

AKCE A REAKCE VE FYZICE A V CHEMII

Jiří KOHOUT

Abstrakt

Zákon akce a reakce je jedním ze základních zákonů klasické mechaniky, s nímž je spojeno velké množství miskoncepcí. Podobně Le Chatelierův princip nazývaný též jako princip akce a reakce patří k důležitým zákonitostem fyzikální chemie. Oba dva principy jsou běžnou náplní výuky v 1. ročníku na gymnáziu. Co však mají (vedle názvu) společného a v čem se naopak liší? A jak tomu žáci rozumí? V příspěvku se na tyto otázky pokusíme odpovědět s oporou o historický vývoj přírodních věd, poznatky z diskuze s učiteli fyziky a chemie i odpovědi žáků 1. ročníku gymnázia, kteří se již ve výuce s oběma zákony setkali.

ACTION AND REACTION IN PHYSICS AND IN CHEMISTRY

Abstract

The law of action and reaction is one of the fundamental laws of classical mechanics, with which a large number of misconceptions are associated. Similarly, Le Chatelier's principle, sometimes also called the principle of action and reaction, belongs to the important laws of physical chemistry. Both principles are a common content of teaching in the 1st year at the gymnasium. But what do they have in common (besides the name) and how do they differ? And how do the students understand it? In the contribution, we will try to answer these questions with the support of the historical development of the natural sciences, findings from discussions with physics and chemistry teachers, as well as the answers of 1st-year high school students who have already encountered both laws.

Úvod – miskoncepce spojené se zákonem akce a reakce

Třetí Newtonův zákon označovaný klasicky jako zákon akce a reakce je jedním ze základních pilířů klasické mechaniky a standardní součástí výuky fyziky na základních školách (navzdory diskuzím na toto téma v rámci tzv. malé revize RVP) i na školách středních. Jedná se zároveň o dosti problematickou část fyzikálního kurikula. Zakladatel konceptuální fyziky Paul G. Hewitt jej označil za nejčastěji nepochopený z Newtonových zákonů [1] a i naše dřívější výzkumy [2] ukazují, že se jedná o tzv. kritické místo kurikula. Žákovské miskoncepce spojené s tímto konceptem lze rámcově rozdělit do čtyř základních skupin:

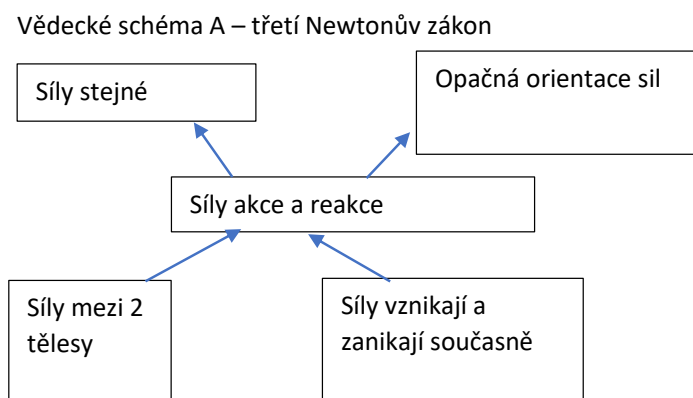
1. Miskoncepce týkající se (ne)symetrie silového působení vycházející typicky z intuitivní představy, že hmotnější či v jistém smyslu aktivnější objekt působí na méně hmotný (či méně aktivní) větší silou než opačně. Tato jediná skupina miskoncepcí je zachycena slavným testem Force Concept Inventory, a to ve čtyřech položkách v různých kontextech. Detailněji je tato problematika rozebrána ve studii [2].
2. Miskoncepce ohledně toho, co je a co není vlastně dvojicí sil akce a reakce. Žáci si vytvářejí zjednodušenou představu, že když máme dvě stejné velké a opačně

orientované síly, jsou to automaticky síly akce a reakce. Přitom již neberou do úvahy, zda síly působí mezi stejnými tělesy. K této miskoncepci často svádí i styl výuky daného tématu, jak bude demonstrováno níže.

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 má velmi blízko k rozdílnému chápání akce a reakce ve fyzice a chemii, na které je tento příspěvek primárně zaměřen.
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 pro elektrické či magnetické síly již zákon neplatí (případně, že dokonce platí pouze pro síly působící dotykem, a nikoliv prostřednictvím pole).

