

Nové experimenty a učební úlohy k zákonu akce a reakce jako kritickému místu kurikula

Pavel Masopust, Jiří Kohout

Oddělení fyziky, Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

Abstrakt

Zákon akce a reakce byl v našem předchozím výzkumu identifikován jako tzv. kritické místo kurikula ve výuce fyziky na středních školách. V tomto příspěvku představíme sérii originálních experimentů a učebních úloh, které mají potenciál přispět k překonání jeho kritičnosti. Rovněž budeme prezentovat návrh testových otázek sloužících k ověření toho, do jaké hloubky žáci tomuto tématu rozumí, a jdoucích z hlediska zachycených miskoncepí nad rámec klasických konceptuálních testů jako je např. známý Force Concept Inventory. Stručně rovněž představíme zjištění z pilotního ověření nově vytvořených materiálů v praxi.

Úvod – zákon akce a reakce jako kritické místo kurikula

V našem předchozím výzkumu jsme zavedli do didaktiky fyziky konstrukt tzv. kritického místa kurikula, na základě multikriteriálního přístupu jsme určili kritická místa v 6. a 7. ročníku ZŠ a rovněž jsme připravili a rámcově ověřili moduly sloužící k jejich překonání. Podrobnosti včetně detailních informací k teoretickému ukotvení, metodologii i samotným modulům jsou uvedeny mimo jiné v monografii [1]. Uvedený konstrukt jsme následně rozšířili na první ročník střední školy a na základě rozhovorů s vybranými učiteli fyziky a dalších faktorů jsme jako relevantní kritické místo vytypovali 3. Newtonův zákon, tedy zákon akce a reakce.

Tento výběr by mohl být na první pohled brán s ohledem na aktuální poznatky z literatury jako nepříliš logický, protože například v práci [2] bylo demonstrováno, že tzv. normalizovaný zisk v testu Force Concept Inventory s různými reprezentacemi (R-FCI) byl po realizaci výuky dynamiky na různých středních školách u úloh zaměřených na zákon akce a reakce stabilně vyšší, než třeba u úloh cílených na ostatní Newtonovy zákony či na gravitační působení. Naše podrobnější analýza však ukázala, že problém s 3. Newtonovým zákonem spočívá v tom, že s ním související závažné miskoncepce nejsou klasicky užívanými učebními úlohami (např. právě na bázi testu FCI) zachyceny, což vnímáme jako zvláště rizikové. Na problematičnost 3. Newtonova zákona i z tohoto pohledu upozornili autoři některých předchozích studií [3,4], v časopise Physics Teacher poté vyšla v roce 2012 studie [5], kde autoři dokonce navrhují změnu pořadí výuky Newtonových zákonů s tím, aby zákon akce a reakce byl vyučován jako první. Uvádějí přitom, že s pomocí uvedené změny pořadí dosáhli u studentů určitého zlepšení. Za nejvíce problematický z hlediska porozumění ze všech Newtonových zákonů označil zákon akce a reakce i zakladatel tzv. konceptuální fyziky Paul Hewitt [6].

S ohledem na výše uvedené jsme připravili sérii učebních úloh a experimentů majících za cíl přispět k lepšímu zachycení miskoncepí spojených s 3. Newtonovým zákonem a následně k jejich překonání. Uvedené úlohy, resp. experimenty, přitom vycházejí

z kategorizace miskoncepcí spojených se 3. Newtonovým zákonem, jež je uvedena v další podkapitole tohoto příspěvku.

Miskoncepce spojené s 3. Newtonovým zákonem

Na základě studia literatury, analýzy dostupných učebních úloh, rozhovorů s učiteli a vlastních zkušeností jsme identifikovali čtyři základní miskoncepce (či spíše skupiny miskoncepcí) spojené se zákonem akce a reakce:

