Vladimír Ryšavý

Akce a reakce. Síla odstředivá

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 62 (1933), No. 4-5, D37--D40

Poněvadž úhel, o který se rovina kyvů stočí za jednu hodinu, činí 11,5°, za čtvrt hodiny 2,9°, za deset minut asi 2°, tedy konec metrové tyče dlužno posunouti asi o 5 cm resp. 3,4 cm, aby její osa splynula s rovinou kyvů. Volíme-li ovšem tyč delší, je stáčení ještě patrnější.

Popsaný pokus lze velmi snadno improvisovati při použití pomůcek jsoucích v každých sbírkách. Drát musí být v místech, kde naráží na prstenec, holý a bez lomů. Postačí zúplna měděný drát 1/2 mm silný, třeba opředený, jen vprostřed zbavený isolace. Upevnění ke kroužku, jakož i k závaží budiž takové, aby vše bylo jako z jednoho kusu. Proto ovineme konec drátu několikrát kolem kroužku a pak ještě kolem svislého drátu pod kroužkem, stejně i u závaží, jak je to vyznačeno na obrázku. Dbáme-li těchto pokynů, zdaří se pokus *zcela bezpečně*. Obtíž působí jen upevnění prstence. Z nouze postačí, když jej dřevěným svěrákem připevníme k těžkému posuvnému stolku.

Kyvadlo vydrží kývati 1/2 hod. Činí-li pozorovací doba vždy 10 minut, můžeme se v půlhodině přesvědčiti třikráte o směru a velikosti stočení roviny kyvu. Také můžeme opsati volným koncem pravítka za pomoci křídy oblouk a nanésti od počáteční polohy 3 obloučky, třeba po 3,4 cm a posunouti pravítko předem do vyznačených poloh. Vždy po 10 min. musí se rovina kyvů s osou měřítka ztotožniti. Pokus se daří i s kratším, několik dkg těžkým kyvadlem.

Dr. VLADIMÍR RYŠAVÝ:

Akce a reakce. Síla odstředivá.

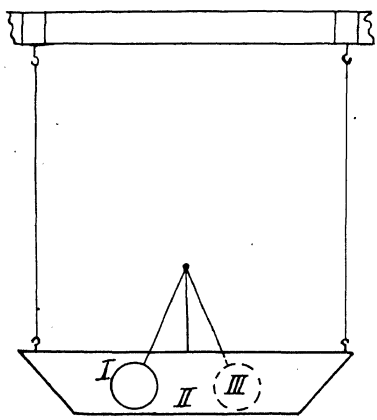
Nesnáze při výkladu síly odstředivé upozorňují, že kořenem zmatku je nejasné chápání zdánlivě průhledného principu akce a reakce. Principy vůbec svádějí svou jednoduchou formulací a zdánlivou samozřejmostí k povrchnímu výkladu, který opomíjí důkladnou analysu pojmů. Výklad takovýchto partií měl by začínati vždy příkladem, kde by žák narazil na překvapující potíže, aby viděl, že věc vyžaduje pečlivého zkoumání. Ke konci výkladu se pak doporučuje uvésti zajímavé užití v technické praksi nebo v jiném odvětví vědy, kde by žák pronikavé uplatnění těchto jednoduchých vět ani nečekal.

A. Nejprve se vynasnažím prohloubiti výklad principu akce a reakce. Táhneme-li rukou za siloměr zavěšený na pevném háku na př. silou 5 kg, péro se prodlouží o 5 dílků a nastane klid. Soudíme, že se svalová síla na hák (akce) ruší stejně velkou silou pružnosti péra, která má směr opačný (reakce). Podobně i každý tlak je provázen stejně velkým protitlakem. A nyní se obyčejně hned vysloví princip v případě klidu těles: reakce vždy se rovná akci, ale je směru opačného. Je však nutné upozorniti, co míníme akcí, co reakcí. Akcí tu rozumíme sílu tělesa A, která děj započne (způsobí relativní zrychlení nebo deformaci tělesa B); reakce je pak trpný odpor tělesa B působící na těleso A. Zde bylo možno snadno rozhodnouti, která síla děj aktivně započala; byla to naše síla svalová provázená vědomím vůle způsobiti tah. Jsou-li obě tělesa v klidu neživá (kámen ležící na zemi), neříká toto kriterium nic a je pak lhostejno, co považujeme za akci a co za reakci.