Ilustrace žákovských miskoncepčí na základě výzkumu

V rámci komplexnějšího výzkumu zaměřeného na vliv detailů výuky na žákovské pochopení učiva jsme realizovali didaktickou kazuistiku, v jejímž rámci jsme sledovali vyučovací hodinu zaměřenou na problematiku akce a reakce a následně porovnávali žákovské výsledky v pretestu a posttestu. Pomocí rozhovorů se žáky jsme se rovněž snažili detailněji pochopit jejich mentální schémata v této oblasti a dopad výuky na jejich vývoj. Detailně je výzkum popsán v [3], zde se omezíme na drobnou ilustraci toho, jak snadno a rádi si žáci vytvářejí pro ně jednoduchou a srozumitelnou (ale věcně chybnou) zkratku, že stejně velké a opačně orientované síly jsou automaticky silami akce. Jinými slovy, jak „převracejí“ korektní vědecké schéma pro danou situaci, protože rozhodnutí o tom, zda jsou dvě síly silami akce a reakce by mělo být založeno na posouzení, zda jde o interakci mezi dvěma tělesy a zda jde o síly stejného typu. Pokud je toto splněno, je stejná velikost a opačná orientace již důsledek zákona akce a reakce, jak demonstruje obr. 1.



Obr. 1: Vědecké schéma pro zákon akce a reakce

V rámci uvedeného výzkumu byla žákům mimo jiné zadána úloha, aby rozhodli, která z následujících pěti tvrzení jsou v souladu se zákonem akce a reakce:

1. Pokud na těleso působí dvě opačně orientované síly, mají tyto síly vždy stejnou velikost.
2. Dvě tělesa na sebe působí stejně velkými silami v opačných směrech. Tyto síly vznikají a zanikají současně.

3. Pokud jsou dvě tělesa vystavena opačně orientovaným silám, jsou to vždy síly akce a reakce.
4. Pro každou silovou akci existuje stejně velká a opačně orientovaná reakce.
5. Účinky působení a reakční síly se navzájem ruší.

Protože pro každý podúkol existují dvě správné odpovědi, dostaneme celkem $2^5 = 32$ možných kombinací odpovědí. Tabulka 1 ukazuje četnosti pro každou z těchto kombinací v pretestu a v posttestu (A-A-A-A-N odpovídá Ano pro první 4 podúlohy a Ne pro pátý a poslední podúkol atd.; jsou zahrnuty všechny možnosti, které obdržely alespoň dvě volby v pretestu nebo posttestu).

Tab. 1: Kombinace odpovědí v pretestu a posttestu

Kombinace	Počet voleb – pretest	Počet voleb – posttest
A-A-A-A-N	2	10
A-A-N-A-A	5	5
A-A-A-A-A	3	4
A-A-N-A-N	1	4
A-A-N-A-A	2	4
N-A-A-A-A	5	2
N-A-A-N-N	3	0
N-A-N-A-A	3	1
N-A-N-A-N (správná odpověď)	3	0

Z tabulky 1 je patrné, že v posttestu žáci zdaleka nejčastěji uváděli, že dvě opačně orientované síly jsou automaticky silami akce a reakce, a to bez ohledu na to, zda působí na těleso nebo mezi tělesy, a zda se jedná o síly stejného typu. Jejich odpovědi přitom byly výrazně nenáhodné, protože hned 19 z celkově možných 32 kombinací nezískalo žádnou volbu v pretestu ani v posttestu. Výsledky testování se podařilo i díky poznatkům z rozhovorů se žáky dát do souvislosti s určitými, nepříliš vhodně uchopenými, momenty ze samotné výuky, kdy učitel nevědomky přispěl k tomu, aby si žáci osvojili výše uvedenou zkratku. Detailněji je uvedena problematika popsána ve [3], na tomto místě upozorníme především na skutečnost, že klasické testy (jako například již zmíněný Force Concept Inventory) nezahrnují úlohy umožňující podchytit to, že žáci si uvedenou příliš zjednodušující zkratku vytvořili, protože na úspěšné zvládnutí tam zadaných položek na problematiku akce a reakce by to postačovalo. Učitel tedy musí být opatrný i z hlediska diagnostiky případného problému.

