-ZAKU.html/>

[2] MANDÍKOVÁ, Dana a Josef TRNA. *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. 1. vyd. Brno: Paido 2011. 245 s. 336. ISBN 978-80-7315-226-0.

[3] Life on Station, YouTube video. Dostupné online [4. 7. 2020] <https://www.youtube.com/watch?v=X9vOoXU56KI>

[4] Tíha a beztížný stav. Video z cyklu Rande s fyzikou, díl 6, od 4. Min. Dostupné online [4. 7. 2020] [https://www.ceskatelevize.cz/porady/10319921345-rande-s-fyzikou/\\_](https://www.ceskatelevize.cz/porady/10319921345-rande-s-fyzikou/_)

[5] What zero gravity really feels like in the “vomit comet”, YouTube video. Dostupné online [4. 7. 2020] [https://www.youtube.com/watch?v=Z9avV\\_kNdOU](https://www.youtube.com/watch?v=Z9avV_kNdOU)

[6] Voplatka, M. Na palubě Vomit Comet. Dostupné online [4. 7. 2020] <https://kosmonautix.cz/2018/09/10/na-palube-vomit-comet/>



# Pohyb člověka na Měsíci je výrazně jednodušší než na Zemi

Cílem této práce je analýza žákovské miskoncepce: Pohyb člověka na Měsíci je výrazně jednodušší než na Zemi. Jedná se o dosti obecnou miskoncepci, která vzniká opomíjením důležitých aspektů lidské chůze. Žákovské představy o pohybu na Měsíci tedy obecně nejsou zcela nesprávné, ale spíše nejsou kompletní, což výrazně omezuje jejich prediktivní schopnosti.

První sekce tohoto textu je věnována analýze lidské chůze v tíhovém poli, jejím cílem je zavedení jednoduchého teoretického základu lidské chůze. Druhá sekce se zabývá analýzou výše zmíněné miskoncepce, ve které vyjdeme ze závěrů uvedených v první sekci.

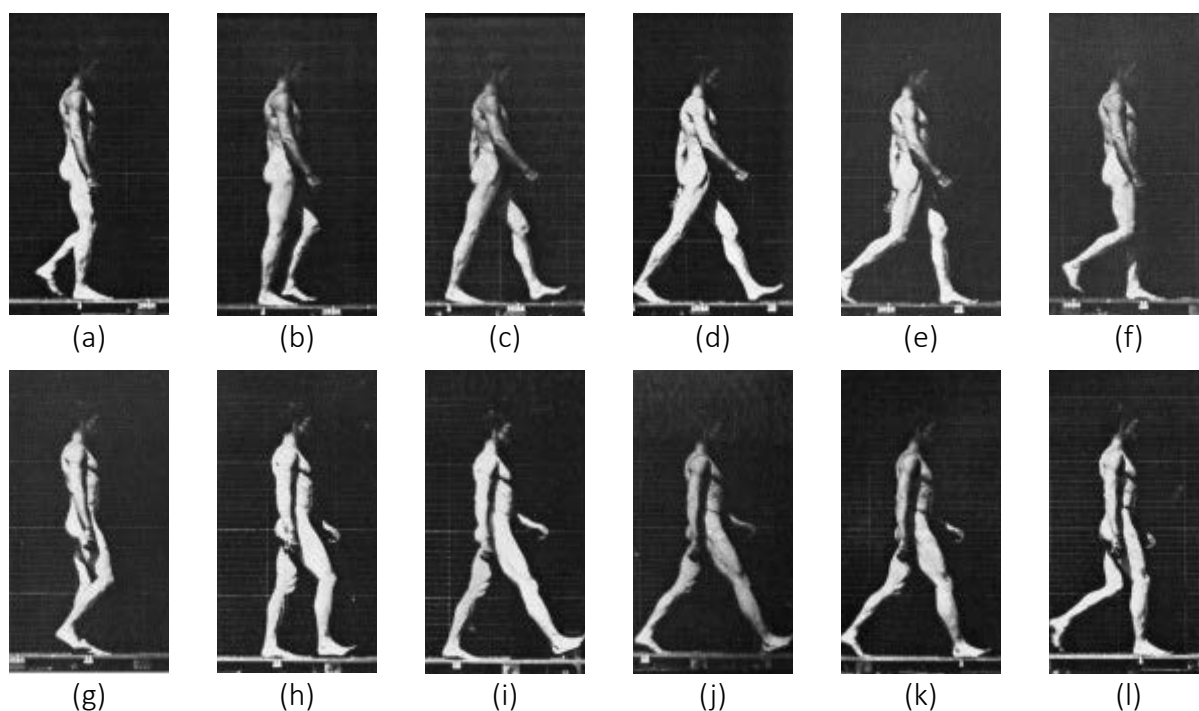
## Fyzika lidské chůze v tíhovém poli

Představme si, že naším cílem je sestavit dvounohého robota, který se dokáže pohybovat chůzí stejně jako člověk. Přirozeně naším prvním úkolem bude sestavení jeho pohybového ústrojí. Během této konstrukce se ujistíme, že každý mechanický kloub umožňuje robotovi provádět stejné pohyby jako člověk, což si můžeme snadno ověřit porovnáním s naším vlastním tělem (pokud jsme dostatečně flexibilní). Po dokončení mechanické konstrukce máme robota, který je prozatím pouhou loutkou, sice dokáže provést libovolný dílčí pohyb, který je součástí lidské chůze, ale jeho končetiny musíme řídit my, což není naším cílem. Zbývá tedy našeho robota „naučit“, jak chodit jako člověk. Většina z nás se naučí chodit již ve velice útlém věku, přičemž nám nikdo nemusel vysvětlit „jak“, přišli jsme si na to sami. Samotný proces chůze se poté velice rychle zautomatizuje a již není potřeba přemýšlet nad každým naším krokem, chůze je přeci jenom pro člověka přirozená. Je tedy velice pravděpodobné, že sami nemáme dostatečně detailní představu o tom, jak funguje lidská chůze, abychom ji mohli do našeho robota úspěšně naprogramovat.<sup>9</sup> Zaměřme tedy naše úsilí na dosažení porozumění fyzice lidské chůze.

Obrázek 1, složený ze sady snímků, znázorňuje posloupnost dílčích pohybů, která tvoří cyklus naší chůze. Snímky 1(a) až 1(f) představují krok levou nohou, na jehož začátku stojíme na pravé noze a na konci stojíme na levé noze. Na snímek 1(f) plynule navazuje snímek 1(g), kterým začíná krok pravou nohou reprezentovaný snímky 1(g) až 1(l). Na posledním snímku 1(l) stojíme opět na pravé noze a můžeme tedy plynule přejít na snímek 1(a), čímž uzavřeme cyklus.

Abychom vysvětlili základní fyzikální principy cyklu lidské chůze, stačí, když se budeme zabývat pouze popisem prvního kroku znázorněného na obrázku 1, popis druhého kroku bude čistě analogický. Stačí nám sada snímků na obrázku 1, abychom mohli alespoň kvalitativně popsat lidskou chůzi?

<sup>9</sup> Alternativním přístupem k naprogramování všech potřebných dílčích pohybů by bylo využití neuronové sítě, která umožňuje takzvané strojové učení. V takovém případě bychom prakticky nechali našeho robota, aby se naučil chodit podobně jako dítě metodou pokus omyl. Lidské učení těchto základních dovedností, jako například mluva a chůze, je v útlém věku dost možná modulární, což výrazně zvyšuje efektivitu metody pokus omyl [1].



Obrázek 1. Sekvence dílčích pohybů tvořící cyklus lidské chůze [2, str. 17]. Pohled kolmo na směr chůze.

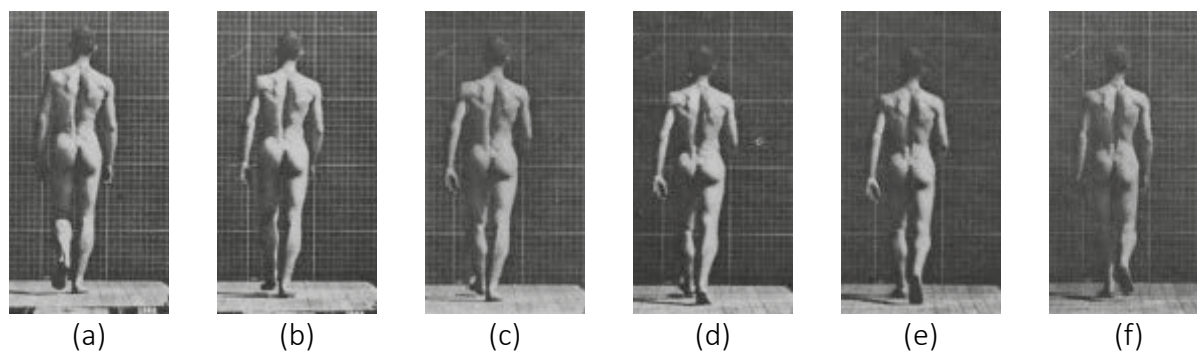
Protože žijeme v třírozměrném prostoru, je i lidská chůze pohybem v třírozměrném prostoru. Prozkoumejme tedy, zdali naše sada snímků obsahuje informace o pohybu ve všech třech dimenzích, které budeme reprezentovat následující ortonormální bází  $\{ \vec{x}, \vec{y}, \vec{z} \}$ :

- $\vec{x}$  – **směr shodný se směrem pohybu chůze:** Ano, na obrázku 1 je vidět, že se při chůzi pohybujeme zleva doprava, tedy ve směru  $\vec{x}$ . A pokud nebudeme couvat, nebo se otáčet, tak se náš pohyb v tomto směru ani nebude měnit.
- $\vec{y}$  – **směr kolmý na povrch, po kterém chodíme:** Ano, na obrázku 1 je možné si všimnout, že se například naše torzo nebo hlava pohybuje „nahoru i dolů“, tedy ve směru  $\vec{y}$  i  $-\vec{y}$ .
- $\vec{z}$  – **směr kolmý na rovinu obrázku:** Ne, o pohybu v tomto směru nám obrázek 1 nedává žádnou informaci, protože jeho snímky znázorňují pohled z právě tohoto směru. Směr  $\vec{z}$  je tedy „hloubkou“ těchto obrázků, ale obrázky jsou dvourozměrné a žádnou hloubku nemají.

Chybí nám informace o jedné dimenzi, a proto potřebujeme ještě jednu sadu snímků z jiného pohledu. Obrázek 2 obsahuje dalších 6 snímků, které odpovídají prvním 6 snímkům 1(a) až 1(f) z obrázku 1. Pro první krok z pravé nohy na levou nohu tedy máme dva různé pohledy, ze kterých již jsme schopni popsat pohyb člověka během chůze ve všech třech dimenzích. Kde bychom ovšem měli začít? Studium pohybu lidského těla z pohledu biomechaniky je neuvěřitelně složité, takže bychom měli začít nějakým jednoduchým modelem, na kterém bychom ukázali základní koncepty lidské chůze. Celé lidské tělo budeme reprezentovat jeho těžištěm, jehož podporou nad povrchem budou dvě tyče, které se mohou otáčet kolem jejich společného bodu pod těžištěm, viz obrázek 3. Dále uvažujeme, že tyto tyče, reprezentující lidské nohy, jsou nehmotné a že dokáží silově působit na povrch podobně jako lidská chodidla.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Musíme uvažovat, že tyče jsou nehmotné, protože jinak by hlavním bodem našeho modelu nemohlo být těžiště, ale muselo by jím být těžiště části těla od pánve výše.

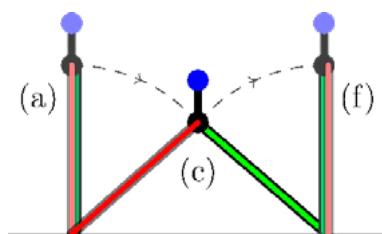
Pomocí tohoto modelu v nadcházejících částech kvalitativně popíšeme trajektorii těžiště lidského těla během chůze, z jejíž znalosti následně popíšeme i dynamiku lidské chůze.



Obrázek 2. Sekvence dílčích pohybů tvořící jeden krok z pravé nohy na levou [2, str. 17]. Pohled ve směru chůze.

### Analýza trajektorie těžiště

Z vlastní zkušenosti víme, že pokud uděláme jeden krok, posuneme se v horizontálním směru, ovšem pokud ještě k tomu porovnáme snímky 1(a), 1(c) a 1(f), tak dojdeme k závěru, že se pohybujeme lehce i ve vertikálním směru. Tento vertikální pohyb není na námi studovaných snímcích moc výrazný, ale když si uvědomíme, že na všech třech těchto snímcích máme zcela napnuté nohy, na kterých stojíme, tak získáváme možnost ilustrovat snížení výšky těžiště během pohybu 1(a) → 1(c) a její následné zvýšení během pohybu 1(c) → 1(f) pomocí obrázku 3, ve kterém využíváme výše popsaného modelu.



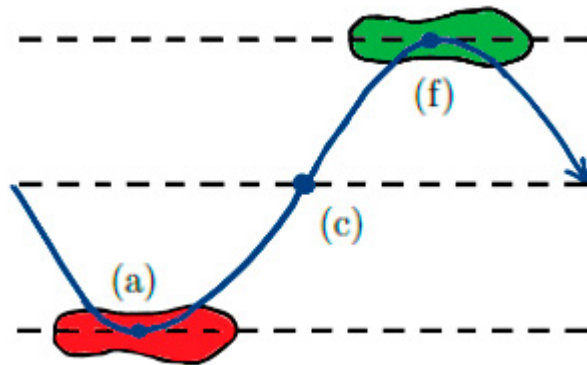
Obrázek 3. Vizualizace snížení a následného zvýšení výšky těžiště během kroku. Modré kruhy reprezentují těžiště a červené, resp. zelené tyče reprezentují napnutou pravou, resp. levou nohu.<sup>11</sup>

Na obrázku 3 jsme naznačili průmět trajektorie společného bodu tyčí do roviny  $xy$ , jak uvidíme níže, trajektorie těžiště bude mít složitější podobu. Nyní prozkoumejme snímky na obrázku 2, abychom získali další informace o trajektorii těžiště. Podívejme se na snímek 2(a), v tomto momentě stojíme čistě na pravé noze, jejíž chodidlo se nachází přímo pod naším těžištěm. Těžiště je tedy na tomto snímku pravou nohou podpíráno, a kdybychom se nehýbali,<sup>12</sup> tak bychom v této pozici mohli zůstat v klidu – stáli bychom na jedné noze. Na snímku 2(c) již stojíme na obou nohách a těžiště se nachází, alespoň z pohledu směru  $z$ , mezi nohama, a tím pádem jsme opět stabilní. Nakonec na snímku 2(f) již stojíme na levé noze, těžiště se nachází nad chodidlem levé nohy a pravá noha je ve vzduchu, připravená započít druhý krok z levé nohy na pravou nohu.

<sup>11</sup> Na snímcích 1(a) a 1(f) z obrázku 1 jsou napnuté pouze ty nohy, na kterých stojíme. Reprezentace těchto snímků na obrázku 3 znázorňuje obě nohy jako napnuté pro vyšší přehlednost. Skutečnost, že je v daný moment napnutá pouze jedna noha nijak neovlivní okamžitou výšku těžiště.

<sup>12</sup> Tedy kdybychom v tomto momentě neměli hybnost ve směru chůze.

