

Jaroslav Friedrich

Poznámky k výkladu pohybu křivočarého a síly odstředivé. [II.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 58 (1929), No. 3-4, D40--D44

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/124030>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1929

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>

(AgCl) se netvoří (tak jako netvoří se, jak již uvedeno, po přímém smíšení obou roztoků). Sůl stříbrná (vl. Ag⁺) v roztoku jest zkoumadlem patrně jen pro chloriόν (Cl⁻) a srážení chloridů (elektrolytů) z roztoků dusičnanem stříbrným jest tudíž reakce iontická a lze ji proto obecně psáti: Cl⁻ + Ag⁺ = AgCl (ssedlina).

JAROSLAV FRIEDRICH:

Poznámky k výkladu pohybu křivočarého a síly odstředivé.

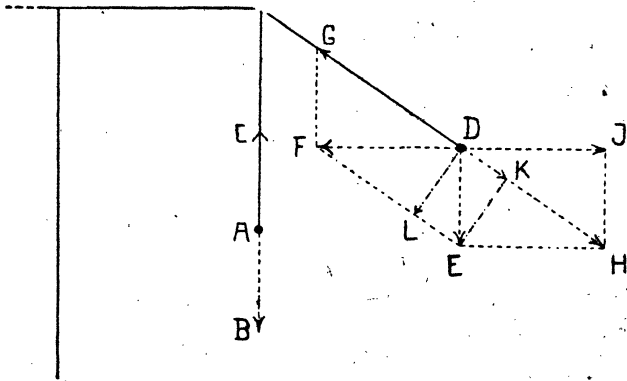
(Dokončení.)

Při výkladu síly odstředivé je mi hlavním cílem vyvésti žáky z nesprávných představ, k nimž svádí běžný způsob vyjadřování se. Dotážete-li se po zkušenostech žáků, uslyšíte, že kapka s brusu, bláto s kola, kámen z praku, automobil v zatáčce »odlétá« silou odstředivou, že sedadlo zavěšené na kolotoči se vyklání silou odstředivou. Tento výklon konečně probíhá — ovšem jen z počátku pohybu — »odstředivě«, v případech »odletění« konstatují však sami žáci, že tu není známky působení radiálního, nýbrž že předmět se pohybuje směrem tečny a vysvětlí to současností, vazbou síly odstředivé a dostředivé. A což velikost síly odstředivé? Prý stejná jako dostředivé — podle principu akce a reakce! Ale čím potom při této domnělé rovnosti protisměrných sil vysvětliti fakt, že předmět přece krouží? Jak z tohoto rozporu?

V každé třídě vyskytne se několik žáků bruslařů, kteří budou mít zkušenosti ze skupinové jízdy zvané »hodiny«. Řada jich se skutečně také sestaví a způsob kroužení naznačí. Žák tvořící osu poví ostatním, jak mohutný cítí při rychlé jízdě v pažích tah směrem *od* středu, žák krajní *C* pocituje tah *pouze* směrem *ku* středu, žáci prostředníci *A*, *B* cítí tah v obou pažích. Jak si vysvětlíme kroužení žáka *B*? Dostředivé napětí v jeho paži směrem k ose musí dodati potřebnou sílu pro kroužení hmoty *B + C*, odstředivý však tah v paži druhé vyvolán je pouze hmotou *C*. Krouží tudíž hmota *B* rozdílem obou sil, výrok o rovnosti síly odstředivé a dostředivé může se týkati pouze hodnot jejich na styčné plochy téhož příčného řezu (přibližně v místě styku dlaní, přesněji nákresem na rotující tyči). Žáci přicházejí tímto způsobem k poznání, že dlužno odlišovati, na které těleso uvažovaná síla působí: hmota obvodová podléhá pouze síle dostředivé, osa pouze síle odstředivé, hmota sprostředkující silám oběma. Kdyby každý žák byl spojen s osou zvláštním lánem, pocítoval by sílu odstředivou pouze žák tvořící osu. V příkladech úvodem citovaných jak »odletění«, tak i »vyklánění« jsou prostě projevem setrvačnosti hmoty při úplném

neb částečném nedostatku síly dostředivé, i je třeba vésti žáky k tomu, aby se v tomto smyslu důsledně vyslovovali. Správně užívá termínu odstředivé síly technik při výpočtu namáhání osy a pevnosti rotujícího materiálu. Při úvodním pokusu kulička krouží dostředivým napětím, vyvolaným vahou závaží, tato zase naopak odstředivým tahem vyvolaným setrvačností kuličky je kompensována.

