

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Dana Mandíková; Pavla Zieleniecová
Intuitivní představy v mechanice

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 38 (1993), No. 4, 233--238

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138762>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1993

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

vyučování

INTUITIVNÍ PŘEDSTAVY
V MECHANICE

*Dana Mandíková, Paula Zieleniecová,
Praha*

Úvod

Článek [1] v letošním druhém čísle PMFA, v němž D. Nachtigall upozornil na význam předvědeckých představ žáků, nám připomenul test, který jsme před několika lety zadávali na matematicko-fyzikální fakultě UK. Výsledky testu mohou dokreslit povahu prvotních intuitivních představ žáků.

Člověk nezískává o okolním světě poznatky jen od jiných osob, např. od rodičů nebo učitelů. K určitým představám dochází sám: pozoruje své zprvu nejbližší a postupně stále vzdálenější okolí, manipuluje v něm s předměty, předvídá, co se v něm bude dít — a okolí mu určitým způsobem odpovídá. Na tomto základě si vytváří řadu poznatků o světě, které se snaží zobecňovat a spojovat do celků podle toho, jak se mu jeví jejich vzájemná souvislost.

Pro výuku fyziky je to podstatná skutečnost. Než žák přijde do školy, která mu zprostředkovává vědecké poznatky, má už vytvořenou značnou zásobu subjektivních představ o světě; není „tabula rasa“, nepopsaná tabule, na kterou učitel může

prostě zapisovat to, čemu chce žáka naučit.

V posledním desetiletí byly intuitivní představy jedním z nejčastějších témat výzkumů věnovaných výuce fyziky (a také dalších přírodních věd), především v západní Evropě a USA. Tyto výzkumy ukázaly, že intuitivní představy jsou pro mnoho žáků a studentů vážnou bariérou, přes níž se při učení těžko dostávají. Jsou totiž velmi stabilní a ve výuce často spolehlivě odolávají. Stává se i to, že si žáci sice osvojí „školní“ poznatky na úrovni vyžadované školou a umějí je úspěšně využívat v situacích, do kterých je škola staví, avšak vedle nich si ponechávají i své staré představy, s nimiž i nadále vystačí v situacích běžného života. Školní poznatky během doby podlehnou zapomenutí — a to, co zůstává, jsou právě intuitivní představy.

Podívejme se nyní na výsledky zmíněného testu, které ilustrují představu studentů o roli síly při pohybu těles.

„Síla způsobuje pohyb“

Ve školním roce 1981/82 jsme na počátku zimního semestru zadali test studentům fyziky a učitelství fyziky.*) Stejný test jsme zadali ve školním roce 1982/83 v několika čtvrtých třídách gymnázia, a pak ve školním roce 1985/86 znovu studentům učitelství fyziky na počátku jejich 5. ročníku studia (tito studenti učitelství

*) Učitelství fyziky v kombinaci buď s matematikou, základy techniky, nebo chemií — studenti této posledně jmenované učitelské kombinace patřili kmenově na přírodovědeckou fakultu UK, avšak celý kurs fyziky absolvovali na MFF UK.

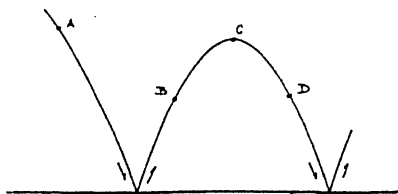
RNDr. DANA MANDÍKOVÁ, CSc. (1960), a RNDr. PAVLA ZIELENIECOVÁ, CSc. (1947), jsou odbornými asistentkami na katedře didaktiky fyziky MFF UK, Ke Karlovu 3, 121 16 Praha 2.

tedy po 4 letech řešili stejný test podruhé).

Test obsahoval 6 úloh, které lze řešit úvahou na základě Newtonových pohybových zákonů, bez použití matematického aparátu. Jako příklad výsledků testu jsme vybrali tři z těchto úloh, na nichž nejlépe vyniknou představy studentů o roli síly při pohybu těles.