Těžiště se tedy během chůze plynule posouvá ve směru  $\vec{z}$  z bodu nad pravým chodidlem na bod nad levým chodidlem a zase zpátky. Díváme-li se na lidskou chůzi „ze shora“, tedy pokud se díváme kolmo na rovinu  $xz$ , tak složením tohoto „kývavého“ pohybu ve směru  $\vec{z}$  s pohybem ve směru  $\vec{x}$  získáme následující projekci trajektorie těžiště do roviny  $xz$ :



Obrázek 4. Znázornění trajektorie těžiště při chůzi z pohledu ze shora.

## Analýza dynamiky chůze

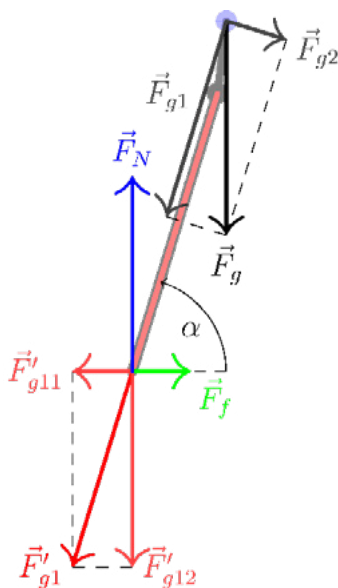
Nyní, když máme alespoň přibližnou znalost trajektorie těžiště během chůze, tak můžeme zahájit analýzu její dynamiky a zároveň si naše výsledky rovnou kontrolovat. Uvedme nejprve všechny síly, které se v našem modelu mohou objevit:

- **Tíhová síla** –  $\vec{F}_g$ : Bavíme se o lidském pohybu v homogenním tíhovém poli, takže tato síla je všudypřítomná. Jejím působištěm je těžiště a její směr vždy míří ve směru  $-\vec{y}$ .
- **Normálová síla** –  $\vec{F}_N$ : Tato síla vzniká jako reakce povrchu na normálové složky sil, které na něj působí. Podle 3. Newtonova zákona má tedy tato síla působiště na koncích tyčí, které se povrchu dotýkají a její směr vždy míří ve směru  $\vec{y}$ .
- **Třecí síla** –  $\vec{F}_f$ : Uvažujeme, že povrch není dokonale hladký, jinak by se po něm nedalo chodit, a proto bude tato síla v našem modelu reprezentovat klidové tření (při chůzi po povrchu naše chodidla nekloužou). Můžeme ji považovat za reakci povrchu na tečné složky sil, které na něj působí za podmínky, že její velikost může dosáhnout pouze určité maximální hodnoty. Její směr je tedy vždy tečný k povrchu, v našem případě se jedná o směry  $\vec{x}$  a  $-\vec{x}$ .
- **„Síla tyčí“** –  $\vec{F}_r$ : V našem modelu jsou nohy reprezentovány tyčemi, které mohou na povrch silově působit stejně jako lidská chodidla. Tyče mohou tento předpoklad splnit například tak, že se budou moci podélně roztahovat a zase zkracovat. Směr této síly je totožný se „směrem tyčí“ a náš model se může „rozhodnout“, kdy touto silou začne i přestane působit (podobně jako naše nohy a chodidla).

Nyní si představme náš model v obecném stavu, který může vypadat například jako na obrázku 5.<sup>13</sup> Na modelu v tomto stavu následně provedeme rozklad sil. Tíhovou sílu  $\vec{F}_g$  rozložíme na sílu v rovnoběžném směru s tyčí  $\vec{F}_{g1}$  a na sílu kolmou na tyč  $\vec{F}_{g2}$ . Síla  $\vec{F}_{g1}$  je tyčí přenášena na podložku. Sílu působící na podložku označíme jako  $\vec{F}'_{g1}$  a rozložíme ji na sílu tečnou k povrchu  $\vec{F}'_{g11}$  a na sílu kolmou na povrch  $\vec{F}'_{g12}$ . Díky tomuto rozkladu můžeme snadno určit reakce povrchu

<sup>13</sup> Na obrázku 5 není vyobrazena levá tyč pro jeho vyšší přehlednost, což si můžeme dovolit, protože rozklad sil na této tyči by byl analogický.

na silové působení tyče. Těmito reakcemi na síly  $\vec{F}'_{g11}$  a  $\vec{F}'_{g12}$  jsou: klidová třecí síla  $\vec{F}_f$  a normálová síla  $\vec{F}_N$ . Klidová třecí síla může ovšem dosáhnout jen určité maximální hodnoty, pak už dojde k proklouznutí. Tuto velikost musíme určit, abychom našli podmínky, za kterých nebude docházet ke klouzání tyčí po povrchu.



Obrázek 5. Rozklad sil.

Vydeme z velikosti tíhové síly  $F_g = mg$  a skutečnosti, že síly  $\vec{F}'_{g2}$  a  $\vec{F}_g$  svírají úhel  $\alpha$ , čímž získáme velikost sil  $\vec{F}'_{g1}$  a  $\vec{F}'_{g2}$  jako:

$$F_{g1} = mg \sin \alpha, \quad (1)$$

$$F_{g2} = mg \cos \alpha. \quad (2)$$

Protože úhel  $\alpha$  svírají také síly  $\vec{F}'_{g11}$  a  $\vec{F}'_{g1}$ , tak můžeme pomocí (1) uvést vztahy také pro následující velikosti:

$$F'_{g11} = mg \sin \alpha \cos \alpha, \quad (3)$$

$$F'_{g12} = mg \sin^2 \alpha = F_N. \quad (4)$$

Vztah (4) reprezentuje velikost normálové síly, která je přímo úměrná maximální velikosti třecí síly:

$$F_{f\max} = fmg \sin^2 \alpha. \quad (5)$$

Námi hledanou podmínku získáme z rovnosti vztahů (3) a (5):

$$F_{g11} = F_{f\max} \Rightarrow mg \sin \alpha \cos \alpha = fmg \sin^2 \alpha \Rightarrow \cot \alpha = f \Rightarrow \alpha = \cot^{-1} f. \quad (6)$$

Ze vztahu (6) vyplývá, že pro součinitel klidového tření  $f = 0,3$  je minimální úhel, který může tyč svírat s podložkou bez klouzání, roven  $\alpha = 73,30^\circ$  (pro  $f = 0,6$  získáváme  $\alpha = 59,04^\circ$ ). Jestli tyto výsledky odpovídají skutečnosti, nemůžeme bez experimentálního měření ověřit, proto se nebudeme v našich dalších úvahách na tyto konkrétní hodnoty odkazovat, přeci jenom jsme v našem modelu zanedbali mnoho biomechanických jevů. Pro nás nejdůležitějším závěrem je ovšem skutečnost, že vztah (6) nezávisí na velikosti tíhového zrychlení, pokud je nenulové,<sup>14</sup> a že existuje určitý minimální nenulový úhel, který může naše noha svírat s povrchem, aniž by po něm začala klouzat.

Vraťme se nyní k analýze dynamiky sekvencí snímků 1(a) → 1(f). Podle obrázku 3 vidíme, že je přirozené tento pohyb rozdělit na dvě sekvence dílčích pohybů: 1(a) → 1(c) (výška těžiště se snižuje) a 1(c) → 1(f) (výška těžiště se zvyšuje).

1(a) → 1(c)

Začínáme snímkem 1(a), na kterém jsou všechny síly v rovnováze, takže pokud naše těžiště bylo v klidu, nebo konalo rovnoměrný přímočarý pohyb, tak v něm ještě chvíli setrvá. Ze snímku 1(a) přecházíme plynule na snímek 1(b) buď setrvačností z předchozího pohybu, nebo úmyslným vychýlením těžiště ve směru pohybu. Jakmile se naše těžiště lehce vychýlí z rovnovážné polohy, tak dynamiku snímku 1(b) můžeme popsat pomocí obrázku 5. Výsledná síla je v tomto případě složena čistě ze síly  $\vec{F}_{g2}$ , což odpovídá našemu předchozímu závěru v části analýzy trajektorie těžiště pomocí obrázku 3, protože síla  $\vec{F}_{g2}$  má nenulové složky ve směru  $\vec{x}$  a  $-\vec{y}$ . Tuto sekvenci pohybů zakončíme podle snímku 1(c) zastavením našeho pádu levou nohou, čímž podepřeme těžiště dvěma body a máme zde tedy možnost zastavit i pohyb ve směru  $\vec{x}$ .

1(c) → 1(f)

Počínaje snímkem 1(d) začíná hrát roli síla tyče  $\vec{F}_r$ , kterou se odrazíme od povrchu, abychom mohli následně své těžiště vrátit do své původní výšky. Při přechodu ze snímku 1(d) na snímek 1(e) přesouváme silou  $\vec{F}_r$  těžiště nad levou nohu, což také odpovídá našemu předchozímu výsledku na obrázku 4. Z pozice 1(e) se na finální pozici 1(f) dostáváme čistou setrvačností, protože naše těžiště ještě musí stoupat, ale pravá noha se již nedotýká povrchu.

## Miskoncepce

Žáci i lidé obecně mají velmi často zkreslené představy o pohybu člověka ve vesmíru. Jak jsme ukázali v předchozí sekci, tak i prostá chůze v našich standardních podmínkách je až překvapivě složitá, takže se nemůžeme divit, že žáci mají problém si vytvořit fyzikálně správné představy o tom, jak by vypadala chůze například ve slabším než zemském tíhovém poli. Dalším negativním vlivem (z pohledu výuky fyziky), který v žácích vyvolává chybné představy o pohybu člověka ve vesmíru jsou populární sci-fi filmy a seriály. Podíváme-li se například na *Star Trek*, nebo *Star Wars*, tak můžeme pozorovat posádky vesmírných lodí, které se mohou ve svých plavidlech pohybovat stejně jako na Zemi, což neodpovídá realitě, stačí se podívat na libovolné video astronautů na ISS. Některé aspekty těchto představ o pohybu ve vesmíru mohou být částečně správné, ale

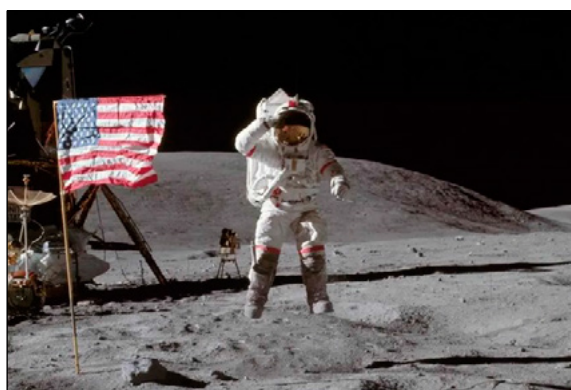
<sup>14</sup> Nezávisí ani na síle  $\vec{F}_r$ , kterou jsme v rozkladu sil na obrázku 5 neuvažovali. Tato síla působí ve stejném směru jako síla  $\vec{F}'_{g1}$ , takže svým nátlakem na podložku zvyšuje třecí sílu přesně tak, aby vykompenzovala „nárůst“  $\vec{F}'_{g1}$ .

žáci v nich opomíjejí určité důležité faktory, které pohyb ve vesmíru výrazně komplikují. A pokud žáci mají ve svých představách chybný, nebo spíše nedostatečně přesný model, tak jejich předpovědi budou také velmi pravděpodobně chybné, a můžeme tedy mluvit o určité miskoncepci žáků.

V této sekci se budeme zabývat zkreslenou představou žáků, že pohyb člověka na Měsíci je výrazně snazší než na Zemi, protože na něj působí nižší tíhová síla. Odstranění této konkrétní miskoncepce je relativně obtížné, protože v ní vystupuje nižší tíhové zrychlení, které není snadné ve školním prostředí přímo ilustrovat. Proto naší hlavní strategií bude řízená diskuse s žáky, pomocí které se pokusíme vytvořit kognitivní konflikt s jejich prekoncepty, čímž je ideálně přesvědčíme o tom, že je potřeba jejich myšlenkový model trochu rozšířit. Sekce 1 tohoto textu může sloužit jako určitý teoretický základ, na jehož závěrech, nebo myšlenkových postupech můžeme diskusi založit.

Následující analýzu miskoncepce cílíme převážně na úroveň žáků sekundy, tercie, nebo 7., resp. 8. ročníku základní školy. Tuto diskusi samozřejmě můžeme s lehkými úpravami provést i ve vyšších ročnících, ale v případě nižších ročníků narazíme na problém, že žáci ještě obecně nemají dostatečné znalosti fyzikálních konceptů, o které se v této analýze opíráme.

Žáci mohou mít představu, že jim tíhová síla během pohybu převážně „škodí“, protože se je snaží „držet při zemi“ na jednom místě, a když se chtějí začít pohybovat, tak „proti ní“ musí vynaložit určitou snahu. Zároveň moc dobře ví, že když například nesou na zádech těžký batoh, tak se i při prosté chůzi mohou relativně rychle unavit. Když tedy přebytečná hmotnost – vyšší tíhová síla, škodí našemu pohybu, tak při pohybu se sníženou hmotností – nižší tíhovou silou, bude náš pohyb určitě jednodušší. Jak ovšem snížit tíhovou sílu, která na nás během pohybu působí? Musíme snížit buď svou hmotnost, nebo tíhové zrychlení, které na nás působí. Naši hmotnost jen tak nesnížíme, ale pokud se chceme projít, tak při procházce na Měsíci na nás bude působit přibližně šestinové tíhové zrychlení než na Zemi. Žáci mohli dokonce dříve vidět videa z programu Apollo, ve kterých američtí astronauti ve skafandrech o hmotnosti okolo 80 kg poskakují na měsíčním povrchu z jedné nohy na druhou. Na Měsíci skutečně je možné vyskočit do velké výšky, viz obrázek 6.

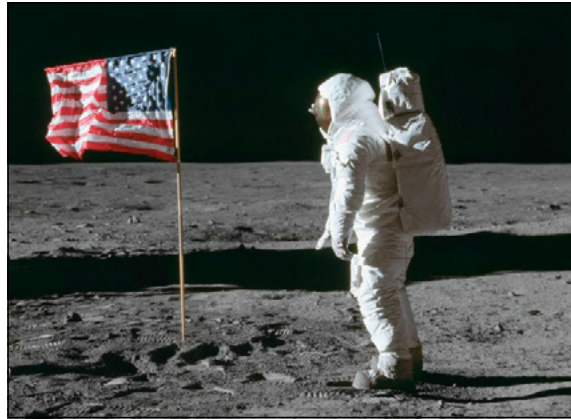


Obrázek 6. Svislý skok astronauta vzhůru na Měsíci [3].

Vidíme tedy, že je vcelku přirozené mít představu, že pohyb na Měsíci, nebo obecně v nízké gravitaci je snadný a do jisté míry i osvobozující. Kde je tedy problém?

## Zahájení a zastavení horizontálního pohybu

Představme si, že na sobě máme kosmický skafandr a stojíme na povrchu Měsíce. Tělo máme nakloněné lehce dopředu ve směru  $\vec{x}$ , protože máme na zádech batoh nesoucí systém podpory života, který je velice těžký – posunul nám tedy těžiště dozadu ve směru  $-\vec{x}$ , což musíme vykompenzovat nakloněním dopředu, abychom měli těžiště podepřené oběma nohama, viz obrázek 7.



Obrázek 7. Stabilní poloha astronauta na Měsíci [4].