Při tomto precisování stavu sil je ovšem vyloučeno připustiti všechny ony výkladové varianty zjevů »odstředivých«. Vzorem cvi-



Obr. 2.

číme případ tělesa zavěšeného na okraji kolotoče. Znázorní se na nějakém otáčivém vodorovném kotouči (na př. Anschützově stroboskopu) a, ježto pro vniknutí do děje je radno pozorovati síly ve stavu zrodu i proměny, užije se pro záves pružiny. Po řadě zjistí se pak: Po zavěšení předmětu vzrůst napětí až do kompenzace s vahou jeho, úplný nedostatek síly dostředivé, proto oddálení předmětu od osy i bodu závěsného vlivem setrvačnosti při prvním tangenciálním impulsu, tím způsobený evidentní vzrůst napětí v pružině až do stavu ustálenosti. Podstatu tohoto i všech jiných obdobných zjevů tvoří tedy fakt, že výslednice,¹³⁾ vznikající skládáním váhy tělesa s rostoucím¹⁴⁾ napětím pružiny postupně odkláněné tělesem setrvačnosti se vzdalujícím, doroste konečně na hodnotu, jež donutí těleso pohybovati se rovnoměrně po kruhové dráze v jisté dosažené vzdálenosti. Příslušný rovnoběžník sil *DEFG* (obr. 2) vystihuje děj nejen věcně správně, ale vyznačuje se také jednotností (do obrazce vcházejí výhradně jen síly, jimž podléhá předmět¹⁵⁾).

¹³⁾ Přiložení k vychýlené pružině rovnoběžník sil z tyčinek (meccana).

¹⁴⁾ Dobré cvičení poskytuje otázka po vysvětlení, proč u tělesa zavěšeného na »kolotoči« zemskejším jeví se naopak tah zmenšený.

¹⁵⁾ S tohoto stanoviska nelze uznati námitky Poskeovy, ježž postrádá v tomto obraze odstředivého tahu jakožto síly primární. (»Die Zentrifugalkraft«, str. 68.)

a jež jednotlivě lze prokázati) i ekonomii (netřeba k výkladu již přibírat dalších sil) a poskytuje logicky onu sílu, jež v koexistenci s tangenciální rychlostí udržuje onen krouživý pohyb, jako výslednici. Všechn těchto vlastností rovnoběžníky variant postrádají. Že zvýšený tah DG je součtem dvou vlivů — tíže a setrvačnosti — vychází již z pokusu, otázka však, jaký je jejich podíl na něm a jak se s rostoucí rychlostí mění, může — myslím — býti vůbec ponechána stranou.¹⁶⁾

Ve variantě vedoucí k rovnoběžníku $DHEF$ vidím příklad jedné kategorie intelektualismu ve smyslu Volkmannově:¹⁷⁾ Formálně korektní aplikace běžného rozkladového mechanismu vede tu ke správné sice situaci a hodnotě, avšak skutečnému ději neodpovídá.¹⁸⁾ Jak odpovědět žákovi na otázku, proč v tomto případě tíže »se rozkládá« jinak než u obyčejného kyvadla? Je rozklad síly dějem, který sám od sebe v přírodě v dané situaci se vytváří, či smí si jej lidský intelekt upravit podle své potřeby? Jsou-li síly DH , DF produkty tíže, který potom krok v konstrukci je výrazem vlivu setrvačnosti?

Také třetí řešení rovnoběžníkem $DJHE$ se zavedenou odstředivou silou DJ nese známky onoho, zvláště škoře nezdravého intelektualismu. K podepření této konstrukce musí se nejprve pro sílu DJ , ve skutečnosti neexistující, vytvořiti uměle pojem f i n g o v a n é odstředivé síly,¹⁹⁾ naproti tomu skutečná síla dostředivá se ignoruje. Tento způsob, vyjadřující vlastně stav rovnováhy vzhledem k rotující soustavě, má sice své místo v úvaze podle principu D'Alembertova, při prvním uvádění do problému byl by však takový výklad nemístným zatížením a bez něho vznikaly by zase pochybnosti a zmatek.