1. úloha

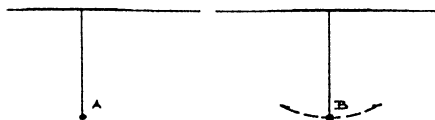
Na vodorovný stůl je hosen míč. Jeho trajektorie je znázorněna na obr. 1. Zakreslete do obrázku vektory sil, které na míč působí, když je v bodech A, B, C, D. Vektory vyznačte pečlivě, aby bylo zřejmé, zda jsou či nejsou stejně velké a jaký mají směr. Zanedbejte odpor vzduchu. Zdůvodněte svoji odpověď pro body A, B, C, D.



Obr. 1.

2. úloha

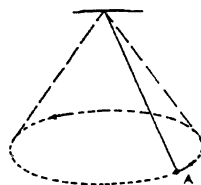
Dva hmotné body A, B o stejné hmotnosti visí na stejných vláknech (tj. na vláknech, která mají stejnou délku a stejné vlastnosti). Hmotný bod A je v klidu. Hmotný bod B kývá ve vodorovné rovině a právě prochází nejnižším bodem své trajektorie. Vyjmenujte všechny síly, které na oba hmotné body působí, a zakreslete je do obr. 2. Dbejte, aby z nákresu bylo zřejmé, zda síly mají či nemají stejnou velikost a orientovaný směr. Síly tření a odpor vzduchu zanedbejte. Svoji odpověď zdůvodněte.



Obr. 2.

3. úloha

Na obr. 3 je kónické kyvadlo. Hmotný bod A je zavěšen na závěsu a pohybuje se po kruhové trajektorii ve vodorovné rovině. Závěs opisuje při pohybu plášť kužele. Doba oběhu je konstantní. Odpor vzduchu a tření v závěsu jsou zanedbatelné. Vyznačte do obr. 3 výslednou sílu, která působí na hmotný bod A. Svoji odpověď zdůvodněte.



Obr. 3.

Při zadávání testu dostali studenti pokyn, aby úlohy řešili vzhledem k inerciální vztážené soustavě. Výsledky shrnuje tabulka I. Pro porovnání v ní uvádíme i výsledky stejných úloh, jak je řešili studenti v SRN (podle [2]).

V tabulce si všimneme nejprve části I, v níž je shrnut celkový počet nesprávných odpovědí. Uvedená poměrná čísla jsou dosti vysoká. Zejména ve skupinách, které nejsou speciálně zaměřené na fyziku, je neúspěšnost v některých případech téměř stoprocentní. Ale i studenti, u nichž lze předpokládat větší než průměrný zájem o fyziku, větší schopnosti pro její studium i hlubší vědomosti, byli v testu překvapivě málo úspěšní.

V nesprávných odpovědích najdeme několik chyb, které se, s malými obměnami,

často opakují. Mezi nimi zvláště vyniká jeden typ odpovědi, který svědčí o tom, jakou představu mají studenti o roli síly při pohybu těles.

V úloze 1 najdeme např. takovéto odpovědi (v závorce je uvedeno číslo skupiny, do níž patří autor odpovědi):

„Ve všech bodech na míč působí tíha G a síla tečná k trajektorii.“ (5)

„A: Výslednice ve směru tečny. Dána součtem dvou vektorů sil — síly gravitační a síly vodorovné (směr hodu). B: Výslednice ve směru tečny. Dána součtem tří vektorů sil — 1) vektor gravitační síly

Tabulka I. Výsledky řešení testu

Skupina	N = počet studentů	I			II		
		celkový počet nesprávných odpovědí v %			celkový počet odpovědí v % síla ↔ pohyb		
		1	2	3	1	2	3
1	77	56	96	65	47	28	22
2	108	74	95	54	68	42	27
3	70	90	99	85	78	66	54
4	48	29	90	29	25	10	17
5	150	97	100	97	75	65	60
6	151	71	96	84	—	—	—
7	52	92	96	82	—	—	—
8	27	60	96	72	—	—	—
9	18	75	90	70	—	—	—
10	27	96	100	100	—	—	—
11	26	96	100	100	—	—	—

Vysvětlivky k tabulce

Skupiny našich studentů:

1) Studenti MFF UK Praha, obor fyzika, 1. semestr — před zahájením výuky fyziky, září 1981.

2) Studenti MFF UK Praha, obor učitelství matematika-fyzika a fyzika-základy techniky, 1. semestr, po probrání dynamiky hmotného bodu v přednáškách a cvičeních, říjen 1981.

3) Studenti PřF UK Praha, obor učitelství fyzika-chemie, test zadán ve stejné době jako ve druhé skupině.