- 1) Miskoncepce týkající se (ne)symetrie silového působení vycházející typicky z intuitivní představy, že hmotnější objekt působí na méně hmotný větší silou než opačně. Tato jediná skupina miskoncepcí je zachycena testem FCI [7] a to ve čtyřech položkách v různých kontextech (srážka velkého a malého auta, odtlačování dvou jedinců různých hmotností na kolečkových židlích, a tlačení velkého auta malým jednou přímočaře a jednou rovnoměrně zrychleně). Dle [7] vychází tyto miskoncepce z metafory silové interakce jako souboje, v němž jednoduše vítězí ten silnější.
- 2) Miskoncepce ohledně toho, co je a co není vlastně dvojicí sil akce a reakce. Žáci si (částečně i díky klasickým úlohám) mohou vytvořit zjednodušenou představu, že když máme dvě stejně velké a opačně orientované síly, jsou to automaticky síly akce a reakce. Přitom již neberou do úvahy, zda síly působí mezi stejnými tělesy. Klasickým projevem je silně rozšířená představa, že tíhová síla na objekt na stole a síla, kterou na tento objekt působí stůl (někdy nešťastně přímo nazývaná reakce podložky), jsou silami akce a reakce. Autoři studie [3] uvádějí, že tuto nesprávnou představu měla po výuce příslušného tematického celku většina VŠ studentů prvního ročníku fyziky na univerzitě v Canbeře v Austrálii.
- 3) Miskoncepce vycházející z toho, že zákon akce a reakce je chápán jako otázka příčiny a následku místo toho, že jde o simultánní proces, kdy síly působí v párech, a nelze hovořit o tom, že akce je první a reakce druhá. K rozvoji této miskoncepce může přispívat i lidové úsloví, že akce vyvolává reakci. Uvedená miskoncepce není (pokud je nám známo) pokryta žádnými klasickými učebními úlohami a na první pohled nemusí být vnímána jako příliš závažná. Svědčí však o absenci skutečného konceptuálního porozumění zákonu akce a reakce, což může hrát roli například v oblasti chemických rovnováh, které byly historicky vykládány (nesprávně) právě na základě zákona akce a reakce [8].
- 4) Miskoncepce týkající se mezí platnosti zákona akce a reakce. Ta souvisí s tím, že tento zákon je probírán v mechanice, a proto někteří žáci mohou nabýt přesvědčení, že je využitelný pouze u sil, jež jsou diskutovány v této části fyziky. Nevztahují jej tak již třeba na elektrické či magnetické síly. V ještě výraznější formě dokonce žáci mohou nabýt dojmu, že zákon akce a reakce platí pouze pro síly působící dotykem a nikoliv prostřednictvím pole. Například pomocí výše uvedených učebních úloh z testu FCI tato miskoncepce nemůže být odhalena, protože se tam vždy jedná o přímé silové působení dotykem.

Uvedená kategorizace se týká fundamentálních miskoncepcí spojených se zákonem akce a reakce, nikoliv problémů souvisejících s jeho využitím v konkrétních aplikačních úlohách, kde může sehrát podstatnou roli např. geometrie úlohy, předchozí praktická zkušenost s daným zařízením apod. Z hlediska námi dříve provedené hierarchizace konceptů [1] zde

tak cílíme na koncepty organizační (popř. vyšší), nikoliv na koncepty aplikační ovlivněné významně právě těmito faktory.

Příprava a prvotní ověření modulu

Na základě výše uvedené kategorizace jsme připravili modul, který zahrnoval jednak učební úlohy pokrývající svým obsahem formulované miskoncepce (plus vybrané úlohy na technické aplikace zákona akce a reakce tak, aby byla pokryta i tato oblast), jednak návody k pěti originálním experimentům vystihujícím tuto problematiku, a to včetně příslušných videonahrávek. Dále jsme vytvořili test zahrnující celkem šest úloh (dělených ovšem na podúlohy tak, že z něj celkově bylo možné získat až 32 bodů) pokrývajících komplexně problematiku zákona akce a reakce. Vedle správnosti odpovědí jsme zjišťovali i to, do jaké míry jsou si jimi žáci jisti (u každé z úloh byla v tomto kritériu stupnice 1-5 bodů, tj. souhrnně až 30 bodů). Test jsme pilotovali na šesti studentech 1. ročníku oboru Fyzika na FPE ZČU a následně jej upravili podle jejich připomínek. Pracovní verze modulu byla poskytnuta pěti spolupracujícím učitelům fyziky na středních školách a materiál byl upraven dle jejich připomínek.