Provedenou úvahou vyřízeny jsou v podstatě také případy těles pohybujících se v křivé dráze na nakloněné ploše; jen tu místo

¹⁶⁾ P o s k e se jí podrobně zabývá ve své monografii »Die Zentrifugal-kraft« v kapitole o odstředivém kyvadle, str. 70.

¹⁷⁾ P a u l V o l k m a n n, Fragen des physikalischen Schulunterrichts, str. 13.

¹⁸⁾ Proti tomuto rozkladu vyslovuje se v souhlase s Grimsehem také P o s k e v didaktice na str. 258 a v monografii o odstředivé síle na str. 67. Na tomto místě však námitkou o kolmosti jedné složky, ani námitkou, že složka druhá je větší než rozkládaná síla, není vystižena správně podstata závady, neboť ta trvá na př. i v případě vlivu zemské rotace na zrychlení tíže, ač zde obě vytykané vlastnosti odpadají.

¹⁹⁾ Viz na př. F ö p p l, Vorlesungen über technische Mechanik, I, § 14, kde však po vysvětlení motivu jejího zavedení správně a s důrazem se připomíná, že je to jen libovolně zavedená veličina matematická, jež mimo to musí býti myšlena jako působící na zcela jiné těleso, než skutečná síla odstředivá; a že záměna obou sil může svést k hrubým chybám. V textech středoškolských bývá po výkladu pravého stavu připojován jen tu a tam (jako v cit. článku V o s s o v ě) také správný výklad této varianty, avšak dodatkové poznámky varovné nejsou pro prospěch z ní právě slibným znamením.

zvýšeného tahu v závěsu nastupuje zvýšený tlak půdy. Základní myšlenku dobře znázorní pokus s míčkem, jenž se nechá najeti na zakřivený svah, improvizovaný cípkiem tenkého plechu (nebo lepenky) vhodně k desce stolu přitlačeného. Míček puzený účinkem setrvačnosti dovnitř této »stráně«, vyvolává zvýšený její kolmý odpor a skládáním s vahou jeho tvoří se dostředivá síla. A podobným »svahem« je v zatáčce půda na závodišti, na železniční trati i rýha vrytá do ledu hranou brusle.²⁰⁾ Dobré kritérium porozumění poskytne pak v známém příkladě na kolejnici²¹⁾ otázka, jak si žáci představují onen »tlak na obě kolejnice stejný«. Odpovědi budou současně měřítkem vhodnosti citované stylisace.

Poske ve své monografii po obšírné revisi pojmů setrvačnosti, síly, odporu tuhého tělesa, principu akce a reakce, zákonu rázu a po rozboru jednotlivých zjevů odstředivých konstatuje v závěru různé jejich typy a shledává jednu z příčin zmatku o odstředivé síle ve snaze vykládati je vesměs podle jediného schematu. Se stanoviska Poskeova by tedy důslednost, na kterou v této partii kladu váhu, nebyla na místě. Podle čeho tu rozhodnouti? Jednotnost postupu mnou naznačeného záleží v tom, že naprosto eliminuji sílu odstředivou, pokud nejde o hmotu, jejíž odporem křivočarý pohyb je vynucen, přihlížím za to k vlivu setrvačnosti a operuji důsledně v každém případě bez rozdílu se silou dostředivou, jejíž existenci resp. vznik, případ od případu, vyšetřuji. Poskeovi vznikají rozdíly v podstatě z dvojí okolnosti: z ostrého rozhraničení vynucených pohybů, podle toho, zda jsou působeny tělesem pružným či tuhým, a z odlišování, která z obou sil je primární. Tento druhý moment pro otázku oprávněnosti vylíčeného postupu vzhledem k předchozí poznámce o vyšetření vzniku síly dostředivé nepadá na váhu. Zbývá okolnost první. Ona diferenciací má za následek, že při tuhé překážce neexistuje pro Poskeho síla dostředivá vůbec, že však naproti tomu do úvah vcházejí vedle sil skutečných také síly náh a r a d n í a f i n g o v a n é. A tu pochybují, ponechávají otázku věčné oprávněnosti Poskeových předpokladů stranou, že by taková spleť možností byla žákovi k prospěchu. A přímo ke škodě jeho zdá se mi býti, že se připravuje myšlenkou absolutně nepružného tělesa o onu v mechanice tak vydatnou pomůcku pro správné vycítění sil, o cvičení představitosti pro tlaky a napětí vznikající při deformaci pružného tělesa. Obtíží, že odpor tělesa nejví se býti silou h y b n í o u, stačí podle mého soudu čeliti prostě představou deformace, byť jen