Nyní se pokusíme udělat první krok, podle obrázku 4 přesuneme svou váhu na pravou nohu a následně se lehce nakloníme dopředu. Připomeňme si ovšem opět rozklad sil na obrázku 5, na tomto obrázku je vyobrazen přesně ten stav, ve kterém se teď nacházíme (snímek 1(b)). Jaká na nás působí výsledná síla? Výslednou silou je čistě síla  $\vec{F}_{g2}$ , její velikost je ovšem podle vztahu (2) závislá na velikosti tíhového zrychlení  $g$ , které na Měsíci nabývá přibližně šestinové hodnoty tíhového zrychlení na Zemi, takže i velikost síly  $\vec{F}_{g2}$  nabývá šestinové hodnoty síly, která by na nás působila na Zemi (kde bychom na sobě měli stejný kosmický skafandr). V čem je problém?

Na Měsíci na nás sice působí pouze šestinová tíhová síla než na Zemi, ale naše hmotnost se nijak nezměnila. Podle 2. Newtonova zákona je zrychlení tělesa přímo úměrné síle, která na něj působí, což znamená, že na Měsíci bude naše zrychlení ve směru  $\vec{x}$  také šestinové oproti případu na Zemi. Protože náš krok je stejně dlouhý na Zemi i na Měsíci, tak dokončení jednoho kroku na Měsíci je díky menšímu zrychlení ve směru  $\vec{x}$  výrazně pomalejší než na Zemi.

Kdybychom se chtěli pohybovat rychleji, tak bychom se podle vztahu (2) museli více naklonit, ale jak jsme dříve zjistili z podmínky (6), existuje určitý minimální úhel, který svírá naše noha a povrch bez prokluzování. Pokud se nakloníme ještě více (úhel bude menší než minimální úhel), tak nám začne noha klouzat po povrchu ve směru  $-\vec{x}$ , což velmi pravděpodobně způsobí náš pád.

Prozatím jsme se bavili o zahájení chůze, ale oba tyto problémy budou hrát roli i při našem pokusu o zastavení chůze, přičemž tato situace bude přibližně analogická. Ještě bychom měli zmínit to slavné „poskakování“ na Měsíci. Když na Měsíci skáčeme svisle vzhůru, tak je to skutečně snazší než na Zemi, protože stačí překonat pouze šestinovou přitažlivou sílu – vyskočíme tedy výše a udržíme se nad povrchem déle. Když se od měsíčního povrchu odrazíme pod úhlem menším než  $90^\circ$ , tak můžeme dosáhnout výrazně vyšších rychlostí ve směru  $\vec{x}$ , než při výše popsané chůzi – prakticky budeme běhat po měsíčním povrchu. Každým dalším odrazem udržujeme svou horizontální



rychlost, kterou budeme muset následně během zastavení redukovat na nulu. Zastavit můžeme pouze dvěma způsoby: nakloněním do směru  $-\vec{x}$  a skluzem po povrchu. Naklonění do směru  $-\vec{x}$  není na Měsíci moc efektivní, takže abychom zastavili svůj běh, tak musíme klouzat po povrchu, což může způsobit náš pád.

Pohyb člověka na Měsíci bychom tedy mohli popsat jako „nemotorný“. Hlavní příčinou této nemotornosti není přímo omezená mobilita způsobená skafandrem, ale samotnou fyzikou chůze jako takové.

## Průběh hodiny

- Položíme žákům otázku: Představte si, že na sobě máte kosmický skafandr. Kde byste v tomto skafandru mohli chodit rychleji, na Zemi, nebo na Měsíci?
- Na tabuli provedeme rozklad sil podle obrázku 5.
- S třídou diskutujeme velikost síly  $\vec{F}_{g2}$  pro daný úhel na Zemi a na Měsíci. Máme na Měsíci stejnou hmotnost jako na Zemi?
- Žákům demonstrujeme klouzání tužky po stole: Tužku postavíme na její „tupý“ konec a druhý konec si opřeme o prst. Následně začneme naši ruku pomalu posouvat směrem dolů tak, aby se tužka začala otáčet kolem jejího bodu dotyku se stolem. Poté, co tužka svírá se stolem určitý úhel, začne po něm klouzat a spadne na stůl – demonstrace existence vztahu (6).
- S třídou diskutujeme důsledky našich závěrů na pohyb člověka na Měsíci – viz podrobný popis výše.

## Literatura

[1] P. S. C. Matthews. *Learning Science: Some Insights from Cognitive Science*. V: *Science & Education* 9 (2000), str. 507–535.

[2] E. Muybridge. *The Human Figure in Motion*. 3. vyd. Londýn: Chapman & Hall Id., 1907. Dostupné online [28. 09. 2024].

[https://archive.org/details/Eadweard\\_Muybridge\\_-\\_The\\_Human\\_Figure\\_in\\_Motion](https://archive.org/details/Eadweard_Muybridge_-_The_Human_Figure_in_Motion)

[3] NASA. *John Young's Jumping Salute*. Dostupné online [28. 09. 2024].

<https://science.nasa.gov/resource/jumping-salute/>

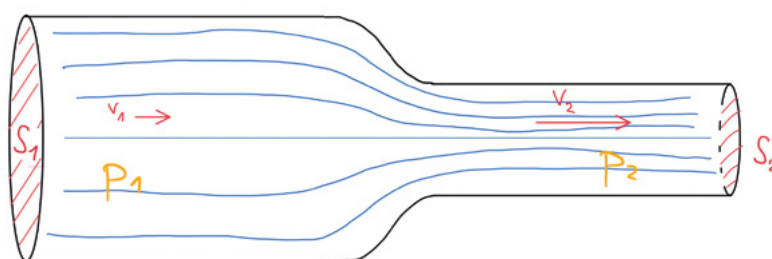
[4] NASA. *Buzz Aldrin Stands Beside the U.S. Flag on the Moon*. Dostupné online [28. 09. 2024].

<https://science.nasa.gov/image-detail/amf-as11-40-5875/>

## Hydrodynamický paradox

Na střední škole se žáci setkávají při probírání problematiky proudění tekutin zejména se dvěma vztahy – rovnicí kontinuity ( $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$ , kde  $S$  představuje průřez trubice,  $v$  je velikost rychlosti kapaliny, v tomto tvaru platí pro nestlačitelnou kapalinu) a Bernoulliovou rovnicí<sup>15</sup>. Odvozovat ani jednu rovnici nebudeme, odkážeme se však na učební text Leoše Dvořáka [1] či na Přehled středoškolské fyziky [2], kde je teorie podrobně vysvětlena.

Představme si vodorovnou trubici, kterou proudí kapalina a která má dva různé průřezy, jak vidíme na obrázku 1. Častá miskoncepce je, že tlak v tenčí části trubice bude větší, protože se jednotlivé proudnice „zhušťují“ a navíc je i rychlost kapaliny větší.



Obrázek 1. Miskoncepce:  $p_1 < p_2$ .

Tyto argumenty mohou v žácích vybudit právě takovou intuici, jenže tomu tak *není*. Právě naopak, tlak kapaliny v širší části trubice je větší! Proč tomu tak je a jak to žákům vysvětlit, je cílem tohoto textu.<sup>16</sup>

### Kognitivní konflikt

Strategie kognitivního konfliktu může zafungovat velice efektivně, pokud ukážeme experiment, který je v rozporu s chybnou žákovskou představou. Z hlediska kredibility by byla nejlepší opravdová realizace výše popsané situace, tedy nechat proudit vodu vodorovnou zužující se trubicí se dvěma manometrickými trubičkami, jednou v širší a druhou v užší části trubice – pak by stačilo naměřit, že je tlak v užší části trubice menší. V případě, že nemáme vhodné pomůcky, můžeme žákům ukázat alespoň video – např. část Rande s fyzikou věnovanou právě Bernoulliově rovnici [3].

### Analogie

Vysvětlit správnou nerovnost tlaků nám může pomoci i následující úvaha. Víme, že v tenčí části trubice voda zrychluje, musí na ní tedy působit nějaká síla. Tato síla je způsobená rozdílem tlaků.

<sup>15</sup> Bernoulliova rovnice se v středoškolských učebnicích standardně uvádí pro vodorovnou trubici, tedy ve tvaru  $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2$ , což platí pro stacionární proudění ideální kapaliny.

<sup>16</sup> Zároveň dodejme, že tento text byl napsán právě i kvůli tomu, že si autor dříve na střední škole tuto miskoncepci vytvořil, a až později na MFF pochopil, proč tomu tak není.

Můžeme použít analogii, že jednotlivé kapky jsou lidé na nádraží spěchající na vlak. Při přesunu z velké haly musí projít úzkou chodbou.

Víme, že zrychlují, aby to stihli všichni (plynule bez nehod a ušlapání- předpokládáme totiž laminární proudění). Můžeme si představit, že každý člověk cítí ve svých zádech, jak se ostatní na něj zezadu tlačí a tím jej potom nutí více spěchat. Tento nátlak davu spěchajícího z haly pak způsobuje právě to zrychlení v zúžení.

Tato analogie jistě není dokonalá. Například bychom mohli uvést problém s hustotou – a dav lidí je částečně stlačitelný- lidé se v užším koridoru opravdu víc na sebe mačkají. Zatímco vodu chápeme jako ideální kapalinu, tedy jako kapalinu nestlačitelnou. Přesto nám však tento příklad může ukázat, že dává smysl, aby tlak byl větší v širší části trubice než v části tenčí.

Je rozhodně rozumné s žáky diskutovat, reagovat na jejich dotazy a postupně odbourávat mylnou představu.

## Autoreflexivní učení žáka

Poslední strategie je nejnáročnější, na druhou stranu se žák může dobrat k pravděpodobně nejlepšímu porozumění hydrodynamického paradoxu. Cílem totiž je, aby si z Bernoulliovy rovnice vztah pro tlak odvodil sám, případně s naší asistencí.

Přijde mi rozumné matematické odvození dělat až po experimentu a prodiskutování, jak jsme si to popsali výše. Žák si je už nejspíš vědom správného výsledku, někomu však předchází úvahy mohou přijít příliš vágní a nekonkrétní. Já bych si ve třídě našel někoho, s kým bych „sehrál divadlo“, že mu to nestačí, že to přeci musí jít odvodit! Tím si „otevřeme vrátka“, a ostatní taková scénka může namotivovat se více soustředit. Pojdme tedy na to.

Výchozím předpokladem je, že pro průřezy trubice platí  $S_1 > S_2$ . Řekneme tedy žákům, aby pomocí rovnice kontinuity  $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$  rozhodli o znaménku nerovnosti mezi rychlostmi.

Poměrně snadno žáci vyjádří  $v_1 = \frac{S_2}{S_1} \cdot v_2$ .

Zeptejme se žáků, jakou hodnotu má zlomek  $\frac{S_2}{S_1}$ . Samozřejmě! Jmenovatel je větší než číselník, platí tedy  $\frac{S_2}{S_1} < 1$ . Která rychlost je pak větší, když, abychom dostali  $v_1$ , musíme  $v_2$  vlastně zmenšovat násobením číslem mezi nulou a jedničkou? Ihned vidíme, že opravdu  $v_1 < v_2$ . Dále necháme žáky, aby vyjádřili rozdíl tlaků  $p_1 - p_2$ . Stačí rozhodnout, jestli je výsledek záporné nebo kladné číslo.

Z Bernoulliovy rovnice žáci vyjádří tento rozdíl:

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2,$$
$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2,$$

a po vytknutí na pravé straně

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2).$$

Připomeneme, že nám jde pouze o znaménko obou závorek. Jedna polovina hustoty je kladné číslo, to nám znaménko nezmění. Zaměřme se tedy na výraz  $(v_2^2 - v_1^2)$ . Víme, že rychlost  $v_2 > v_1$ , a tedy  $v_2 - v_1 > 0$ .

Nyní bychom se mohli zeptat, jestli to bude platit i pro kvadráty rychlostí. Samozřejmě, že bude.<sup>17</sup>

Dostáváme se k závěru. Jelikož je výraz  $(v_2^2 - v_1^2)$  kladný, pak podle předchozí rovnice s tlaky je i výraz  $p_1 - p_2$  kladný, tedy  $p_1 - p_2 > 0$ . A po snadné úpravě konečně dostáváme

$$p_1 > p_2.$$

## Závěr

Výše popsaná a rozebraná miskoncepce je běžná. Pokusili jsme se navrhnout způsoby, jak žáky přivést ke správnému chápání problému, a to pomocí tří strategií. Věříme, že každému žákovi bude vyhovovat jiný způsob vysvětlení. Největším problémem nakonec může být, jak už se stává, nedostatek času v hodině. Pokud to však nebude problém, tak bych všechny postupy zmínil – možná to totiž bude užitečnější, než nutit žáky počítat příklady zaměřené jen na dosazení do vzorce a výpočet pomocí kalkulačky.

## Literatura

[1] Dvořák, Leoš. *Prozatímní učební text k předmětu Mechanika*, MFF UK Praha, str. 25-29 Dostupné online [6. 7. 2020]

[https://www.mff.cuni.cz/data//nodes/22571/Přednáška/Mechanika\\_11\\_HydrostatikaHydrodynamika\\_ver\\_01.pdf](https://www.mff.cuni.cz/data//nodes/22571/Přednáška/Mechanika_11_HydrostatikaHydrodynamika_ver_01.pdf)

[2] Svoboda, Emanuel a kol. (2014). *Přehled středoškolské fyziky*. Prometheus, str. 124-126

[3] Proudění kapalin a plynů. Dostupné online [6. 7. 2020]

<https://edu.ceskatelevize.cz/video/147-pokusy-proudeni-kapalin-a-plynu>

---

<sup>17</sup> Mohli bychom procvičit, že  $(v_2^2 - v_1^2) = (v_2 - v_1)(v_2 + v_1)$ . A protože  $v_2 + v_1$  je opět kladné číslo (obě rychlosti jsou kladné), tak je znaménko stejné. Otázka je, jestli to chceme ve výuce provádět – na jednu stranu je to zřetelná demonstrace užitečnosti „vzorečku“ z matematiky, na druhou stranu to může ty méně matematicky zdatné žáky odradit, protože teď se v tom mohou ztrácet.

## Hustota versus viskozita

Žákům se na první pohled může zdát, že olej je hustší než voda. Pramení to z praktické zkušenosti, kdy mohou v běžném životě pozorovat, že nalijí-li určité množství například oleje do pánve, trvá mnohem déle, než se olej rozlije po celé ploše pánve, než když použijí vodu. Snaží-li si člověk z poloprázdné láhve vylít ven olej, trvá to obvykle výrazně déle, než když bude ze stejné láhve vylévat stejné množství vody. V případě oleje můžeme často na vlastní oči pozorovat, jak pomalu teče ode dna láhve směrem k hrdlu, v případě vody se jedná o mžik, během kterého se voda z láhve vylije. Z toho mohou žáci vyvodit fyzikálně chybný poznatek, že olej má vyšší hustotu než voda, což lze pochopitelně snadno měřením vyvrátit.

Důvodem této miskoncepce bývá obvykle neznalost pojmu *viskozita*. Na úrovni základní a střední školy můžeme o viskozitě mluvit jako o veličině, která udává míru vnitřního tření v tekutině. Tekutiny s vyšší viskozitou tečou hůře a pomaleji než tekutiny s nižší viskozitou.

Pojem viskozita je možné stručně představit už při příležitosti probírání hustoty. Pro žáky pak nebude tolik překvapivé, že stejný objem oleje váží méně než stejný objem vody.

O tom, že se jedná o miskoncept, můžeme žáky přesvědčit několika způsoby nebo jejich kombinací.