Na oba konce vodorovného siloměru zavěsme provázky přes dvě kladky po 1 kg. Jakou sílu ukáže siloměr? Polovina žáků odpoví 2 kg. Druhá polovina tuší úskok a zachovává diplomatickou neutralitu. Je třeba vyložit, v čem spočívá nesprávný myšlenkový postup. Řekneme-li, že na levou stranu siloměru působí tah 1 kg, předpokládáme neuvědoměle, že pravý konec je nehybně spojen se zemí. Tvrdíme-li však v duchu, že i pravý konec je podroben tahu 1 kg do prava, předpokládáme tajně, že je levý konec siloměru nehybný vůči zemi. Omyl vzniká tedy tím, že děj popisujeme současně ze dvou různých pozorovacích systémů, aniž jsme si toho vědomi. Kdybychom na př. pravý kilogram nahradili hákem ve zdi, obstaral by hák reakci 1 kg sám. Tento příklad je velice poučný, protože upozorňuje na dvě důležité věci: *a) správný popis úkazu vyžaduje, abychom si uvědomili pozorovací systém, ze kterého jej popisujeme; b) za akci se pak považuje působení tělesa pohyblivého na těleso vůči systému pozorovacímu nehybné, jemuž připisujeme trpnou reakci.* — Na tomto místě je dobré uvésti zajímavý historický příklad, totiž Guerickeův pokus s děvínskými polokoulemi. Guericke dal zapřáhnouti na obou stranách po čtyřech párech koní pro zvýšení efektu. Týž účinek by měly jen čtyři páry koní, kdyby byla druhá strana polokoulí upevněna hákem na př. ve skále.

A nyní princip akce a reakce pro tělesa v pohybu. O jeho platnosti se přesvědčíme pokusem se dvěma vozíčky spojenými napjatým šroubovým pérem. Vozíčky mají na sobě hmoty na př. 1 kg a 2 kg a jsou od sebe ve vzdálenosti d. Pustíme-li je proti sobě, udělí jim síla péra zrychlení, která jsou v opačném poměru ke hmotám. Proto se vozíčky setkají ve dvou třetinách vzdálenosti d od začáteční polohy vozíčku lehčího. Pokus potvrzuje současně druhý i třetí zákon pohybový. Nyní rozšíříme platnost principu i na případy, kdy na sebe působí dvě tělesa na vzdálenost bez hmotného mechanického spojení. Země přitahuje kámen, stejnou silou však přitahuje kámen zemi. Magnet přitahuje železo, železo pak stejnou silou magnet. Které z obou těles dá se do pohybu (vůči zemi), záleží na tom, jak jsou upevněna. Jsou-li obě volná, nastane případ vozíčků. — K tomu příklady: Dva stejně těžcí lidé stojí na dvou stejně těžkých loďkách a drží se navzájem provazem. Nejprve táhne A, B si otočí provaz kolem těla; po druhé naopak, po třetí táhnou oba současně. Kde se setkají v jednotlivých případech? Děj popište žáci se stanoviska osoby A, B i klidné země.

Zajímavý důsledek vyloženého principu je **princip zachování těžiště.** Těžiště soustavy obou vozíčků shora jmenovaných nemění silou péra (vnitřní silou soustavy těles) svou polohu vůči zemi. Pozorujeme-li pak jmenovanou soustavu z pozorovacího systému, který má vůči zemi libovolný pohyb, nemůže to míti ovšem vlivu na těžiště oné uzavřené soustavy těles. Platí tedy