4) Studenti PřF UK ($N = 8$) a MFF UK ($N = 40$), učitelské obory, 9. semestr; tyto studenti řešili stejný test v 1. semestru svého studia (jejich tehdejší výsledky jsou zachyceny v předchozích skupinách 2 a 3).

5) Studenti 4. ročníku dvou pražských gymnázií, listopad 1983.

Skupiny západoněmeckých studentů:

6) Univerzitní studenti, kteří mají fyziku jako hlavní obor, 1. semestr, po 6 týdnech přednášek z klasické mechaniky.

7) Univerzitní studenti — obor učitelství fyziky, 1. semestr, test zadán v prvním týdnu výuky.

8) Univerzitní studenti, kteří mají fyziku jako vedlejší obor, po dvousemestrálním kursu fyziky.

9) Studenti posledního ročníku gymnázia s rozšířenou výukou fyziky.

10) Studenti posledního ročníku gymnázia s normálním rozsahem výuky fyziky.

11) Studenti večerní střední školy, stáří 25–45 let, 3. ročník.

F_1 , 2) vektor síly pohybující tělesem nahoru F_2 , $F_2 > F_1$, 3) vektor síly pohybující tělesem doprava F_3 . C: Výslednice ve směru tečny, analogické $B - F_1 = F_2$. D: Výslednice ve směru tečny. Analogické $B - F_1 > F_2$.“ (1)

„A, B, C, D: Výslednice sil působících na míček má směr tečny ke dráze.“ (4)

Síla tečná k trajektorii (studenti ji často nazývají „setrvačná“ nebo „pohybová síla“) je podle představy studentů, kteří takto odpovídají, buď výslednicí nějakých dílčích sil (mezi nimi se, vedle síly gravitační, resp. tíhové, objevuje „síla houdu“ či „síla ruky“ — ta je vodorovná — a „síla odrazu“ mířící svisle vzhůru), nebo vystupuje jako jedna z dílčích sil působících na míč.

Podobné odpovědi nalézneme i v dalších úlohách. 2. úloha:

„Na bod B působí tíhová síla, síla pevnosti závěsu a síly kmitavého pohybu F_1 , F_2 .“ (5; v obrázku jsou zakresleny dvě stejně velké síly ve vodorovném směru, jedna mířící doprava, druhá doleva).

„Na hmotný bod B působí tíha G , síla F , která napíná vlákno a síla F_1 , která způsobuje pohyb.“ (1; síla F_1 je vyznačena vodorovnou šipkou mířící doprava).

3. úloha:

„Působí tíže a síla pevnosti závěsu, výslednice se ruší s odstředivou silou na dané dráze a celková síla (tečná ke dráze) je síla dopředná.“ (5)

„Na těleso působí dostředivá a odstředivá síla, které se vyruší. Dále působí síla F ve směru tečny ke dráze.“ (2)

„Síla — stejný směr jako rychlost.“ (4)

Mnozí z testovaných studentů jsou tedy přesvědčeni, že pro pohyb tělesa je nezbytné, aby na ně působila síla ve směru tohoto pohybu. V některých odpově-

dích je explicitně uvedena přímá souvislost „pohybové síly“ s rychlostí tělesa. Původce této síly je podle představy studentů někdy zjevně v tělese, jindy je tato síla či její složka vštěpena tělesu zvenčí (rukou, odrazem) a přetrvává v něm. Často však autoři podobných odpovědí neprojevují potřebu pátrat po jejím původu.

Podíl odpovědí vyjadřujících představu o „síle způsobující pohyb“ v celkovém počtu řešení testu je uveden ve II. části tabulky 1.*) Je vidět, že to zdaleka není představa ojedinělá.

Čísla uvedená v tabulce zdaleka nemají svou příčinu v konkrétním testu, který jsme použili. Nedá se také říci, že právě jen naši (a němečtí) studenti, kteří test řešili, mají tak špatné vědomosti. Představa o „síle způsobující pohyb“ je všeobecně rozšířená, jak o tom svědčí výsledky řady průzkumů prováděných pomocí různých testů v různých zemích. Najdeme ji u malých dětí, které ještě nezasáhla školní docházka, u dobrých i slabších žáků a studentů, kteří mají za sebou kursy fyziky v nejrůznějších rozsahu a uspořádání, i u dospělých, kteří již školu opustili. Představa o „síle způsobující pohyb“ přetrvává i několikanásobně probírání klasické mechaniky ve škole. U některých ze skupin studentů zachycených v tabulce I to bylo třikrát — na základní, střední a vysoké škole, u ostatních dvakrát.