### Kognitivní konflikt

Jednoduchý konflikt můžeme snadno vytvořit smícháním vody a oleje. Vidíme, že olej tvoří hladinu. Tento jev žáci také dobře znají z běžné zkušenosti – například „mastná oka“, která plovou ve vývaru. Můžeme se tedy žáků ptát, co pozorujeme v pokrmu, který obsahuje směs vody a nějaké tekutiny s vyšším obsahem tuku, ať už se jedná o olej či jiný tuk. Řadě žáků se možná vybaví právě „kolečka“ tuku na povrchu polévky či omáčky. Můžeme dále diskutovat o tom, o čem tento jev svědčí. Je možné, aby měl olej vyšší hustotu než voda a zároveň plaval na hladině? Neměl by v takovém případě spíše klesnout ke dnu, jak to vidíme u jiných látek s vyšší hustotou, například v případě kamínku? Na základě tohoto konfliktu si žáci uvědomí, že úvaha o vyšší hustotě oleje nemůže být správná.

### Autoreflexivní učení žáka

Žáci dostanou ve skupinách k dispozici vodu, olej, případně několik dalších tekutin o vyšší viskozitě než voda – například sprchový či jiný gel, sliz, med apod. Předem se pokusí odhadnout bez použití tabulek či měření, která z tekutin bude mít největší hustotu, pokusí se tekutiny seřadit podle odhadované hustoty od nejvyšší po nejnižší.

Dále přistoupí k fázi měření. Pomocí váhy a odměrného válce zjistí potřebné údaje k tomu, aby vypočítali hustotu tekutiny. Jednotlivé údaje zapisují do pracovního listu. Na závěr seřadí tekutiny

podle skutečné naměřené hustoty od nejvyšší po nejnižší. Písemně zhodnotí, nakolik byly jejich odhady správně.

Dále může třída diskutovat s vyučujícím, jaké byly vlastnosti zkoumaných tekutin. Čím se od sebe nejmíc lišily? Učitel zavede pojem viskozita. Viskozitu lze měřit například tím, necháme-li vytékat stejný objem tekutin nějakým úzkým otvorem (například trubičkou) a měříme čas. Tekutina s vyšší viskozitou bude vytékat déle než tekutina s viskozitou nižší. Žáci potom mohou dle výsledků měření seřadit tekutiny podle viskozity od nejvyšší po nejnižší.

## Analogie

Můžeme si představit hromadu kamení, kterou rozdělíme na dvě části. Jednu hromadu kamení necháme tak, jak je. V druhém případě jednotlivé kameny obrousíme do hladkých koulí. Je jasné, že obroušením hustotu kamene příliš nezměníme (předpokládejme, že je kamení víceméně homogenní).

Představme si situaci, kdy nabereme kamení do dvou pytlů tak, že oba pytle obsahují kamení o stejné hmotnosti, v jednom pytli je však kamení obroušené, v druhém neobroušené. Obsah jednotlivých pytlů vysypeme z malé výšky na rovný pevný povrch. Co se stane?

V rámci diskuze se žáky snadno dojdeme k tomu, že obsah pytle s neobroušenými kameny vytvoří určitou hromadu. Je možné, že některé kameny se od ostatních oddělí a odskočí dál od hromady. Očekáváme ale, že obsah pytle vytvoří hromadu, kolem které budou sem tam rozptýlené jednotlivé kameny. V případě kamenů obroušených do tvaru koulí naopak budeme očekávat, že se rozkutálejí do mnohem většího prostoru. Pravděpodobně neuvidíme hromady kamení, ale mnoho jednotlivých kamenných koulí rozestých na velkém prostoru, některé kameny mohou být i hodně daleko od místa dopadu. Kameny se navíc po pádu budou pohybovat (kutálet) od místa dopadu celkem rychle. V hodině by to bylo možné realizovat pomocí kovových kostiček a kuliček.

Jak bychom takový jev zdůvodnili? Zde se dostaneme k pojmu tření – je jasné, že hladké koule budou mít menší valivý odpor než hrubý kámen. V tomto případě samozřejmě valivý odpor a působení třecích sil není jediný důvod, proč se obroušené kameny rozptýlí na větší ploše a rychleji – je to dáno i jejich tvarem, jedná se o koule. I přesto se domnívám, že může tato analogie pomoci žákům pochopit, co se děje s molekulami v tekutině o vyšší viskozitě, například v oleji či gelu.

## Závěr

Přestože žáci obvykle z běžného života vědí, že na povrchu polévky plavou „kolečka“ oleje, může být pro ně představa, že olej má nižší hustotu než voda, těžko uvěřitelná. Tento fakt mohou nicméně ověřit pokusem a hustotu oleje i vody (či jiných tekutin) jednoduše změřit. Tím se pocvičí i ve výpočtu hustoty případně v používání vah, odměrných válců, převodů jednotek aj. Chceme-li, aby žáci nejen přijali tento fakt, ale uměli i vysvětlit, v čem spočívá rozdíl vlastností oleje a vody, můžeme použít analogii s hromadou obroušeného a neobroušeného kamení. Tím vybudujeme představu o viskozitě jako veličině, která bude pro žáky dobře pochopitelná a zapamatovatelná.

# Zvuk je ve vodě pomalejší než ve vzduchu

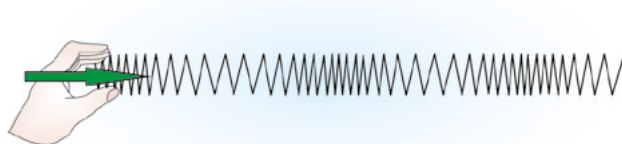
Z vlastní zkušenosti všichni víme, že pohyb ve vodě je pro nás mnohem obtížnější než ve vzduchu. Obecně známý je také fakt, že rychlost světla ve vodě je menší než ve vzduchu. *Voda tedy pohybu brání a všechno brzdí, to znamená, že i zvuk se ve vodě bude pohybovat pomaleji než ve vzduchu. Nebo ne?*

## Analogie

Nejprve si připomeneme, jak je to s uspořádáním atomů v plynech, kapalinách a pevných látkách. Molekuly v plynech jsou nejdále od sebe, v pevných látkách jsou sobě nejbližší.

### Zvuková vlna pomocí pružiny

Připomeneme také, že zvuk je mechanické vlnění prostředí. Můžeme si tedy průchod zvuku látkou představit tak, že se atomy či molekuly prostředí zhušťují a zředňují, čímž nesou zvukovou vlnu. Zde může být užitečné ukázat si postup vlny na pružině, protože je analogický postupu zvukové vlny prostředím, jak vidíme na Obrázku 1. Můžeme také použít více pružin s různou tuhostí, a tím už nadhodit problematiku různých rychlostí. [1]



Obrázek 1. Ilustrace postupu zvukové vlny na pružině.

### Analogie s dominovými kostkami

Potom se posuneme k průchodu zvuku látkou. Jako analogie pro atomy v látce nám poslouží destičky domina. Necháme žáky postavit několik dominových drah, přičemž vzdálenost dominových destiček v jednotlivých drahách bude různá. Můžeme například žáky rozdělit do skupinek, v každé skupince postaví tři stejně dlouhé dráhy ze stejných dominových destiček, avšak vzdálenost mezi kostkami v jednotlivých drahách se bude lišit, v rámci jedné dráhy bude vzdálenost kostek stejná (můžeme dokonce stanovit, jak má být dráha dlouhá, a potom dominové destičky stavět do vzdáleností odměřených pravítkem, abychom mohli porovnávat získané výsledky mezi jednotlivými skupinami).

Můžeme se žáků zeptat, jak si myslí, že experiment dopadne. Nakonec experiment provedeme, budeme měřit čas, ve kterém dominová dráha spadne. Dojdeme k závěru, že rychleji bude pád postupovat v drahách, které mají destičky blíž u sebe.

Připomeneme, že v této analogii destičky blíže u sebe odpovídají pevným látkám, nejdále plyným, kapaliny budou někde mezi tím (nelze přesně stanovit, kde je hranice, co pro nás představuje kapalinu a co plyn, jedná se jen o přiblížení a uvědomění si závislosti rychlosti na vzdálenosti destiček/atomů). Následně se žáků zeptáme, co si myslí, že to znamená pro průchod zvuku vzduchem a vodou, a vysvětlíme si případné nejasnosti.

## Kognitivní konflikt

Pokud bychom si představovali zvuk jako něco, co se musí „prodrat“ prostředím, a je tedy prostředím (v naší miskonceptci vodou) zpomalován, znamenalo by to, že se zvuk ještě hůře pohybuje skrz pevné látky.

Můžeme žáky postavit před hypotetickou situaci znázorněnou na Obrázku 2. Jsem na výletě a potřebuji přejít přes most, na kterém jsou koleje. [2]



Obrázek 2. Přiblížení hypotetické situace s přechodem přes most. [3]

Vlak sice neslyším, ale to neznamená, že není někde blízko. *Co bych měl udělat, abych s co největší jistotou věděl, že je bezpečné most přejít?*

Odpovědí je pro některé žáky jistě známý fakt, že pokud položím ucho na kolej, uslyším vlak dříve, protože zvuk v oceli (pevné látce) má větší rychlost než ve vzduchu. (Můžeme se zde také dotknout faktu, že zvuková vlna v kolejích ztrácí pomaleji svou intenzitu, protože se tolik „nerozláhá“ do všech směrů, to už ale není součástí probírané miskonceptce). Pro představu rychlost zvuku v oceli je asi 5700 m/s [4], což je přibližně 17x více než ve vzduchu.



(U tohoto ještě raději znovu připomeneme, že pohyb v blízkosti kolejí je rizikový, a když chci v dnešní době vědět, kdy kudy jezdí jaké vlaky, budu se od kolejí držet dál a podívám se na jízdní řád na telefonu.)

To by mohlo žáky dovést k uvědomění, že zvuk se v prostředí šíří úplně jinak než hmotné objekty, a tedy nemůžeme naše odhady rychlosti zvuku v různých prostředích stavět na tom, co známe z mechaniky. Jestli se zvuk v pevných látkách šíří rychleji než ve vzduchu, nebude rychlejší také ve vodě?

## Autoreflexivní učení

Můžeme se pokusit žáky navést k tomu, aby si na odpověď přišli sami.

Začneme otázkou: Co je to zvuk? Jak si představujete průchod zvuku prostředím?

A následně pokračujeme otázkami: Jak jsou uspořádány atomy ve vzduchu? A jak to vypadá ve vodě? V čem jsou hlavní rozdíly v uspořádání atomů a molekul? Jak si představujete průchod zvuku vzduchem a vodou? Dokázali byste to k něčemu přirovnat? (Zde můžeme také použít představu dominových kostek.)

Tímto bychom se snažili dovést žáky k tomu, že přenos zvuku v prostředí, kde jsou atomy blíž k sobě (voda) bude rychlejší, než když jsou od sebe dál (vzduch).

Poznamenejme ještě, že analogie dominových kostek je sice názorná pro naši konkrétní situaci, za to však může vést k mylné představě, že rychlost zvuku v plynu roste s tlakem. Je dobré, aby si učitel byl tohoto vědom, a případně to žákům zmínil.

## Závěr

Ačkoli se jistě nejedná o jednu z nejrozšířenějších miskonceptí, správná představa o zvuku a jeho vlastnostech patří mezi věci, které je dobré znát, protože se s tím setkáváme každý den.

Myslím si, že věnovat pár chvil této miskoncepti se jistě vyplatí, protože může být poměrně jednoduché v žácích vyvolat správnou (nebo správnější) představu o tom, jak funguje průchod zvuku prostředím.

## Literatura

[1] Impey, Chris. *Is there any sound in space? An astronomer explains*. Astronomy. Dostupné online [22. 2. 2024]

<https://www.astronomy.com/science/is-there-any-sound-in-space-an-astronomer-explains/>

[2] Higgsino physics. *Physics of Sound Propagation*. Dostupné online [22. 2. 2024]

<https://www.youtube.com/watch?v=w6Q15GZpSUY>

[3] Obrázek pixabay.com, Tama66. Dostupné online [11. 12. 2024]

<https://pixabay.com/cs/photos/%C5%BEEleznice-kolejnice-dr%C3%A1ha-vlak-2439189/>

[4] Evident. *Rychlost zvuku v materiálu*. Dostupné online [22. 2. 2022]

<https://www.olympus-ims.com/cs/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/>

# 4 Teplo a teplota

<b>Kožich „hřeje“</b> – Tomáš Kopřiva .....	<b>74</b>
<b>Teplotní roztažnost</b> – Jaroslav Kafka .....	<b>76</b>
<b>Vývoj teploty při ohřívání látky a změně skupenství</b> – Michaela Arnoštová.....	<b>79</b>

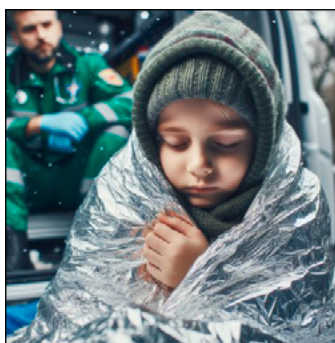
## Kožich „hřeje“

Jako typickou miskoncepci z termiky jsem si vybral nesoulad ve vnímání každodenní reality. Proč je mi teplo, když se obléknu do kožešiny? Roztaje kostka ledu při pokojové teplotě pod kožešinou dříve než bez ní? Otázky se týkají pochopení pojmů tepelná vodivost, tepelný izolant a tepelný vodič. Každý žák přece ví, že pokud si navlékne kožich, „zahřeje ho“ a je mu teplo. Zdá se tedy být jasné, že pokud dá kostku ledu pod kožich, ta zákonitě musí roztát dříve („je jí více teplo“). Tak to ale není. V kožešině je mi teplo, protože teplota mého těla je vyšší než teplota okolí a vyhřeji si vrstvičku vzduchu pod kožešinou. Ta je dobrým izolantem a brání odvodu tepla do okolí. A odpověď na druhou otázku by měla být zcela opačná. Dříve roztaje kostka ledu, kterou necháme volně ležet, než kostka zabalená do kožichu. Led ochladí okolní vzduch pod kožešinou, a protože je kožich dobrý tepelný izolant, brání přenosu tepla zvenčí pod kožich.

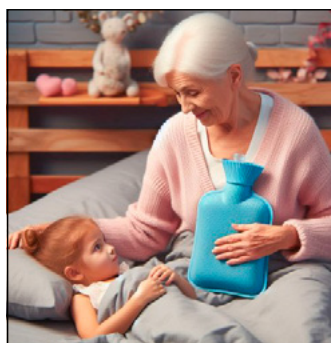
### Diskuze analogií

Zde by se hodila diskuze. Vhodnými otázkami bych žáky dovedl k tomu, že jejich vlastní životní zkušenost není chybná, ale jen si ji špatně vykládali.

- Proč záchranáři dávají na lidi, aby neprochladli, tenkou fólii (obr. 1) a ne velký norkový kožich? Jak taková záchranářská fólie funguje?
- Proč nám babičky dávají pod peřinu ohřívací láhev (termofor) (obr. 2)?



Obrázek 1. Záchrana zraněného



Obrázek 2. Termoforová láhev.

### Poznatkový konflikt

Je velmi pravděpodobné, že diskuze některé žáky nepřesvědčí o tom, že kožich nehřeje. V tomto případě bych zařadil experiment. Nejlepší způsob, jak si něco přerovnat v hlavě, je si to sám vyzkoušet.