Následně byl realizován pedagogický experiment ve dvou třídách (sekunda osmiletého a 1. ročník čtyřletého gymnázia v Plzeňském kraji). V první fázi byl zadán žákům uvedený test. Po cca 14 dnech následovala hodina věnovaná zákonu akce a reakce, kde učitelé uplatnili učební úlohy a experimenty z modulu dle vlastního výběru. Z hodiny byl pořizován se souhlasem všech zúčastněných záznam. Po cca týdně následovalo opětovné zadání stejného testu. Vzhledem k pandemii proběhlo testování i výuka online. Výsledky byly vyhodnoceny a následně byly ještě realizovány fokusní skupiny, jichž se zúčastnili žáci, u nichž byl mezi pre a posttestem zaznamenán největší pozitivní či negativní posun (z hlediska úspěšnosti se zohledněním deklarované míry jistoty s odpověďmi). Poznatky z výuky byly rovněž diskutovány s učiteli uvedených tříd.

Obsah modulu

Modul zahrnoval celkem pět námětů na experimenty obsahujících vždy příslušný návod, otázky pro žáky, didaktické poznámky a odkaz na videozáznam experimentu. Dále je v modulu zahrnuto 10 komplexních učebních úloh pokrývajících miskoncepce dle výše uvedené hierarchizace. Zde uvedeme jako ukázkou zpracování dvou experimentů a dvou úloh.

Experiment – vyfukování balónku na siloměru a vahách

Uvažujeme balónek zatížený uvnitř závažím, nafouknutý a ponořený částečně do nádoby s vodou, která stojí na vahách. Balónek je zavěšen na siloměru (viz obr. 1). Podstatou experimentu je, co se bude dít s údajem vah a siloměru, když začneme pozvolna upouštět vzduch z balónku, v důsledku čehož se bude objem ponořené části zmenšovat.



Obr. 1. Uspořádání experimentu s vyfukováním balónku

Otázky pro žáky:

- Jakou sílu vlastně měří digitální váhy před tím, než začne být vypouštěn vzduch z balónku?
- Jakou sílu měří siloměr před tím, než začne být vypouštěn vzduch z balónku?
- Poté, co začne vypouštění vzduchu, se bude údaj vah *zvětšovat – zmenšovat – neměnit*?
- Poté, co začne vypouštění vzduchu, se bude údaj siloměru *zvětšovat – zmenšovat – neměnit*?
- Změna na vahách bude ve srovnání se změnou na siloměru (po přepočtení tíhové síly na hmotnost) *větší – menší – stejná*
- Při rychlejším vypouštění vzduchu z balónku bude změna na vahách *rychlejší – stejně rychlá – pomalejší*
- Při vysvětlení pokusu se zákon akce a reakce využije u které z následujících sil: *tíhová – vztlaková – odstředivá*

Didaktické poznámky: Pokus je zaměřen na existence reakce ke vztlakové síle, na kterou se často zapomíná. Po ponoření balónku do vody se síla na siloměru zmenší o hodnotu vztlakové síly a v důsledku reakce ke vztlakové síle se o stejnou hodnotu zvětší údaj vah. Při vypouštění balónku se zmenšuje ponořený objem, tím i vztlaková síla a údaj siloměru tak roste, zatímco údaj vah stejným způsobem klesá. V konečné fázi experimentu obvykle dojde k mírné korekci spočívající v navýšení údaje vah a analogickém poklesu u siloměru (viz videoexperiment). To souvisí se změnami uspořádání zátěže uvnitř balónku. Žáků se je možné v této souvislosti zeptat na to, proč balónek musí být zatížen zevnitř. Experiment je uvažován pro případ, že bude vypouštění balónku pozvolné. Při rychlém vypouštění by se

krátkodobě mohla projevit reakce k síle, kterou působí balónek na unikající vzduch, což by naopak vedlo ke zvýšení údaje vah. Záznam experimentu je dostupný na https://drive.google.com/file/d/1vld8W4m_kcViPuMKKeQIJ1VsDVvx6TD6K/view?usp=sharing

Experiment – pád magnetu trubkou

Uvažujme malý magnet, který pustíme dolů dlouhou měděnou trubkou tak, aby proletěl bez nárazů do okrajů trubky. Z elektřiny a magnetismu je známo, že doba průletu magnetu je v důsledku elektromagnetické indukce mnohem delší než v případě, že bychom jí pustili nezmagnetovaný materiál. Cílem experimentu je zaměřit se na tento známý pokus z hlediska akce a reakce. Trubka je tudíž zavěšena na citlivý siloměr (viz obr. 2) vyvedený do počítače a jsou sledovány změny údaje siloměru.