Ukážeme ještě několik dalších častých intuitivních představ, s nimiž se můžeme

*) Pro skupiny německých studentů nejsou v [2] uvedeny odpovídající číselné údaje. V podrobném rozboru však autor konstatuje velký podíl nesprávných odpovědí vyjadřujících představu o síle způsobující pohyb. Rovněž uvedená typická zdůvodnění nesprávných odpovědí jsou analogická těm, která uváděli naši studenti.

setkat u žáků a studentů v mechanice (podle [3]–[8]).

Intuitivní mechanika

Představa o tom, že pro pohyb tělesa je potřebná síla působící ve směru pohybu, odráží svět pohybu tak, jak se člověku jeví při bezprostředním, nijak neupraveném vnímání. S pohybem těles je spojena i celá řada dalších subjektivních poznatků, které jsou často velmi odlišné od toho, co říká klasická mechanika.

Mnoho lidí považuje klid a pohyb za dva kvalitativně zcela odlišné stavy. Pro jejich rozlišení je určující absolutně chápáný vztahový systém, jímž je povrch Země. Každé těleso, na které nepůsobí síly nebo je jejich výslednice nulová, setrvává vzhledem k Zemi v klidu a obráceně, je-li těleso v klidu, pak na ně nepůsobí vůbec žádná síla. Např. na knihu položenou na stole nepůsobí žádná síla, neboť podložka svou pevností „zruší gravitaci“. Na druhé straně každý pohyb musí mít nějakou příčinu.

K nejrozšířenějším patří již výše uvedená představa o tom, že pro každý pohyb (i rovnoměrný) je nutná síla, která má směr pohybu. Tato síla může na těleso působit buď zvenčí, nebo je to jakási „vnitřní síla“ přenesená na těleso. S druhým typem představy se setkáváme zejména u pohybů vržených těles, např. když studenti popisují pohyb mince hozené svisle vzhůru. Často jsou přesvědčeni, že na minci působí v průběhu pohybu konstantní tíhová síla G a „síla ruky“ F , která má směr svisle vzhůru. Velikost síly F se postupně zmenšuje, při pohybu vzhůru však musí být $F > G$. Ve vrcholovém bodě se obě síly vyrovnají a při pohybu dolů je pak $G > F$. Povahu „vnitřních sil“ mají rovněž již zmíněné „setrvačné síly“ a „síly

hodu“ či „odrazu“ v řešení úloh našeho testu.

Pohyb tělesa může být podle intuitivních představ brzděn vnitřním odporem tělesa proti pohybu (tento odpor se často ztotožňuje s hmotností či tíhou), odporem prostředí a překážkami, které leží tělesu v cestě. Tyto příčiny brzdění však nebývají spojovány s „odporovými silami“, zvláště ne v posledním případě.

Co se týče vztahu síly a rychlosti, domnívá se mnoho studentů, že konstantní síla způsobuje pohyb konstantní rychlostí a že každý zrychlený pohyb je vyvolán silou o rostoucí velikosti. Síla a rychlost mají pro mnohé stejný směr.

Řada nesprávných představ je spojena se vzájemným působením těles. Často se lze např. setkat s názorem, že při vzájemném působení dvou nestejných těles dominuje jedno nad druhým: většinou působí větší těleso na menší větší silou, méně často se lze setkat s názorem, že na větší těleso působí větší síla. Rovnost velikostí sil jsou studenti ochotni připustit, mají-li tělesa stejnou hmotnost a jsou-li v klidu. Jestliže se tělesa pohybují, musí být „akce větší než reakce“. Tlačíme-li např. vozík, musíme na něj působit silou, která má větší velikost než síla, kterou vozík působí na nás. Někteří studenti pokládají síly vzájemného působení za časově posunuté — nejprve působí akce, potom reakce. Snad nejčastěji se vyskytuje mylná představa, že síly akce a reakce působí na totéž těleso, mohou se spolu sčítat a v případě stejného směru a velikosti se ruší.