Princip akce a reakce v chemii a souvislost s fyzikou

Nyní obraťme pozornost k tomu, jak tato problematika souvisí s chemií. Tam se v 1. ročníku gymnázia žáci standardně setkávají s tzv. Le Chatelierovým principem, který je často označován v učebnicích a kurikulárních dokumentech jako princip akce a reakce. Jeho formulace se různí, v zásadě jde o to, že **porušení rovnováhy vnějším vlivem (akcí) vyvolává děj (reakci) směřující k rušení účinků tohoto vlivu.**

Typicky je řešen vliv teploty, tlaku, změna koncentrace reaktantů apod. V podstatě se jedná o princip záporné zpětné vazby, jak demonstrují následující případy:

- Při **exotermní** reakci se rovnováha v případě **zahřátí** posune rovnováha na stranu reaktantů (tj. **směrem endotermním**).

- Při reakci, při které se **sníží** počet molů, se v případě **snížení** tlaku posune rovnováha na stranu reaktantů (tj. **k vyššímu počtu molů**).
- Při reakci, při které se **odebírají produkty**, se posunuje rovnováha na stranu produktů (tj. **nahrazuje se koncentrace produktů snižovaná odběrem**).

Na střední škole je problematika řešena kvalitativně, v rámci vysokoškolského kurzu fyzikální chemie však lze odvodit i kvantitativní závislosti rovnovážné konstanty reakce na teplotě (tzv. Van't Hoffova rovnice) či na dalších parametrech.

Pokud porovnáme zákon akce a reakce známý z fyziky a zde uvedený chemický princip akce a reakce, snadno zjistíme, že navzdory prakticky shodnému názvu jde o koncepčně zcela odlišné záležitosti. Jak je patrné z tabulky 2, v chemii jde o kauzální závislost, akce a reakce nemají stejnou velikost, a navíc jde o působení v rámci jedné chemické reakce. Terminologicky je tak shoda názvů pro obě odlišné zákonitosti poněkud nešťastná.

Tab. 2: Srovnání – zákon akce a reakce z fyziky vs. princip akce a reakce z chemie

	Fyzika zákon akce a reakce	Chemie princip akce a reakce
Kauzalita	NE	ANO
Stejná velikost akce a reakce	ANO	NE
Působení „mezi“ nebo „na“	mezi dvěma	v rámci jedné chemické reakce

Vzniká přirozená otázka, jakým způsobem se toto názvosloví historicky utvořilo. Chemikové byli při tvorbě zákonů chemické rovnováhy v 19. století (např. Slavný Guldberg-Waageův zákon působících hmot) výrazně ovlivněni Newtonovskou mechanikou a dnes již překonaným uvažováním o tzv. chemických silách a jejich vyrovnávání konstituujícím výslednou rovnováhu. Walther Nernst poté v roce 1922 ve své slavné učebnici fyzikální chemie použil pro již dříve formulovaný Le Chatellierův princip pojem princip akce a reakce [4], který se poté postupně etabloval v německé jazykové oblasti a i v Čechách (v anglosaském prostředí se v chemii o principu akce a reakce nemluví). Bylo demonstrováno, že žáci často chápou v souladu s překonaným historickým pohledem rovnováhu jako produkt opačných chemických sil [5] a podobně jako ve fyzice mají tendenci i v oblasti chemické rovnováhy vytvářet si určité myšlenkové zkratky, které jsou pro ně snadno uchopitelné, ale při řešení komplexnějších problémů přestávají fungovat [4].

Chápání souvislostí fyziky a chemie učiteli a žáky

V rámci vlastního výzkumu jsme si položili otázku, jak uvedený rozpor mezi fyzikou a chemií vnímají učitelé a žáci. Za tímto účelem jsme realizovali fokusní skupinu se dvěma učiteli Fy bez Ch, dvěma učiteli Fy-Ch a dvěma učiteli Ch bez Fy. Kladli jsme jim například následující tazatelské otázky:

- *Pokud vyučujete Le Chatelierův princip, používáte pro něj v učebnicích běžné přízvisko princip akce a reakce?*
- *Jak chápete vazbu tohoto principu na fyzikální zákon akce a reakce.*
- *Historicky byla chemická rovnováha vysvětlována nesprávně mechanisticky na základě tzv. chemických sil. Máte pocit, že žáci v tomto směru nějak opakují chyby historie?*