- Dvě naprosto stejné kostky ledu necháme v místnosti, první volně položenou na vzduchu a druhou zabalíme do kožichu. Položme třídě otázku. Která kostka roztaje dříve a proč? Následně to pojdme zkusit.

## Autoreflexivní aktivní učení žáka

Pokud bychom chtěli žáky nejen přesvědčit, že nehřeje kožich, ale jen dobře izoluje, a chtěli bychom je například naučit i „vědecky“ pracovat, shromažďovat data a vyhodnocovat je, tak bychom jim mohli zadat následující úkol. Vytvořit se k němu dá případně i krátký pracovní list. Žáci by tak sami mohli dojít k správnému závěru.

- Pomocí teploměru<sup>18</sup> proveďte, co zapříčiňuje, že nás díky rukavicím nezebou v zimě ruce.
  1. Jaká je teplota v místnosti?
  2. Jaká je teplota uvnitř rukavice?
  3. Jaká je nejvyšší teplota na vaší dlani?
  4. Nyní strčte ruku do rukavice. Změřte opět teplotu uvnitř rukavice. Zvýšila se teplota uvnitř rukavice? Proč?

## Diskuze

Myslím si, že tato miskoncepce je lehce odstranitelná, ale na druhou stranu si myslím, že mnoho lidí tuto mylnou představu o „hřejícím“ kožichu má po celý svůj život. Provedl jsem malý „průzkum“ na několika osobách. Na otázku „jestli roztaje kostka ledu pod kožešinou dřívě, nežli bez ní“ opověděli většinou mylně. Při vysvětlování pojmu miskoncepce hned naskočil, jedné z nich, další příklad: „Slyšela jsem, že pokud šlápnu v koupelně na dlaždičky anebo na podložku, tak se jedná jen o můj pocit, že ve skutečnosti mají obě věci stejnou teplotu.“ Hned mi bylo jasné, že se u ní někdo snažil, avšak ne příliš povedeně, napravit její představu o světě. Můj pocit z jejích slov byl totiž spíše takový, že přijala tuto informaci jako fakt, ale že její zkušenost je jiná a tou se raději řídí. Dle mého přesvědčení není násilné odstraňování miskoncepce správný směr, kterým by se měl učitel uchýlovat. Kde bychom byli dnes, kdyby si nechali velcí novátoři jako A. Einstein, M. Faraday, J. C. Maxwell, G. Galilei, M. Koperník, Aristoteles a jiní pokřivit svůj pohled na svět. To, co můžeme nalézt v hlavách dnešních žáků jako prvotní koncepty, se občas podobá fyzikálním konceptům v historii fyziky. Mnozí by se velice divili, jak vypadaly původní teorie velkých fyziků. Z tohoto důvodu bychom se neměli těmto představám smát nebo je odvrhovat jako rušivé. Často jde o vlastní výtvořky žáků a ty jsou jejich cenným duševním vlastnictvím. Nelze je jen tak odhodit jenom proto, že přijde učitel a řekne: „To všechno je nesmysl. Správné je jenom to, co já řeknu a co je napsáno v knize.“

## Závěr

Ani učebnice, ani učitel, ale sama příroda nebo experiment musí přinést zlom v názoru a žáci sami musejí při mnoha příležitostech zakusit, že fyzikální koncept je úspěšnější, že především umožňuje kvantitativní předpovědi pro mnoho důležitých věcí z reálného života. Pak budou žáci ochotni změnit svůj prvotní pohled na svět a transformovat jej ve fyzikální koncepty.

---

<sup>18</sup> Díky rychlosti měření, možnosti zachování dat a grafického znázornění a možná i zábavnosti bych doporučil teplotní čidlo (Vernier, Pasco, ...), ale stačil by i digitální či kapalinový teploměr.

## Teplotní roztažnost

S miskoncepcí, kterou se zde budu zabývat, jsem se setkal a sám se s ní potýkal jak na základní, tak na střední škole, a její úplné odstranění u mě proběhlo až při studiu na vysoké škole. Ať už z vlastních zkušeností (např. svařování), z popkultury (např. scéna z filmu *Gyml* [1]) nebo i ze školních měření, demonstračních experimentů a z úhledných vzorců pro objemovou, příp. délkovou teplotní roztažnost, většina lidí ví, že když zahřejeme nějakou látku (beze změny skupenství), tak zvětší svůj objem<sup>19</sup>. Ačkoliv je to ve většině případů pravda, stojí za to zdůraznit, že se tak neděje vždy, a rozebrat alespoň nějaké případy a materiály, kdy tomu tak není.

### Kognitivní konflikt

Začal bych s opakováním z minulých hodin a následně bych položil otázku pro celou třídu: „Co se stane s předmětem, když jej začnu zahřívat?“ Případně bych položil návodnou otázku: „Co se stane s rozměry předmětu, když jej začnu zahřívat?“ Zde už bych čekal typickou odpověď: „zvětší se“. Poté bych dal hlasovat, jestli je tomu tak vždy, a nechal bych jednoho žáka zdůvodnit, proč si myslí, že ano, a jednoho žáka, proč si myslí, že ne, případně aby uvedl situace nebo materiály, u kterých to neplatí.

Následně bych využil demonstrační experiment [2], s jehož sestavením by mohli pomoci dobrovolníci z řad žáků. Konkrétně bych ukázal teplotní roztažnost kovů, u kterých se rozměry při zahřívání zvětší (viz obr. 1 a obr. 2), a pokus se zahříváním gumy [3], která se při zahřátí smrští.

Již bez experimentu bych zde rozebral známější anomálii vody. O té se mluví hlavně v souvislosti s hustotou a bystřejším žákům by to mohlo dojít. Stejně bych ji však zmínil znovu, tentokrát se zaměřením na objem, tj. při zahřívání z 0 °C na 4 °C se objem vody zmenšuje (a hustota roste).

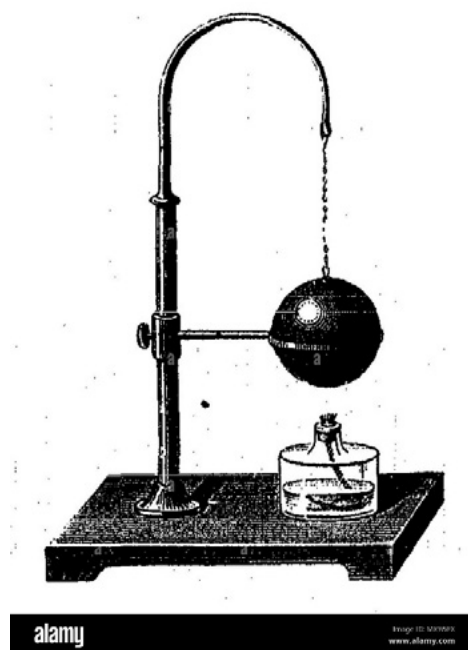
Závěrem bych pak řekl, že smršťování při zahřívání se někdy označuje jako negativní teplotní roztažnost, součinitel teplotní roztažnosti je v tomto případě záporný a úplné vysvětlení tohoto jevu je nad úroveň střední školy. Rovněž bych uvedl další materiály, které mají tuto vlastnost, např.: wolfram zirkoničitý ( $ZrW_2O_8$ , v teplotním intervalu -273 °C až 777 °C) a uhlíková vlákna (v teplotním intervalu 0 °C až 250 °C).

---

<sup>19</sup> Zde by se slušelo zmínit izochorické zahřívání u ideálního plynu. Nadále se však budu věnovat především kapalinám a pevným látkám.



Obrázek 1. Pokus na délkovou roztažnost kovů [4]



Obrázek 2. Pokus na objemovou roztažnost kovů [5]

## Analogie

Při hledání analogií bych se soustředil hlavně na gumu (pryž) a na vysvětlení příčiny tohoto chování, jelikož to lze vysvětlit středoškolsky, a zároveň je zde dobré propojení s chemií. Guma neboli pryž je vulkanizovaný kaučuk. Kaučuky jsou pružné látky, získané buď přirozeně ze stromu kaučukovníku, nebo synteticky z ropy [6]. Vulkanizace kaučuku je příkladem procesu zvaného síťování polymerů, při kterém dochází k vytvoření příčných chemických vazeb mezi makromolekulami tohoto polymeru [7]. Podrobnější informace o této problematice lze nalézt například zde [8].

Guma má polymerní strukturu a při jejím zatížení dojde k natažení makromolekul daného polymeru, čímž se změní jejich síťování. Zahřátím gummy pak dochází k dodání energie těmto makromolekulám, což vede k jejich zkrácení. Jako jistou analogii bych uvedl chování pružin. Zavěšením závaží na pružinu dojde k jejímu prodloužení. Dodání energie zahříváním gummy bych pak přirovnal k vykonání práce při nadzdvihnutí závaží rukou, kdy dojde k opětovnému zkrácení pružiny.

## Autoreflexivní učení žáka

Pro úplné odstranění této miskoncepce bych poté navrhnul laboratorní práci, jejímž cílem by bylo experimentální určení teplotního součinitele délkové roztažnosti pro gumu. Nešlo by zde ani tak o přesnost měření, důležitý by byl závěr, že pro gumu vychází tato materiálová konstanta záporná. Vše je tedy v pořádku i z matematického hlediska. Někdo by mohl namítnout, že v tabulkách je uvedena kladná hodnota. To ale platí pro tvrdou gumu, která se používá v technické praxi např. jako podlahová krytina.

## Diskuze a závěr

Tato miskoncepce dle mého názoru nemusí být tak těžce zakořeněna v žácích jako některé jiné, přesto bych jí alespoň jednu hodinu výuky a jednu laboratorní práci věnoval. Pro detailnější porozumění molekulární struktury gumy bych pak žáky odkázal do hodin chemie.

Položil jsem otázky uvedené na začátku části *Kognitivní konflikt* spolubydlícímu, který v současnosti studuje v prvním ročníku na obecné fyzice. Potvrdilo se mi, že i pro nadšence do fyziky může být myšlenka, že se při zahřívání některé látky smršťují, překvapivá.

Závěrem bych dodal, že osobně považuji výše uvedenou laboratorní práci pro žáky za nejdůležitější a zároveň nejnáročnější část. Pokud by někdo do té doby nebyl přesvědčen o existenci tohoto jevu a trval na tom, že „to přeci není možné“, jeho vlastní naměřené výsledky by ho měly přesvědčit.

## Literatura

[1] Von se ten most roztáh vo 17 metrů? | GYMPL. Dostupné online [21. 10. 2023]

<https://www.youtube.com/watch?v=CX1MwNEpYZc>

[2] Relazione dell'esperienza fatta in laboratorio di fisica. Dostupné online [21. 10. 2023]

<https://modabiennio.files.wordpress.com/2015/04/relazione-fisica-zaira-e-valentina-ok.pdf>

[3] Zkrácení gumy při jejím zahřátí. Dostupné online [21. 10. 2023]

<https://www.youtube.com/watch?v=ASa6iciNwAO>

[4] Dilatometr pro měření lineární tepelné roztažnosti. Dostupné online [30. 11. 2024]

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplotní\\_roztažnost#/media/Soubor:Dilatómetro-2007.JPG](https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplotní_roztažnost#/media/Soubor:Dilatómetro-2007.JPG)

[5] Gravesande's ring and ball experiment. Dostupné online [21. 10. 2023]

<https://www.alamy.com/english-diagram-of-a-gravesande-ring-an-experiment-demonstrating-thermal-expansion-which-is-used-in-physics-education-it-consists-of-a-small-metal-ball-suspended-from-a-stand-by-a-chain-below-it-is-a-metal-ring-the-ring-is-just-big-enough-so-when-the-ball-and-ring-are-at-the-same-temperature-the-ball-can-just-fit-through-the-ring-however-when-the-ball-is-heated-by-a-spirit-lamp-as-shown-here-the-metal-expands-and-its-diameter-increases-so-it-can-no-longer-fit-through-the-ring-franais-schma-dun-anneau-de-s-gravesande-p3-2o-lexprience-suivante-connue-sous-le-nom-d-image188302350.html>

[6] Pryže. Dostupné online [21. 10. 2023] <http://www.gumex.cz/slovník-pojmu/pryze-69>

[7] Síťování polymerů. Dostupné online [21. 10. 2023] <http://www.strojirenstviprofi.cz/33/sitovani-polymeru-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1Gx2yXof142BCg/>

[8] Běhálek, Luboš. (2016) *Polymery*. CodeCreator, s.r.o. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné online [21. 10. 2023] <http://publi.cz/books/180/22.html>



# Vývoj teploty při ohřívání látky a změně skupenství

Když jsem se sama poprvé setkala s pojmem *skupenské teplo*, byl to pro mne jen název písmenek ve vzorci, kterému jsem vůbec nerozuměla. Shodou okolností jsem se jej v tercii naučila použít do testu a myslím, že i tam to nebylo dokonalé. Propojení s praxí bylo nulové.

Druhé setkání už bylo úspěšnější. Vzorečkům jsem porozuměla, spojila jsem si je s grafem vývoje teploty – tepelná kapacita a skupenské teplo už nabraly jasnějších obrysů. U spousty mých spolužáků tomu tak ale nebylo. Největší kámen úrazu byl v reálných situacích: „Když budeme mít nádobu s kilogramem vody a druhou nádobu s kilogramem ledu o teplotě 0 °C a budeme je ohřívát stejně po stejnou dobu, jakou teplotu budou mít vůči sobě?“

Velmi častá odpověď byla, že skončíme se stejnou teplotou. I později, při vlastní praxi jsem se setkala s tím, že žáci při výpočtech se skupenským teplem pracují, ale neuvažují ho v reálných situacích. Ve výpočtech většinu žáků zachraňuje „kuchařka“ na řešení úloh tohoto typu, která už ale nepomůže při běžné situaci.

## Kognitivní konflikt

Začala bych podobnou otázkou, jakou jsem zmínila v úvodu. „Když mám stejné množství ledu a vody o teplotě 0 °C a budu je stejně ohřívát po stejnou dobu, s jakou teplotou skončím v moment, kdy všechen led roztaje?“

Tedy, naformulovala bych ji konkrétněji. Přinesla bych do třídy termosku s ledem a vodou v termodynamické rovnováze a v moment, kdy by na úlohu došlo, bych led zvážila a pracovala s konkrétním množstvím, které mám. Žáky bych nechala pomocí hlasovátek (či jiného zavedeného způsobu) vybrat odpověď z možností<sup>20</sup>: teplota bude v obou kádinkách stejná / větší v kádince s vodou / větší v kádince s ledem. Na ohřev bych použila nejspíše stejné lihové kahany nebo plynové hořáky, podle vybavení školy. Přinejhorším bych vzala dostatečně malé množství ledu a vody a nechala je ohřívát při pokojové teplotě. Do obou kádinek bych umístila teploměry a mohli bychom se třídou pozorovat, jak se teplota v kádinkách s ledem a vodou vyvíjí.

Velmi pravděpodobně by si někteří žáci vzpomněli na vzorce, případně si začali navzájem vysvětlovat, proč je v kádince s ledem nižší teplota. Pokud by k tomu nedošlo spontánně, nechala bych třídu pokus ve skupinkách diskutovat.

<sup>20</sup> Bude relativně těžké zajistit to, že budou obě látky ohřívány stejně, resp. že přijmou stejné teplo. Přesnější experiment by se mohl realizovat v kalorimetru a místo ohřívání by se dosahovalo termodynamické rovnováhy třeba s určitým množstvím horké vody.