Studenti se mnohdy domnívají, že silou mohou působit jen pohybující se tělesa nebo živé objekty. Výjimku tvoří motory, napjatá vlákna a pružiny, magnety a elektricky nabitá tělesa. Působit silou znamená jistou aktivitu, námahu. Tlačí-li např. člověk na stěnu, je aktivní, působí

na ni silou, stěna však jen drží, je pevná, na člověka silou nepůsobí. Nebo: drží-li člověk v ruce knihu, působí na ni silou, vynakládá úsilí, působí proti tíze knihy. Jinak je tomu v případě, kdy je kniha položená na stole — stůl knihu svou pevností „jen podpírá“.

Ve výčtu intuitivních představ souvisejících s pohybem těles by bylo možné ještě dále pokračovat. Problematika pohybu není ovšem jediná, v níž mají studenti na svět pohled odlišný od toho, který se jim snažíme zprostředkovat ve výuce fyziky. Intuitivní představy se váží ke všem situacím a jevům vytvářejícím životní prostředí člověka — od pohybu těles k teplu, zvuku, světlu, elektřině a magnetismu, přes jevy kosmologické k jevům souvisejícím s chemií látek až k živé přírodě.

V mnoha případech jsou intuitivní představy nápadně podobné poznatkům předgalileovské přírodovědy, jak se na to upozorňuje i v [1] — především aristotelovským názorům na pohyb těles, a také pozdější teorii impetu.

Závěr

Chyby v řešení úloh našeho testu, které jsme uvedli jako příklad, nejsou většinou prostě jen chyby ukazující, že se studenti málo učili látce probírané ve škole. Jsou výrazem hlubších zábran, které studenti mají v přijímání jiného, newtonovského pohledu na svět a jiného způsobu přemýšlení o něm.

Intuitivní představy vyjadřují spontánní, intuitivně a egocentricky získané poznání o tom, jak se vůči člověku chová vnější svět, a také zkušenosti s tím, jak se člověk může efektivně chovat vůči tomuto světu. Slouží jako určité modely, na jejichž základě si člověk vysvětluje svět, předvídá jevy, které v něm nastanou a

podle toho řídí své chování. Jsou to v jistém smyslu modely „nultého řádu“, které v běžném životě velmi dobře fungují, i když člověk si je ani nemusí uvědomovat, a zpravidla je neumí ani slovně vyjádřit a sdělit ostatním.

Ve způsobu, jakým se intuitivní představy vytvářejí, a také v jejich dobré použitelnosti v běžném životě, je zřejmě klíč k jejich trvalosti, která vzdoruje školní výuce. Malá úspěšnost výuky fyziky v předávání vědeckých poznatků netkví jenom v tom, že se studenti tyto poznatky ne naučí, ale také — a to může být mnohem důležitější — že se nedaří jim ukázat, jaký zlom v myšlení a metodách poznávání tyto poznatky znamenají ve srovnání se spontánním, bezprostředním nazíráním na svět.

L i t e r a t u r a

- [1] D. NACHTIGALL: *Krise výuky fyziky a východisko*. PMFA 38 (1993), č. 2.
- [2] D. NACHTIGALL: *The Pre-Newtonian Concept of Motion in the Minds of Students*. Referát na konferenci: *Methods of Teaching Physics*, Khon Kaen University, Thailand, 1981.
- [3] D. NACHTIGALL: Die Rolle von Praekonzepten beim Lehren und Lernen von Physik. *Physica Didactica* 13, Sonderheft 1986, s. 97–101.
- [4] *Naturwissenschaften im Unterricht*. Physik/Chemie 34 (1986), č. 13. (Celé číslo je věnováno intuitivním představám.)
- [5] P. C. PETERS: *Even honors students have conceptual difficulties with physics*. *Am. J. Phys.* 50 (1982), č. 6, s. 501–508.
- [6] *Physics Education* 20 (1985), č. 4. (Celé číslo je věnováno intuitivním představám.)
- [7] J. OGBORN: *Understanding students' understanding. An example from dynamics*. *Eur. J. Sci. Educ.* 7 (1985), č. 2, s. 141–150.
- [8] D. MANDÍKOVÁ: *Intuitivní představy o pohybu a síle*. Kandidátská disertační práce. Praha 1990.