Zjistili jsme, že učitelé Ch pojem princip akce a reakce užívají, nad souvislostí obojího se však nezamýšleli a vzájemnou interferenci neřeší stejně jako historické souvislosti. Následně jsme realizovali malý průzkum mezi žáky 1. ročníku čtyřletého gymnázia, kteří se již setkali se zákonem akce a reakce ve fyzice i s principem akce a reakce v chemii. Často zazníval názor, že „v chemii se to vynuluje, ve fyzice nikoliv“, občas byl chemický princip chápán jako speciální případ obecnějšího zákona akce a reakce. Ačkoliv detailnější rozbor je nad rámec tohoto stručného textu, můžeme konstatovat, že ačkoliv se učitelé ani žáci nad souvislostmi fyziky a chemie nezamýšlejí, je poměrně pravděpodobné, že zde kvůli terminologické podobnosti dochází k určité negativní interferenci ve smyslu toho, co je uvedeno v [5].

Závěry a doporučení

Z výše uvedeného je patrné, že v terminologii Fy a Ch vzniká určitý zmatek, který může hloubavější žáky plést. Otázka je, jakým způsobem (a zda vůbec) je možné tento historicky vzniklý stav nějak rozumně řešit. Ideální (ale nereálné) řešení z pohledu autora článku by bylo pojem zákon akce a reakce ve fyzice nepoužívat, nechat prostě 3. Newtonův zákon či pojmenovat jinak. V diskuzích na konferenci se objevovaly návrhy jako zákon vzájemné interakce apod. Je však otázka, zda by měl tento pojem šanci se v praxi uchytit. Méně ideální (a asi stále nereálné) řešení by bylo v chemii užívat jen Le Chatellierův princip bez uvedení akce a reakce, jak to ostatně v řadě zemí je. Je zde samozřejmě otázka, zda by chemici v tomto ohledu chtěli „terminologicky ustoupit“, když jejich pojmenování je více v souladu s tím, jak je uvedený pojem chápán v běžné mluvě. Snad reálné řešení by mohlo spočívat v tom, uvědomit si rozpor mezi obojím, žákům říci, že jde o v principu něco jiného a demonstrovat (například pomocí tabulky uvedené výše) vzájemné rozpory. V chemii i fyzice je pak vhodné mluvit o principu záporné zpětné vazby, který je poměrně častý (např. Faradayův zákon elektromagnetické indukce, resp. Lenzovo pravidlo). Tento přístup by snad mohl pomoci obrátit zápor v klad a umožnit žákům lépe pochopit podstatu jak fyzikálního zákona akce a reakce, tak příslušného chemického principu.

Literatura

1. HEWITT, P. G. Newton's (Often Misunderstood) Third Law of Motion. *The Science Teacher*, 2017, 84.2: 12–14.
2. MASOPUST, P. & KOHOUT, J. Nové experimenty a učební úlohy k zákonu akce a reakce jako kritickému místu kurikula. In Z. Bochníček, P. Konečný (Eds.) *Sborník z konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 26*, 2021, s. 103–112. Masarykova univerzita.
3. KOHOUT, J. & MASOPUST, P. Jak je to se silami mezi magnetem a kouskem železa? Aneb zákon akce a reakce v lehce atypickém kontextu. T. Janík, J. Slavík, & T. Češková (Eds.), *Didaktické kazuistiky a produktivní kultura učení*, 2022, s. 247–263. Masarykova univerzita.

4. QUÍLEZ, J. Changes in concentration and in partial pressure in chemical equilibria: students' and teachers' misunderstandings. *Chemistry Education Research and Practice*, 2004, 5.3: 281–300.
5. NIAZ, M. Chemical equilibrium and Newton's third law of motion: Ontogeny/phylogeny revisited. *Interchange*, 1995, 26: 19–32.

Kontaktní adresa

doc. Mgr. Jiří Kohout, Ph.D.
Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy
Fakulta pedagogická
Západočeská univerzita v Plzni
Klatovská 51, 306 14 Plzeň
Telefon: +420 377 636 305
E-mail: jkohout4@kmt.zcu.cz