## Analogie – jednoduchý model látky

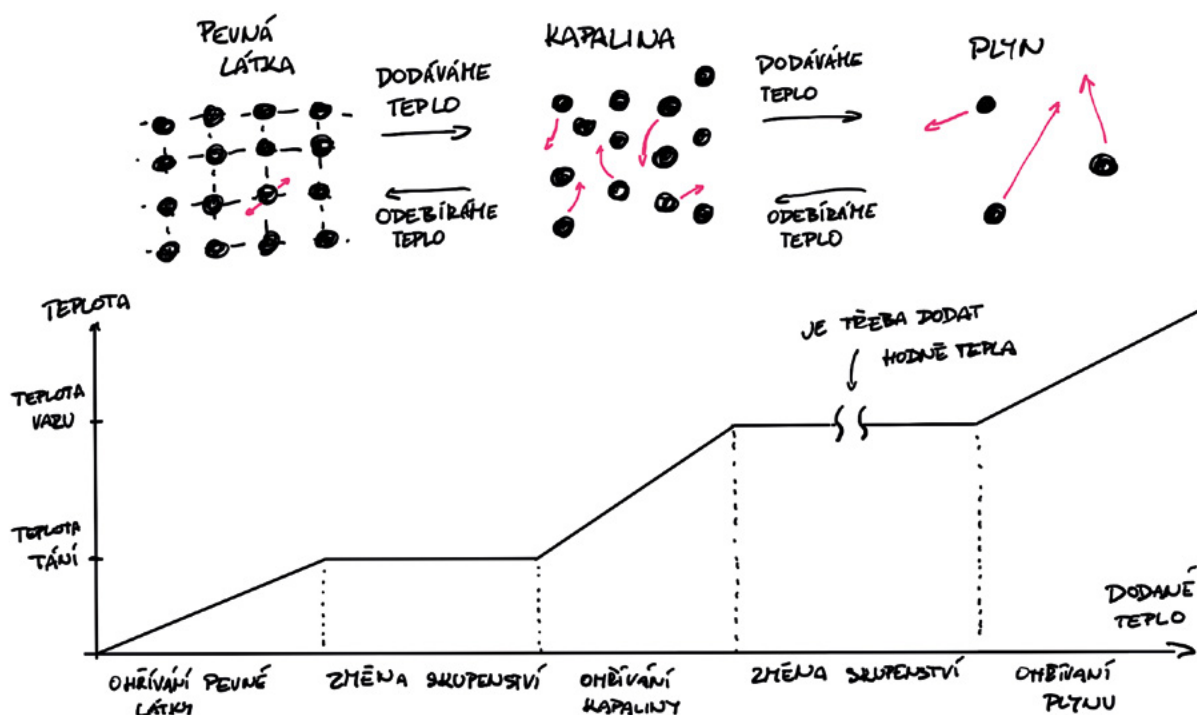
Pokud jsem neprobrala jednoduchý model látky v jednotlivých skupenstvích dříve, udělala bych to teď. V opačném případě je na čase připomenutí. Na tabuli bych vytvořila tři části a do nich dokreslila zjednodušené pohledy na jednotlivá skupenství „zblízka“ – molekuly bych kreslila jako kuličky (na tabuli spíše kolečka). V pevné látce jsou kuličky na svých místech (pro zjednodušení sedí v krystalické mřížce), v kapalině zmizí mřížka a kuličky mají drobné rozestupy, aby po sobě mohly klouzat, v plynu jsou pak rozestupy veliké a kuličky se volně pohybují všemi směry (na obrázku to tedy vypadá, že jich je méně).

Zeptala bych se žáků, jak se mezi skupenstvími můžu pohybovat. Co je potřeba změnit, aby se z pevné látky stala kapalina, z kapaliny plyn, případně z plynu kapalina a z kapaliny pevná látka. Žáci vědí, že led roztaje, když ho zahříváme, ale jeho teplota zůstává po dobu tání stejná, stejně tak, že voda se při zahřívání začne vařit a pak se zcela určitě mění na vodní páru. Pokud zahřívám látku, která zrovna skupenství nemění, pozoruji, že její teplota roste. V případě změn skupenství se nám ale teplo kamsi „ztrácí“ – a se žáky je třeba probrat kam.

Vrátíme se k modelu jednotlivých skupenství, který jsme probrali dříve, a zaměříme se na to, jak se mění struktura látky. Zde je možno navázat analogií, kterou si (pokud je v hodině dost času) mohou žáci vyzkoušet. Většina žáků utvoří tuhou mřížku tím, že se navzájem drží za ruce. Ti, kteří mřížku netvoří, pak soustavu „ohřívají“, tedy se pokusí vazby přerušit. Žáci mohou pozorovat, že bylo vynaloženo hodně energie, ale soustava se neohřála, protože všichni žáci stojí na místě – místo toho se změnila struktura látky. Když jsou vazby přerušeny, „ohříváči“ začnou spolužáky rozpohybovat – teď je již jejich vynaložená energie „vidět“ v rostoucí teplotě.

Vyřešíme tedy směr od pevné látky přes kapalinu po plyn. Dojdeme k tomu, že je potřeba zahřívát, tedy dodávat teplo. Opačným směrem musíme teplo odebírat – v mrazáku vodu chladíme, odebíráme teplo a kapalná voda změní skupenství na led.

Seznámili jsme se s žáky se skupenským teplem – je potřeba dodat teplo, aby se změnilo skupenství. Velmi ráda bych k celému cvičení přidala ještě graf závislosti teploty na dodaném teple (viz obrázek 1). Zmínila bych, že graf odpovídá obrázku nad ním, je pouze kvalitativní a nemusí proto odpovídat strmost grafu při ohřívání. V případě potřeby lze pod graf doplnit odpovídající vzorce.



Obrázek 1: Propojení změn skupenství s grafem vývoje teploty látky při dodávání tepla

## Autoreflexivní učení žáka

Další hodinu bych využila na laboratorní práci, kde žáci proměří vývoj teploty při změně skupenství látky. Při použití normálního teploměru si žáci budou tvořit tabulku a data pak ideálně zpracují v excelu (lze i ručně, ale pokud mají žáci problém s měřítkem, mohlo by vzniknout nechtěné zkreslení). Zajímavé je použití teploměru od firmy Vernier s příslušným programem, který graf kreslí v reálném čase, což je pro žáky zajímavé. Pokusy tohoto typu jsou zpracovány v Kuchařce [1], [2].

Práci bych rozdělila na dvě části. V první by žáci dostali led (vhodná je ledová drť a upozornění žáků na potřebu směs míchat) a při pokojové teplotě proměřovali, jak se mění teplota směsi, když led taje a poté, co všechno led roztaje. Na druhou část práce je potřeba led, později směs ledu a vody, ohřívat. V praxi se nám s kolegou osvědčila indukční deska (při použití teploměrů od Vernieru). Při měření klasickými teploměry je potřeba dát pozor na jejich rozsah.

Cílem první části práce je jednak, aby bylo možné zkontrolovat, že žáci měří a odečítají teplotu správně, snaží se směs udržet co nejvíce homogenní (promícháváním) a všímají si, že se teplota opravdu nemění, dokud led neroztaje. Ve druhé části pak žáci vytvoří graf změny teploty při změnách skupenství, v ideálním případě od ohřívání pevné látky po změnu skupenství při varu.

Po této laboratorní práci, kdy si žáci „zažijí“ jak vypadá vývoj teploty při skupenské změně, by mohli s pojmem skupenské teplo začít pracovat s pochopením i v praktičtějších úlohách.

## Závěr

Tento problém souvisí s miskoncepcí, že “každé dodání tepla se musí projevit vzrůstem teploty látky, a to i během skupenské přeměny”. Žáci spíše, než že by si byli “jistí” touto miskoncepcí, na jev zapomínají v praxi, neb jim ani po probrání příliš neříká. Pomocí těchto strategií jsem se pokusila navrhnout postup, jak u žáků vybudovat zkušenosti se skupenským teplem a zařadit jej mezi „zažité“ části fyziky.

## Literatura

[1] *Tání krystalické látky*. Dostupné online [31. 10. 2024]

<https://www.vernier.cz/stahnout/kucharka/kod/tani-krystalicke-latky-GA>

[2] *Vývoj teploty při vaření vody*. Dostupné online [31. 10. 2024]

<https://www.vernier.cz/stahnout/kucharka/kod/vyvoj-teploty-pri-vareni-vody-GA>

# 5 Elektřina

<b>Žárovka „požírá“ elektrický proud</b> – Kateřina Tetalová.....	<b>84</b>
<b>Úbytek napětí při paralelním zapojení</b> – Roman Dědic.....	<b>87</b>
<b>Elektrický potenciál je nebezpečný</b> – František Zajíc.....	<b>90</b>

## Žárovka „pořır“ elektrick proud

Jako typickou miskoncepci, kterou na následujících stranách popřu, rozeberu a také navrhnu její odstranění, jsem si zvolila miskoncepci týkající se elektrického proudu v obvodech. Mnoho říká (a mořn nejen říká) totiř žije s představou, že řrovka připojen do obvodu njakm způsobem pořır elektrick proud. Není divu, řrovka se totiř břn označuje jako elektrick spotřebič. Slovo spotřebič m vtřina z nás spojen s tím, že se něco spotřebovává. Napřıklad auta mají vysokou spotřebu paliva. Má-li něco datum spotřeby, znamená to, že to do toho data máme pouřıt. Zadame-li slovo spotřebovat do vyhledávače Google, automaticky nm vyskočí význam slova jako „pouřívnm vyčerpat“. Proč by tedy takov elektrick spotřebič neměl pořırt elektrick proud, který ho „pohání“?

Na tuto miskoncepci jsem poprvé narazila na hodinách Heuréky [1]. Nalezla jsem ji také v knize od Dany Mandíková a Josefa Trny [2], kterou jsme měli k dispozici jako inspiraci pro tento úkol.

K odstranění urit miskoncepce můžeme přistoupit rzn. lovk/učitel by si ale měl být vědom, že existují tři základní strategie – kognitivní konflikt, analogie a autoreflexivn aktivn učení řka. Dle mého názoru by tyto strategie měly jít společn ruku v ruce. To samozřejmě bude stát hodně času a nikdy nemáme jistotu, že jeho investováním dosáhneme křenho výsledku. Z vlastn zkušenosti totiř soudm, že vtřina říká si uchová v paměti existenci njak miskoncepce, ale neprijme její nesprávnost za vlastn. Můžeme to zlepřit astřřm opakováním a kladenm důrazu na sprvn pochopení. I tak je ale prakticky jasné, že přřtm řešení dan miskoncepn úlohy si říká nejprve vybaví svou mylnou prvotn představu a ař poté si, v tom lepřm přpad, vzpomene na sprvn řešení. Myslím si tedy, že bychom neměli hovořit o odstraňování miskoncepí, spáře o jejich vyvracení. Vtřina miskoncepí se navíc rod v hlavách říká na zklad njak předchoz zkušenosti bez povřimnut. Vzhledem k četnosti výskytu miskoncepí je tedy z mého pohledu prakticky nemořn je odstranit. Jen třsko se odstraňuje něco, co v hlavách kl samo od sebe, aniř bychom tomu věnovali pozornost.

Tm ale neříkám, že je řpatn se miskoncepmi zabývat. V mnoha přpadech je vhodné, nkd i nezbytn, trochu poupravit řkv pokřiven pohled na svět. Nesmíme do toho ale jít s očekáváním, že miskoncepe nařimi postupy mezi řky zcela vymýtíme. Nařm cílem by mělo být, že se v budoucnu říká nad miskoncep pozastaví s vdomm, že uř o n nkd slyřel a samostatn se zkusí zamyslet nad její správností.

Nyní uř k samotnému návrhu jak vyvrtt vybranou miskoncepci.

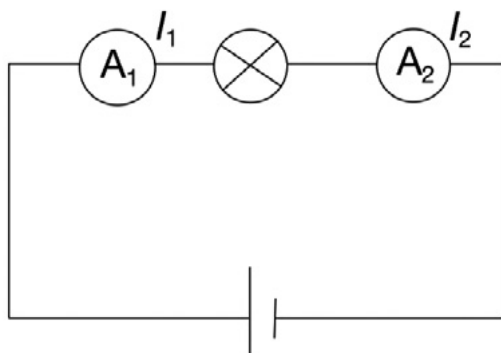
Zvolila jsem strategii:

*kognitivní konflikt → analogie → autoreflexivn aktivn učení řka*

## Kognitivní konflikt

Jako prostředek k vyvolání diskuse ke zvolené miskoncepci bych využila následující úlohu.

Zamysli se nad tím, jaký je vztah mezi proudy  $I_1$  a  $I_2$  (viz obrázek 1), které naměří ampérmetry  $A_1$  a  $A_2$ . Budou stejně velké, nebo ne, a který proud bude v tom případě větší? Poté sestav příslušný obvod a svůj předpoklad OVĚŘ.



Obrázek 1. Schéma k zadání první úlohy

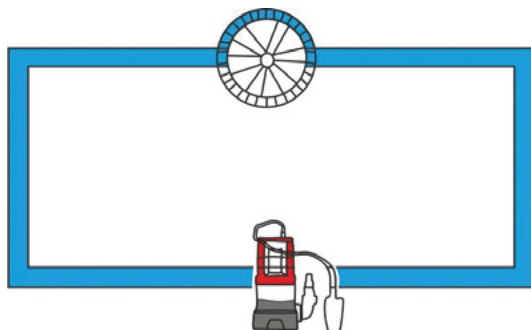
Předpokládám, že by se našli žáci, kteří by vztah odhadli jako  $I_1 > I_2$ .

## Analogie

Vhodnou analogií k elektrickým obvodům je tzv. vodní model. Žáci si místo zdroje napětí mohou představit čerpadlo, které pohání vodu potrubím, což jsou vodiče. Spotřebič se pak v tomto modelu nahrazuje mlýnským kolem.

Pro žáky by mělo být naprosto jasné, že voda mlýnským kolem pouze proteče a nestane se, že by ji mlýnské kolo nějak pohltilo.

Jako analogii k ampérmetrům bych případně použila nějaký měřič průtoku vody.

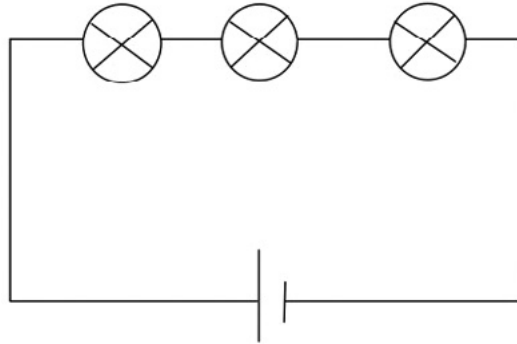


Obrázek 2. Vodní model jako analogie elektrického obvodu

## Autoreflexivní aktivní učení žáka

Na závěr bych žákům zadala následující úlohu.

*Předpokládejme, že jsme do obvodu zapojili 3 identické žárovky. Budou všechny svítit stejně?*



Obrázek 3. Schéma k zadání druhé úlohy

Pokud žáci správně pochopili chování proudu v sériově zapojeném obvodu, měli by odpovědět, že ano. Po jejich odpovědích bych je pak samozřejmě vybídla, aby si daný obvod zapojili a své předpoklady ověřili.

Pokud by se mi zdálo, že má třída stále problém s představou, že spotřebič elektrický proud požírá, vymýšlela bych další podobné příklady navázané na praktická měření procházejících proudů.