obecná věta: Působení vnitřních sil nemá vliv na klid nebo pohyb těžiště uzavřené soustavy těles.*) — Vybuchne-li vystřelený granát, pohybovalo by se ve vakuu těžiště střepin dál po téže parabole, jako kdyby granát nevybuchl. Pohyb těžiště sluneční soustavy je přímočarý rovnoměrný, zanedbáme-li účinek vnějších sil od stálic jako relativně velmi malý. Počne-li hmota *I* uzavřené soustavy konati na př. pohyb kyvadlový (obr.), musí pro zachování těžiště celku konati zbylá část *II* kyvy opačné. Těleso lodi (*II*) koná tedy na vodě kmity, začnou-li pracovati stroje písty a táhly (hmota *I*). U lokomotiv musí být pohyblivé hmoty rozděleny tak, aby jejich těžiště (*I*) neměnilo svou polohu vzhledem k tělesu lokomotivy (*II*), jinak by byla jízda stroje po kolejích trhavá. Vyrovnání hmot děje se pohybem vhodných protizávaží. Na modelu v obrazci můžeme přidati za tím účelem hmotu (*III*) kývající opačně proti (*I*).

B. Síla odstředivá. Kulička na motouzu vržená přímočaře po stole dá se teprve tehdy v pohyb rovnoměrný kruhový, když

*) Dokáže se úplnou indukcí: Platí-li pro systém S_n n těles, platí i pro $S_n + 1$ těleso.

motouz zadržíme a pomocí něho zapůsobíme na kuličku silou dostředivou. Při tom cítíme setrvačný odpor kuličky jako reakci proti síle dostředivé. Reakce síly dostředivé nazývá se síla odstředivá; její velikost je určena vzorci pro sílu dostředivou, směr pak míří od středu.

Síly neživých těles klidných vůči zemi považujeme jen za trpné reakce sil skutečných, akcí, které udělují zrychlení a jsou příčinou deformací. Abychom děje při otáčení důsledně a správně popisovali, musíme se ještě dorozuměti o pozorovacím systému souřadném. Horní výklad platí pro pozorovatele, jehož systém je nehybný vůči zemi. Pozorovatel sedící na kraji hladkého kolotoče jest oprávněn považovati sílu odstředivou za akci vůči svému točícímu se pozorovacímu systému, neboť považuje důsledně sílu osy kolotoče, nehybné vzhledem k zemi, jen za reakci proti skutečnému odstředivému tahu. Pozorovatel se musí držeti nějaké tyče kolotoče, aby nebyl odmrštěn. Pak se ruší odstředivá síla dostředivou reakcí tyče a pozorovatel zůstane opravdu nehybný vzhledem ke svému otáčejícímu se systému.*) Pozorovatel v ose kolotoče nebo stojící venku na pevné zemi má říci, že obíhající těleso musí být taženo k ose silou dostředivou, aby neodletělo směrem tečny. Síla odstředivá je reakcí. Správně podotýká tedy R. W. Pohl (Einführung in die Mech. u. Akustik, 1930, str. 38): „Das Wort Zentrifugalkraft soll ein Beobachter auf dem Erd- oder Hörsaalboden überhaupt nicht benutzen. Zur Vermeidung ständiger Unklarheiten muss das Wort Zentrifugalkraft endlich einmal dem Standpunkt eines an der Kreisbewegung teilnehmenden Beobachters vorbehalten bleiben. Das Wort Zentrifugalkraft setzt, kurz gesagt, ein beschleunigtes Bezugssystem voraus.“ Vmyslí-li se technik do bodu rotujícího kola, užívá správně termínu odstředivé síly při výpočtu namáhání osy a pevnosti rotujícího materiálu. Vidíme tedy, že při posuzování, která síla je akce a která reakce, rozhoduje v prvé řadě pozorovací systém souřadný. Jiná hlediska jsou vždy anthropomorfní a vedou k nedůslednostem.

DROBNOSTI.

Goniometrické vzorce součtové. Součtové vzorce $\sin(\alpha \pm \beta)$ a $\cos(\alpha \pm \beta)$ lze odvoditi jednoduše ze vzorce pro obsah trojúhelníka resp. z věty kosinové. Vedeme-li v $\triangle ABC$ (ostroúhlém, resp. tupoúhlém při vrcholu B) výšku $\overline{CD}$ a označíme-li obsahy

*) Tím odpadá zdánlivý rozpor, uvedený v Příloze did.-met. r. IV, str. 40, ř. 12 a 13 prvého odstavce.