²⁰⁾ Zajímavý je sledovati odchýlný původ sklonu v případech této kategorie. Odstředivá výchylka tělesa na kolotoči zavěšeného vytváří se automaticky, těleso setrvává v rovnováze stabilní. U tělesa podepřeného to bez cizího zásahu není možno. Bylo by nutno těžiště uvést do takové polohy, aby účinek setrvačnosti vzdálenost od podpory z m e n š o v a l, a toho lze dosáti přiměřeným sklonem d o s t ř e d i v ý m. Člověk v zatáčce přejde do této polohy instinktivně. Rozšíření podpory labilnost umenší; rovněž příznivě působí souhlasný sklon půdy.

²¹⁾ Mašek, Fysika I., 4. vyd., str. 67.

minimální, kterou v praxi lze připustiti u hmoty každé. Důvody didaktické rozhodovaly by tudíž spíše pro jednotnost výkladu.

Ještě k jedné zásadní věci dlužno zaujmouti stanovisko. Poske ve své monografii i didaktice rází cestu nové myšlenky, zahájiti totiž tuto kapitolu úvahou o ději o d s t ř e d í v é m jakožto primárním,²²⁾ a činí tak výpočtem — odstředivého zrychlení! Termín ten překvapuje, vždyť při ustálené rotaci neprojevuje se odstředivý tah pohybem. Ale vznikl by, vymizet síla dostředivá, a dospívá zdc tedy pochod myšlenkový k síle odstředivé neobvyklou cestou přes zrychlení nevlastní a to ještě myšleného pohybu bezsilového. Pokud se týče detailů, odkazují na výpočet uvedený v článku Ondrákové na str. 35 (případ kuličky roztočené v kruhu). Autorem této originální, časově nejstarší dedukce pro sílu odstředivou je sám Huygens,²³⁾ a Poske hodnotí koncepci tu, založenou »na pohybu jen myšleném, takřka virtuálním« a nezatíženou prý ještě scholastikou systému, jako klasickou a geniální (Didl., str. 249 a 251). Pro školu zdá se mi však didakticky velmi povážlivým opíratí nesnadnou tuto kapitolu o základy tak pochybného rázu, jako jsou užitá zde ekvivalence statického účinku síly reálné s dynamickým účinkem síly virtuální a neúplná analogie. Na pováženou je, myslím, zvláště krok od zrychlení k síle, neboť otázka po platnosti dynamického zákona také pro sílu virtuální — neodmítně-li se vůbec pro bezpředmětnost — mohla by býti zodpověděna teprve ex post. Pro vliv hmoty pomáhá si Huygens alespoň analogií (l. c., str. 42), ač pro různost podmínek srovnávaného případu (předmět visící na vlákně) sotva je oprávněna. Poske však provází tento krok prostě poznámkou, že »nepotřebuje vývodů« (Didl., str. 251). Právem také vidí Ondrák nevýhodu navrhované metody, ač jinak uznává její názornost a jednoduchost, v přibližnosti výpočtu, avšak podle mého soudu závažnější jsou uvedené námitky fyzikální. Za to námitka Hahnova (l. c., str. 368), že »trvale působící síla dostředivá musí býti dedukována z oblouku menšího než kvadrant«, nezdá se mi býti na místě. K zeslabení pronesených pochybností mohl by ovšem někdo spatřovati doklad správnosti postupu ve shodě výsledku, ale k tomu stačí poznamenati, že celou úvahu lze, abych tak řekl, přeložiti do mluvy dostředivé, postup bude zbaven virtuálnosti, vše dostane své fyzikální oprávnění, a původ oné shody je tudíž pochopitelný.

Z těchto všech důvodů mám za to, že postupu Poskem navrhovaného není radno při vyučování užívatí. Postupovati přísně geneticky bylo by sice sympatické, ale to naráží na překážky nejen škole, ale snad i vědě nepřekonatelné.

²²⁾ S názorem tímto polemizuje, ač ne právě šťastně, Hahn ve své metodice, str. 365.

²³⁾ Viz citované jeho pojednání.