## Zdroje a literatura

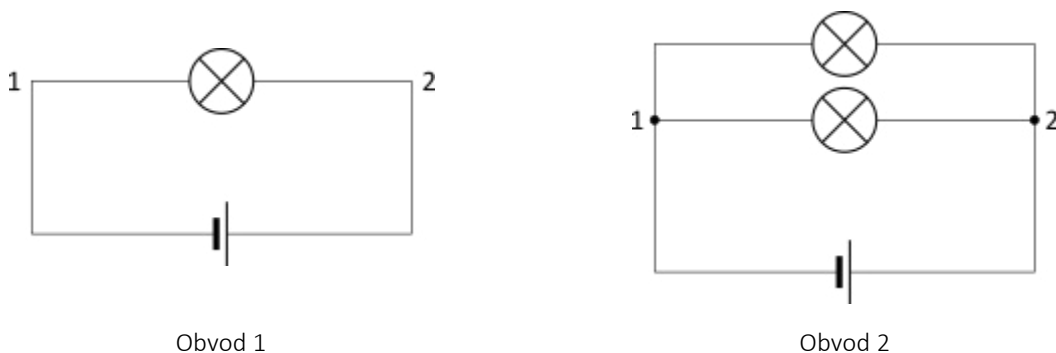
[1] DVOŘÁKOVÁ, Irena. Metodické materiály projektu Heuréka k tématu Elektřina a magnetismus. Dostupné online [31. 10. 2024] <https://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/ElmagKrokZaKrokem/>

[2] MANDÍKOVÁ, Dana a Josef TRNA. Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky. 1. vyd. Brno: Paido 2011. 245 s. 336. ISBN 978-80-7315-226-0.



# Úbytek napětí při paralelním zapojení

Předmětem je častá prekoncepce žáků, že při připojení druhé stejné žárovky paralelně k první v obvodu 1 (obr. 1) klesne napětí mezi body 1 a 2 na polovinu. Obdobně v případě vyšroubování jedné ze dvou stejných žárovek v obvodu 2 (obr. 1) se dle této intuitivní představy napětí mezi body 1 a 2 opět zvýší a zbylá žárovka bude svítit silněji [1].



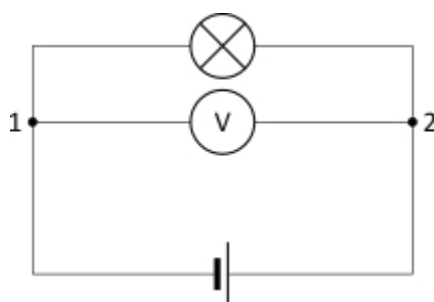
Obrázek 1: Jednoduché obvody s jednou a dvěma paralelně zapojenými žárovkami

## Analogie

Dvě větve obvodu se dvěma žárovkami představují dvě souběžné skluzavky v akvaparku, které vedou ze stejného horního do stejného spodního bazénu. Uzavření nebo otevření jedné skluzavky nemá vliv na parametry druhé – počet dětí, které po ní mohou sjet za jednotku času, zůstává stejný a ani její převýšení se nemění. Co se ale změní, je celkové množství dětí, které může sjet za jednotku času jednou nebo dvěma skluzavkami dohromady. Při dvou je to dvojnásobné množství, což odpovídá tomu, že celkový proud obvodem se pro dvě žárovky zdvojnásobí oproti jediné.

## Kognitivní konflikt

V případě kognitivního konfliktu by bylo vhodné zapojit obvod 3 (obr. 2) s voltmetrem a jednou žárovkou a změřit napětí mezi body 1 a 2. Po přípravě na připojení druhé stejné žárovky paralelně se zeptat žáků, jaký výsledek měření očekávají po jejím připojení. Pro menší děti stačí bez měření jen sledovat jas žárovky a jeho případné změny. Po připojení žárovky změřit znovu napětí mezi body 1 a 2. Dále se zeptat, jaký očekávají výsledek po jejím odpojení, poté to provést a změřit napětí či sledovat jas žárovky.



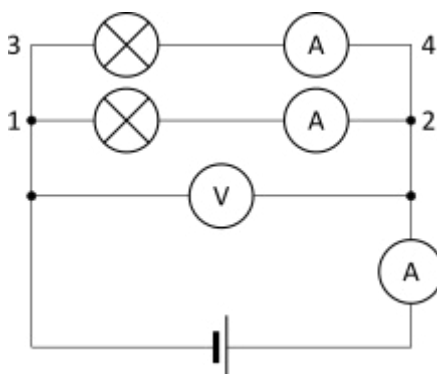
Obrázek 2: Obvod 3

Problémem při realizaci experimentu může být vnitřní odpor při použití měkkého zdroje napětí, např. ploché baterie, jejíž využití je vhodné pro menší děti. Samotné připojení druhé stejné žárovky se na jas žárovky ztelně neprojeví, ale pokles napětí je při měření patrný, ačkoliv nedojde ke snížení na polovinu. Při použití ploché baterie a žárovky 3,5 V/0,2 A dojde k poklesu napětí o cca 0,3 V. Tomu se lze vyhnout při použití tvrdšího zdroje jako akumulátoru nebo laboratorního zdroje napětí. V případě akumulátoru půjde o pokles na úrovni setin voltu. V případě středoškolků je možné problematiku vnitřního odporu zdroje s nimi i diskutovat, případně je možné tento odpor změřit.

## Autoreflexivní učení žáka

Zde půjde o obdobný experiment jako v předchozím případě, ale budou ho provádět sami žáci. V tomto případě žáci v malých skupinách nejprve změří voltmetrem napětí baterie či akumulátoru naprázdno (v případě baterie je třeba dát opět pozor na vnitřní odpor zdroje, viz výše). Potom zapojí žárovku v obvodu 3 (obr. 2) a znovu změří napětí mezi body 1 a 2. Po připojení další žárovky paralelně k první znovu změří napětí mezi body 1 a 2. Může ještě následovat odpojení jedné ze žárovek a opětovné měření napětí.

Experiment může být dále modifikován i současným měřením proudů v jednotlivých větvích, jak je naznačeno v obvodu 4 (obr. 3). Při stejných parametrech žárovek v obou větvích je možné dovést žáky k poznání, že napětí je na obou větvích shodné a celkový proud je rozdělen na dva stejné poloviční proudy v obou větvích se žárovkami.



Obrázek 3: Obvod 4

## Zdroje a literatura

[1] Mandíková, Dana – Trna, Josef. (2011). *Žákovské prekoncepce*. Paido, Brno.  
ISBN 978-80-7315-226-0

# Elektrický potenciál je nebezpečný

Tento název pod sebou shrnuje dvě miskoncepce, se kterými se u žáků ve své pedagogické praxi často setkávám a úzce spolu souvisí.

Jedna z nich se týká nepochopení a následného častého vzájemného zaměňování pojmů napětí a elektrický potenciál. Jde o miskoncepce, která zřejmě vzniká v důsledku toho, že žáci se již od předškolního věku setkávají s elektrickými zařízeními a často i s pojmem elektrického napětí. O elektrickém potenciálu se dozvídají zpravidla až na střední škole, kdy už se naučili vysvětlovat elektrické jevy s pomocí elektrického napětí. Pokud nedojde k správnému vysvětlení, pochopení a osvojení pojmu elektrického potenciálu, mohou tyto pojmy (potenciál a napětí) splynout, neboť spolu úzce souvisí. Důsledkem této miskoncepce bývá nesprávná tendence konkrétnímu bodu (nikoliv správně dvojici bodů) připisovat elektrické napětí.

Druhá miskoncepce, navázaná na tu první, je ta, že přítomnost elektrického potenciálu je nebezpečná. Tato miskoncepce je sice nesprávná, není podle mého názoru ale radno ji odstraňovat před odstraněním první jmenované, neboť slouží jako užitečná zkratka při úvahách o bezpečnosti práce s elektrickým proudem.

## Diskuse analogií

Potenciál je analogií nadmořské výšky a napětí analogií rozdílu nadmořských výšek. Aby se míček (elektron) kutálel z kopce (elektrický proud), nestačí velká nadmořská výška, je potřeba rozdíl výšek. Nebezpečná není výška (potenciál), lze bezpečně stát na vrcholku mrakodrapu. To, co je nebezpečné, je pád (proud).

Lze následně navázat na příkladu vody (elektrického náboje). Aby voda (náboj) tekla (elektrický proud), nestačí, že je velká nadmořská výška (vysokohorské jezero, přehrada), je třeba rozdíl výšky. Nebezpečná není stojatá voda v jezeře, nebezpečné je, pokud se valí velkou rychlostí z kopce (velký elektrický proud v důsledku velkého napětí).

## Poznatkový konflikt

### Vlaštovky a dravci na drátech vysokého napětí

Vlaštovky notoricky sedávají na drátech, které mají velký potenciál, a přesto pod dráty nevidíme mrtvolky vlaštovek. Jak je to možné? *Vlaštovky svým přistáním na drát přivedou své tělo na vysoký potenciál, ale není zde žádné napětí, žádný jiný bod s nižším potenciálem, elektrický proud tedy neprotéká a popáleniny nezpůsobuje. Poznámka: Ve skutečnosti má vlaštovka dvě nohy vzdálené několik centimetrů, mezi kterými dochází díky odporu drátu k úbytku napětí, tento úbytek je ale naprosto zanedbatelný.*

Srovnej s relativně velkým množstvím popálených velkých dravců, kteří často končí v záchraných stanicích. Proč se dravcům popálení elektrickým proudem stát může a malým pěvcům ne? *Je potřeba natolik velké rozpětí křídel, aby pták spojil dva různé dráty elektrického vedení s různými potenciály.*

## Hrátky se zásuvkou – ŽIVOTU NEBEZPEČNÝ EXPERIMENT NEVHODNÝ DO ŠKOLY

Tento pokus smí provádět jen poučené a vyškolené osoby! Zejména není vhodné ukazovat žákům na základní škole, studentům střední školy je vhodné vždy připomenout, že sami nesmí tento pokus provádět!

Zkontrolujeme správné zapojení zásuvky, stojíme v botách na suché podlaze a nedotýkáme se žádnou částí těla žádného jiného předmětu, zejména je třeba si dávat pozor na topení. Strčíme hřebík do jedné zdířky zásuvky a chytíme se ho. Necítíme žádnou bolest, nic se neděje. Je to proto, že dotykem hřebíku jsme se dostali na vyšší potenciál, ale nevytvořili jsme rozdíl potenciálů, tedy napětí (protože jsme od země izolováni botami, případně podlahovou krytinou).

Do jedné zdířky zásuvky připojíme párek. Nic se neděje. Připojíme párek i do druhé zdířky zhruba 5 cm od prvního drátu a párek se začne vařit/smažit. Párek následně nakrájíme a s žáky sníme.

Do jedné zdířky zásuvky připojíme nakládanou okurku. Nic se neděje. Připojíme okurku i do druhé zdířky zhruba 5 cm od prvního drátu. Okurka začne svítit a vydávat kouř. Sněžení okurky nelze doporučit.

## Autoreflexivní aktivní učení žáka

### Van de Graafův generátor

Pomůcky: van de Graafův generátor (lze nahradit Wimhurstovou elektrikou), deska polystyrenu

Žák(yně) s dlouhými vlasy (lze nahradit parukou z alobalových proužků) se postaví na zem, chytí se Van de Graafova generátoru. Po zapnutí generátoru vstávají vlasy. Porovnej se situací, kdy žák(yně) stojí na desce polystyrenu.

Proč vlasy vstávají více, když žák(yně) stojí na desce polystyrenu? *Pokud žák(yně) stojí přímo na podlaze, část náboje je odvedena do země, jeho/její podrážky bot mají menší odpor než podrážky bot a deska polystyrenu.*

Žák(yně) s dlouhými vlasy se postaví na zem, chytí se Van de Graafova generátoru a vstávají vlasy. Jiný žák(yně) cvrnkne do žáka(yně), který(á) drží generátor. Je slyšet elektrický výboj. Porovnej se situací, kdy žák(yně) stojí na desce polystyrenu.

Je slyšet a cítit elektrický výboj, pokud žák(yně) stojí na zemi? *Může být slyšet tišeji, případně nemusí být slyšet vůbec, protože část náboje odešla skrze podrážky do země. Typicky není cítit, případně slaběji. Žák(yně) je na menším potenciálu a při doteku je tedy mezi žáky(němi) menší napětí.*

Je slyšet a cítit elektrický výboj, pokud žák(yně) stojí na desce polystyrenu? *Měl by být slyšet a cítit velmi zřetelně. Žák(yně) je na větším potenciálu a při doteku je tedy mezi žáky(němi) větší napětí.*

Proč dojde k elektrickému výboji až při cvrknutí? *Při cvrknutí vytvoříme vodivé spojení mezi dvěma žáky(němi), mezi kterými je napětí, a začne tedy procházet proud. Poznámka: Jiskra ve skutečnosti přeskóčí těsně před dotykem, když je vzdálenost mezi žáky(němi) dostatečně malá, aby vzniklé napětí vytvořilo jiskrový výboj.*

## Olizujeme baterii

Pomůcky: nová plochá baterie s kontakty očištěnými lihem

Žák(yně) olízne jeden kontakt ploché baterie. Žák(yně) olízne najednou oba kontakty ploché baterie.

Co cítí při olíznutí jednoho kontaktu a co při olíznutí obou? Proč? *Při olíznutí jednoho kontaktu není cítit nic, pouze se jazyk žáka(yně) dostal na vyšší potenciál. Při olíznutí obou kontaktů zároveň je mezi kontakty napětí a začne jazykem procházet elektrický proud, což při malém napětí způsobí brnění.*

Alternativně lze ponořit jeden kontakt do solného roztoku, následně oba a pozorovat bublinky tvořící se díky elektrolýze a provést podobnou diskuzi.

## Vojenské výsadky

Vojenské výsadkové helikoptéry létají ve velkých výškách. Když probíhá výsadek, vojáci slaňují po laně z helikoptéry na zem.

Proč je vždy bezpodmínečně nutné, aby se lano při slaňování dotýkalo země? Je třeba nějaká speciální úprava lana? *Při letu helikoptéry dochází k tření o vzduch a k elektrování. Na helikoptéře se vytváří poměrně velký elektrický náboj a tedy má velký potenciál. Pokud by se lano nedotýkalo země a výsadkář seskočil, došlo by při dopadu k vyrovnání potenciálu, přesunu elektrického náboje a tedy vzniku elektrického proudu, který by v krajním případě mohl výsadkáře i zabít.*

## Krokové napětí

Pomůcky: LED, případně s napájeným drátem ve tvaru panáčka pro vysvětlení krokového napětí

Do kádinky se slanou vodou zapojíme elektrody podobně jako na elektrolýzu a nastavíme napětí zhruba 5V při vzdálenosti elektrod 15 cm. Kontakty LED roztáhneme od sebe zhruba na vzdálenost 4 cm a ponoříme je do vody. S LED otáčíme a pozorujeme, jak se mění intenzita světla.

Proč záleží na orientaci LED? *LED má propustný a závěrný směr. V propustném směru svítí, při závěrném nikoliv. Při natočení kontaktů LED v úhlu oproti spojnicí elektrod se mezi nimi sníží rozdíl potenciálů a tím pádem klesne i intenzita světla.*

Jak závisí intenzita světla na vzdálenosti kontaktů? *Čím vzdálenější jsou kontakty od sebe, tím větší mezi nimi vznikne napětí (rozdíl potenciálů), tím více bude LED svítit.*

Tento pokus lze pro lepší názornost a výklad krokového napětí například pro účel bezpečnosti při bouřce provést i s vlhkým pískem. Detaily pokusu lze najít v [1].