Obr. 2. Uspořádání experimentu s magnetem padajícím trubcí

Otázky a úkoly pro žáky:

- Údaj siloměru se po vpuštění magnetu do trubky: *zvětší – zmenší – nezmění*
- Jaký typ pohybu koná magnet během průletu prostřední částí trubky, jaké síly tam na něj působí a jaká je výsledná síla?
- Z grafu závislosti údaje siloměru na čase určete, jak dlouho trval magnetu průlet trubkou
- Z grafu závislosti údaje siloměru na čase určete přibližně, jaká je hmotnost magnetu
- Co by se s údajem siloměru stalo, kdybychom užili místo měděné skleněnou trubku? Co, kdybychom užili ocelovou trubku?

Didaktické poznámky: Jde o klasický experiment z jiné oblasti fyziky, zaměřený ovšem na zákon akce a reakce. Z časového průběhu je jasně patrný nárůst hodnoty siloměru během

průletu o cca 20 mN, což je v souladu s tím, že užitý malý magnet má hmotnost 2 g. Se žáky je možné procvičit vedle práce s grafy i 1. Newtonův zákon, měli by si uvědomit, že magnet se po naprostou většinu času v trubce pohybuje rovnoměrně, což odpovídá tomu, že výsledná síla je nula a magnetická a tíhová síla působící na magnet se tudíž vykompenzují. Je dobré, aby si žáci uvědomili, že tento experiment má smysl v uspořádání magnet+nemagnetická kovová trubka. Pokud bude užitá magnetická trubka, magnet jí vůbec neproletí, pokud neužijeme magnet nebo vezme nevodivou trubku, tak bude průlet probíhat naprosto stejně jako mimo trubku, protože v trubce nevznikne elektrický proud, který by byl příčinou magnetické síly brzdící pád magnetu. Záznam experimentu je dostupný na https://drive.google.com/file/d/1B5pi120IXdkAPF_th9Gr4e0mUG2r-0zw/view?usp=sharing

Učební úloha – meteorit blížící se k Zemi

Meteorit se přibližuje k Zemi, která na něj působí gravitační silou. Stejně tak meteorit působí gravitační silou na Zemi.

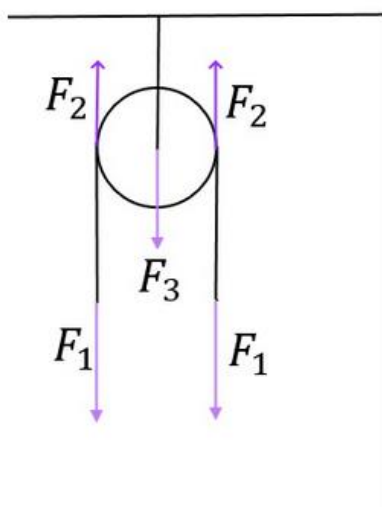
- Platí v této situaci 3. Newtonův zákon ANO – NE

Kdy se vyrovnají velikosti sil?

- Ve chvíli, kdy vletí do zemské atmosféry
- Ve chvíli, kdy začne v zemské atmosféře hořet.
- Ve chvíli, kdy dopadne na zem.
- Jsou vyrovnané od začátku
- Nevyrovnají se nikdy, síla od Země na meteorit je stále větší, než meteoritu na Zemi
- Nevyrovnají se nikdy, síla od Země na meteorit je stále menší, než meteoritu na Zemi

Učební úloha – kladka

Uvažujme soustavu v klidu podle obrázku. F_1 jsou síly, kterými někdo natahuje nehmotné lano, F_2 jsou síly, kterými působí nehmotná kladka na lano a F_3 síla, kterou působí kladka na horní lano (závěs). Délky šipek nemusí odpovídat velikosti sil. O následujících tvrzeních rozhodněte, zda jsou pravdivá či nepravdivá.



Obr. 3. Uspořádání učební úlohy s kladkou

- | | |
|--|-------------------|
| 1) Síly F_1 a F_2 jsou stejně velké. | PRAVDA – NEPRAVDA |
| 2) Síly F_1 a F_2 jsou silami akce a reakce | PRAVDA – NEPRAVDA |
| 3) Síly F_2 a F_3 jsou silami akce a reakce. | PRAVDA – NEPRAVDA |
| 4) Pro velikosti sil platí $F_3 = 2 \cdot F_1$ | PRAVDA – NEPRAVDA |
| 5) Na člověka tahajícího lano působí od něj síla o velikosti F_1 . | PRAVDA – NEPRAVDA |
| 6) Na stojánek působí horní lano silou o velikosti F_3 | PRAVDA – NEPRAVDA |
| 7) Na nehmotnou kladku nepůsobí žádné síly. | PRAVDA – NEPRAVDA |
| 8) Výsledná síla působící na kladku je rovna nule. | PRAVDA – NEPRAVDA |
| 9) Lano se přetrhne, jestliže vydrží napínací sílu nejvýše $1,5 \cdot F_1$ | PRAVDA – NEPRAVDA |

Prvotní poznatky z ověření modulu

Detailní výsledky ověřování efektivity modulu včetně podrobné kvantitativní analýzy a poznatků z fokusních skupin se žáky budou prezentovány v samostatné publikaci. Celkově můžeme konstatovat, že v obou třídách, kde ověřování proběhlo, došlo k určitému mírnému zlepšení v posttestu oproti pretestu, když v 1. ročníku SŠ se průměrný výsledek v testu zvýšil ze 17,5 na 18,7 bodu, a v sekundě z 17,4 na 18,4 bodu. Podobná situace nastala i u míry jistoty s odpověďmi, kde byla změna z 16,2 na 17,4 bodu v případě 1. ročníku a z 16,7 na 18,2 bodu u sekundy. Všechny uvedené změny jsou malé, statisticky neprůkazné a u části žáků v obou třídách došlo mezi pretestem a posttestem ke zhoršení (jež však mohlo být dáno vysokým podílem tipovaných odpovědí). Roli zde mohla sehrát skutečnost, že výuka byla realizována vzhledem k okolnostem distančně, zmínit je třeba i to, že šlo o jednu hodinu vedenou s odstupem několika měsíců poté, co bylo toto téma v daném ročníku probráno standardně. Při fokusních skupinách byla prokázána přetrvávající existence některých významných miskoncepcí (např. představy, že zákon akce a reakce platí pouze pro síly působící dotykem), projevila se rovněž tendence postupně se vracet k prvotním nesprávným představám vyvráceným vhodně zvoleným experimentem či úlohou. Relativně výraznější pozitivní posun byl zaznamenán u 1. a 3. skupiny miskoncepcí, naopak nejhorší výsledky byly zaznamenány u položek spadajících ke 2. skupině miskoncepcí.

Závěr

Prezentovaný modul vytvořený na základě kategorizace miskoncepcí spojených se zákonem akce a reakce přináší netradiční učební úlohy a experimenty týkající se této oblasti fyziky, jež mohou být využity v praxi. Modul bude dále vyvíjen na základě zkušeností z ověření v dalších třídách a podnětů spolupracujících učitelů. V dalším výzkumu budeme rovněž pracovat na využití moderních technologií (speciálně virtuální reality) k překonávání uvedených miskoncepcí a obecně zákona akce a reakce jako kritického místa kurikula.

Literatura

- [1] Kohout J., et al. Kritická místa kurikula fyziky na 2. stupni základní školy I. ZČU, Plzeň 2019. ISBN 978-80-261-0933-4. Dostupné online:
https://didaktika.zcu.cz/export/sites/didaktika/cz/dokumenty/Monografie/Fyzika_monografie.pdf
- [2] Paclt J. Varianta testu Force Concept Inventory s různými reprezentacemi. MFF UK, Praha 2019. Bakalářská práce. Dostupné online:
<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/109594>
- [3] Low, D., Wilson, K. (2017). Weight, the normal force and Newton's third law: Dislodging a deeply embedded misconception. *Teaching Science* 63, No 2, p. 17-26.
- [4] Hellingmann, C. Newton's third law revisited. *Physics Education* 27, No 2 (1992), p. 112.
- [5] Stocklmayer, S., Rayner, J. P., Gore, M. M. Changing the order of Newton's laws—Why & how the third law should be first. *The Physics Teacher* 50, No 7 (2012), p. 406–409.
- [6] Hewitt, P. G. Newton's (Often Misunderstood) Third Law of Motion. *The Science Teacher* 84, No 2 (February 2017), p. 12–14.
- [7] Hestenes D., Wells M., Swackhamer G. Force concept inventory. *The physics teacher* 30, No 3 (1992), p. 141–158.
- [8] Niaz, M. Chemical equilibrium and Newton's third law of motion: Ontogeny/phylogeny revisited. *Interchange* 26, No 1 (1995), p. 19–32.