V minulém století bylo vyučováno v tématu bezpečnosti práce s elektrickým proudem, že k drátům na zem spadlým skáče snožmo, pokud je to nutné pro záchranu lidského života.

Proč lze k drátům na zem spadlým skákat snožmo? *S každým skokem směrem k drátům přivedu sám sebe na vyšší potenciál, nedojde však ke vzniku napětí, neprotéká tedy elektrický proud.*

Co je to krokové napětí? *Rozdíl potenciálů mezi rozkročenými nohama.*

Proč se v dnešní době tento postup již nedoporučuje? Kde je skryté nebezpečí? *Člověk může uklouznout, upadnout, zavrátavat apod.*

## Závěr

Navrhli jsme několik metod odstraňování miskoncepí rozdělených do tří typů. Odstraňování těchto miskoncepí je nutné u žáků, kteří plánují studovat fyziku nebo příbuzné obory, neboť osvojení pojmu elektrického potenciálu je klíčové pro pochopení teoretických základů elektromagnetismu a Maxwellových rovnic.

Odstraňování těchto miskoncepí bych nedoporučil na nižším stupni, nebo u žáků, kteří se nebudou fyzikou ve svém profesním životě zabývat, neboť při nedostatečném zvládnutí mohou tyto aktivity oslabit poznatky získané v tématu „Bezpečnost práce s elektrickým proudem“.

Pokud to lze a máme na to vliv, nejlepší je jistě tyto aktivity zařadit již při vysvětlování pojmu elektrického potenciálu, abychom vznik miskoncepí omezili, či mu úplně zabránili. Učitel by měl být také v průběhu výuky precizní ve svém vyjadřování a být důsledný v rozlišování pojmů elektrický potenciál a napětí.

Z mých zkušeností vyplývá, že zamýšlení nad vlašťkami sedícími na drátech je dobrá motivační problémová úloha, která toto téma přirozeně uvede. Kdykoliv se dělají experimenty s Van de Graafovým generátorem, má smysl se soustředit na to, aby učitel svými výroky nepodporoval tyto miskoncepce a rozlišovat a upozorňoval na rozdíly mezi elektrickým potenciálem a napětím.

## Literatura

[1] Žilavý, Peter. *Krokové napětí*. Dostupné online [21. 10. 2024].

<https://www.3pol.cz/cz/rubriky/navody-na-pokusy/2135-krokovye-napeti>

# 6 Optika

<b>Viditelnost paprsku světla</b> – Vojtěch Šesták.....	<b>95</b>
<b>Zrcadlo je zdrojem světla</b> – Tomáš Tayari .....	<b>97</b>



## Viditelnost paprsku světla

Při probírání tématu Vesmír se žáky devátého ročníku základní školy jsem se setkal se zajímavou miskoncepcí. Žáky zvláště zaujaly černé díry a při diskusi o ohýbání světla kolem nich jeden z nich poznamenal, že ohýbání světelných paprsků černou dírou je zřejmé z obrázků, protože ohnuté světlo vytváří svítící disk kolem černé díry.

Žáci mají na mysli akreční disk kolem černé díry. Akreční disk je struktura tvořená hmotou, která obíhá kolem černé díry, tvoří ho plyn, prach a jiné částice. Jak tento materiál spirálovitě rotuje směrem k černé díře, třecí síly v disku způsobují jeho zahřívání, což vede k uvolňování energie ve formě záření, zejména rentgenových paprsků a viditelného světla.

Během další diskuse se ukázalo, že většina třídy věří, že lze vidět dráhu paprsku tvořeného proudem fotonů, protože podle nich fotony „svítí“, a tím pádem můžeme sledovat jejich cestu, aniž by dopadaly do našeho oka.

Dále tedy budeme diskutovat žákovskou představu o částicové povaze světla.

### Experimentální přístup

Před experimentem, nebo po něm, bychom probrali fungování lidského oka, a tedy proč je rozptylovaný paprsek viditelný.

Samotný paprsek by v dokonale čistém prostředí nebyl vidět. Pro jeho zviditelnění potřebujeme, aby došlo k rozptylu světla na částicích prachu nebo jiných „nečistotách“ ve vzduchu.

Můžeme tedy zasvítit laserem a zeptat se žáků, zda paprsek vidí. Pokud odpoví ano, zeptáme se, proč je paprsek viditelný. Pokud ne, položíme otázku, co by bylo potřeba udělat, aby viditelný byl.

Po krátké diskusi uvolníme více „nečistot“ do vzduchu. Například bychom mohli tlesknout do houby na tabuli a uvolnit křídový prach do vzduchu, vařit pod paprskem vodu a nechat ho procházet párou a podobně. S rostoucím množstvím „nečistot“ se zlepšuje viditelnost paprsku. Pokud předtím paprsek viditelný nebyl, tak se viditelným stane.

S žáky je možné diskutovat o příčinách lepší viditelnosti paprsku. Společně dospějeme k závěru, že paprsek je viditelnější díky přítomnosti „nečistot“ ve vzduchu, na kterých se rozptyluje. Kdybychom svítili v dokonale čistém prostředí nebo ve vakuu, světlo by se téměř nerozptylovalo a paprsek by nebyl viditelný.

## Teoretický přístup

Viditelnost paprsku lze odvodit z principu fungování oka. Žáci by měli vědět, jak oko funguje. K tomu, abychom světlo viděli, je třeba, aby interagovalo se světločivnými buňkami v oku.

Když pozorujeme světelné zdroje, jako jsou žárovky nebo plameny svíček, vidíme je, protože fotony viditelného světla ze zdroje putují přímo do našich očí. Naopak, když pozorujeme objekty, které nejsou zdrojem světla, vidíme světlo, které se od těchto předmětů odráží. Barvy objektů vnímáme díky tomu, že některé barvy světla jsou pohlceny a jiné odrazeny.

Je možné vidět předmět, který vytváří nebo odráží světlo, ale to světlo nedopadá na naše světločivné buňky? Odpověď je ne, což si můžeme snadno ověřit zavřením očí. Bez dopadu světla na oko nic nevidíme.

Pokud paprsek světla nedopadá přímo do našeho oka a je viditelný, tak se musí rozptýlit a alespoň část světla z něj musí dopadnout na světločivné buňky v našem oku. Jak se paprsek rozptýlí? Třeba na částech prachu.

Se žáky diskutujeme o tom, co by se stalo, kdyby se neměl paprsek na čem rozptýlit. Diskusí se dostaneme k závěru, že pokud se paprsek nerozptýluje a nedopadá do našeho oka, tak není vidět.

Závěrem tedy je, že samotný nerozptýlený paprsek viditelný není (např. v příkladu s černou dírou tedy nevidíme dráhu ohýbaných paprsků).

## Závěr

Miskoncepce bych se věnoval se žáky, kteří se chtějí fyzice více věnovat např. na fyzikálním semináři. Nebo v běžných hodinách je možné na ni poukázat například ve chvíli, kdy učitel použije rozptýlený laserový paprsek na tabuli při experimentech z optiky.

Zajímavý mi na miskoncepce přišel její pravděpodobný vznik. Paprsky světla pozorujeme pouze, když pozorovatelné jsou, a tedy je máme přímo spojené s jejich viditelností. Žáci jsou zvyklí, že většinu věcí, které máme před sebou, můžeme nějakým způsobem vnímat (vidět, slyšet, cítit,...) a představa paprsků světla, které nevidíme, je jim tedy cizí.

Poslední příčinou vzniku této miskoncepce, kterou považuji za důležitou, jsou média. Paprsky světla jsou ve filmech, na obrazech, ve videohrách a podobně vyobrazovány jako výrazné světelné válce nebo kužele. Tento umělecký aspekt světla je tak častý, že do fotografií a filmů jsou viditelné kužele světla i uměle přidávané.

## Zrcadlo je zdrojem světla

Nejprve se můžeme zaměřit na miskoncepci „zrcadlo je zdrojem světla“, poté lze přejít k miskoncepci, kdy mohou být vnímány jako zdroj světla i další objekty, které ho ve skutečnosti nevydávají. Vznik této miskoncepce je pravděpodobně způsoben tím, že zrak vnímá samotné světlo, ale ne jeho zdroj. Z intenzity světla intuitivně odhadujeme, odkud k nám světlo přichází, a tudíž takové místo přirozeně vyhodnotíme jako zdroj. Bohužel, nebereme v potaz fyzikální jev světelného odrazu, který je pro mnoho lidí neintuitivní. Ne všechno, odkud světlo přichází, je jeho zdrojem, některé světlo je pouze odražené případně se během své cesty zlomilo. Právě zrcadlo je zařízení postavené na odrazu a je proto vhodné jako modelový příklad. Na druhou stranu, za zdroj světla je považováno mnoho věcí, které ve skutečnosti světlo jen odrážejí. Například v historii lidé vnímali na obloze Měsíc jako svébytný zdroj světla (a i dnes např. ve wiki skriptech je Měsíc, byť s poznámkou, uveden mezi přírodními zdroji světla [1]).

Klíčové je proto, podle mého soudu, žákům v rámci výuky týkající se této miskoncepce vysvětlit, že věci, které světlo odrážejí, samy nemusí být jeho zdrojem.

### Kognitivní konflikt

Do kognitivního konfliktu lze žáky přivést následujícími otázkami: Pokud je zrcadlo zdrojem světla, dá se s ním svítit v noci? Lze osvětlit temnou místnost (jako je třeba sklep) tím, že do ní přinesu zrcadlo, bez toho, aby tam pronikalo vnější světlo? Vidím se v zrcadle ve tmě?

Kognitivní konflikt můžeme navodit například i touto úvahou: všechny svítící věci potřebují energii k tomu, aby svítily: ať už sluníčko, které dostává energii ke svícení z termojaderné fúze; lampička, která dostává energii v podobě elektřiny; světluška, které svítí zadeček kvůli chemické reakci (a svítit časem přestane, například když světluška zemře); i fluorescenční nálepky, které se nabíjí přes den světlem a přes noc svítí. Odkud tedy dostává energii zrcadlo?

Možná je ještě jiná úvaha: Mohu se vidět v lečjakém předmětu, když jej dobře zbrousím a vyleštím. Znamená to, že tím, že ho zbrousím, odkrývám vnitřní světlo předmětu? Když jej znovu poškrábu, kam se světlo podělo? Jistě, mohl jsem ho škrábanci zakrýt. Ve věcech se ale mohu vidět, i když je nalakuju vhodným lakem, který škrábance překryje.

### Autoreflexivní učení žáka

Pro vhodné autoreflexivní učení jsem vytvořil následující sadu úkolů, které je možné zadávat v podobě pracovního listu za domácí úkol s důrazem na otevřené odpovědi. Žák by měl všechny tři otázky experimentálně vyzkoušet. Následně v hodině lze diskutovat o výsledcích i ve větších skupinách. Vhodně moderovanou diskuzí lze dospět k odbourání miskoncepce. Některé otázky se mohou zdát nesmyslné, ale přijde mi důležité si tímto nonsensem projít pro pevnější zafixování poznatků.

- 1) Postupně vnášejte více zrcadel či zrcátek do temné místnosti bez přístupu vnějšího světla (například sklep). Zvyšuje se s počtem zrcadel osvětlení v místnosti?
- 2) Zkoumejte zrcadlo v noci v neosvětlené místnosti. Co vidíte? Prozkoumejte zrcadlo ve dne. Jak se situace změnila? Pokuste se vysvětlit, proč.
- 3) Ustříhnete kus hladkého, nepomačkaného alobalu a podívejte se do něj. Jak se změní odraz světla od alobalu, když jej zmačkáte do kuličky a zase narovnáte? Pak jej mačkejte znova a znova, jak se bude odraz měnit po každém narovnání? Pokuste se vysvětlit, proč.

## Další varianta miskoncepce: I další předměty mohou být zdrojem světla

Všechny viditelné předměty buď světlo odráží, nebo jsou samy o sobě zdrojem světla. Předmět, který si člověk s odrazem světla typicky nespojí, je například Měsíc. I když běžně i fyzikální veřejnost používá slovní spojení „svítí Měsíc“, Měsíc ve skutečnosti zdrojem světla není, pouze odráží světlo vyzařované Sluncem. Tady můžeme ve výuce například využít námět z Quora.com [2]: typicky se ve filmech upíři při vystavení se slunečnímu svitu rozpadnou na prach. Co se s nimi stane, pokud se pohybují v noci ve svitu Měsíce?

Toto téma můžeme dále rozšířit například o využití odrazu světla při fotografování, pomocí odrazné desky [3]. Ve fotografii nebo při natáčení se běžně používají nesvítivé odrazné desky, které odrážejí a rozptylují světlo, ať už z přirozených nebo umělých zdrojů osvětlení, k přisvětlování. Ve výuce lze předvést, jak odrazná deska funguje. Pokud není k dispozici přímo odrazná deska, postačí baterka (například na mobilu) a čtvrtka papíru (v nouzi lze papír nahradit i jen rukou). V učebně najdeme špatně osvětlené, ale dobře viditelné místo (typicky kout), namíříme světlo baterky směrem *od* vybraného místa. Tím se místo sice trochu osvětlí, ale když necháme světlo baterky odrazit od čtvrtky, kterou postavíme před zdroj světla, míra osvětlení vzroste. I žáci v zadních lavicích poznají rozdíl.

Z tohoto pohledu může být dalším zajímavým předmětem i taková běžná věc jako mobil. Displej mobilního telefonu je věc, která je zároveň zdrojem světla i světlo odráží. Ve vypnuté obrazovce se na světle typicky vidíme jako v zrcadle. Zapneme-li telefon, obrazovka se stane zdrojem světla. Nyní se v obrazovce nevidíme, nebo se v ní vidíme minimálně podstatně hůř. Toto by mohlo vést k dojmu, že existuje více druhů světla, jedno fungující jako zrcadlo a druhé displejové, které odrážející se světlo po zapnutí telefonu přehluší. Toto mi přijde jako lehce lepší představa, protože se dá jednodušeji zpřesnit. Žák má de facto pravdu, až na to, že odrážené světlo neprodukuje telefon. Tuto miskoncepti lze například zkusit odbourat následovně: pokud žák vezme svůj telefon do temné místnosti, tak svůj odraz nevidí. Když jej zapne, tak se displej telefonu rozsvítí.

## Literatura

[1] Typy světelných zdrojů. Wikiskripta.eu. [cit. 20.6.2024] Dostupné on-line: [https://www.wikiskripta.eu/w/Typy\\_sv%C4%9Bteln%C3%BDch\\_zdroj%C5%AF](https://www.wikiskripta.eu/w/Typy_sv%C4%9Bteln%C3%BDch_zdroj%C5%AF)

[2] Dotaz na Quora.com. [cit. 20.6.2024] Dostupné on-line: If vampires can't go outside in sunlight, how come they can go outside at night if moonlight is just reflected sunlight?- Quora

[3] Zázrak jménem odrazná deska. [cit. 20.6.2024] Dostupné on-line:  
<https://www.fotoveci.cz/blog/zazrak-jmenem-odrazna-deska/>

Katedra didaktiky fyziky, MFF UK, Praha 2024

<https://www.mff.cuni.cz/cs/kdf>