

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Josef Krkoška

O síle. Glossy k středoškolské fyzice

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 34 (1905), No. 1, 21--43

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123343>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1905

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>

Třeba tudíž jen kuželosečku C_2 sestrojiti a přímku P , načež je konstrukce listu velmi jednoduchá.

Brno, červen 1904.

O síle.

Glossy k středoškolské fysice.

Napsal

Josef Krkoška,

gymn. professor v Pelhřimově.

S téhož stanoviska, jako dříve (roč. XXXIII. str. 19. a násl.) jednal jsem o hmotě, hodlám tu uvažovati o síle.

Řešení sílového problému, jenž náleží k nejstarším problémům fysikálním, běře se dnes třemi hlavními směry: buď vylučuje se pojem síly jako základní pojem fysikální, buď setrvává se na prvotním stanovisku, jak je zaujal Newton, neb konečně uznává se, že pojem síly jest schopen vývinu, a usiluje se o jeho očistu od různých nesrovnalostí a úpravu pokroku věd přírodních jakož i logiky přiměřenou.

První směr nehodí se k uvádění do nauky o pohybu, jak přiznávají sami jeho zástupci, G. Kirchhoff a H. Hertz. Co pak se druhého směru dotýče, jest třeba přiznati, že hlavně P. Volkmann, jenž vedle některých učenců, hlavně anglických, jest předním jeho zastancem, přispěl velmi svými pracemi k objasnění obsahu Newtonových Principií a mnohé námitky proti stanovisku v nich nastoupenému učinil bezpodstatnými, nicméně jest ono stanovisko příliš bezprostřední a, třebas Newtonská bezprostřednost působí velkolepě, hodí se méně na střední školu, jež potřebuje postupu povahy více genetické. Nejvíce zajisté dá se pro školu očekávati od směru třetího, k němuž vedle E. Macha náleží většina odborníků kritickým rozbořením základů mechaniky se zabývajících.

U síly neběží zajisté jen o tento pojem o sobě, nýbrž zároveň o principy mechaniky vůbec, jimiž hlavně fysikální vý-

znam síly se doplňuje. V principech soustavy Galilei-Newton-ovy, na jejíž úpravě tu záleží, stýká se pojem síly s pojmy prostoru, času a hmoty, tvoře s nimi čtvero základních pojmů této soustavy, a jest tudíž též částečně od jich obsahu závislý. Bylo by záhodno předem také pojmy prostoru a času a způsob jich měření po fyzikální stránce náležitě vyšetřiti, avšak středoškolská osnova nemá zatím pro to místa, a nezbývá tudíž než i tuto od jich pojmů a způsobů měření obecně běžných bezprostředně vyjíti. —

Bylo by nevhodno posuzovati dnes pojem síly se zřetelem k ideálním vlastnostem, jakž je pro dokonalou soustavu mechaniky tak zajímavě vylíčil H. Hertz, avšak jest možno žádati, aby soustava na pojmu tom založená byla prosta výtky od téhož učence proti ní vznešené, „že jest velmi těžko právě úvod do mechaniky přednáseti myslícím posluchačům bez jakýchsi rozpaků, bez pocitu, že jest potřebí tu a tam se omlouvat, bez přání, co možná brzy dostati se přes počátky k příkladům, jež mluví samy za sebe“. Tato výtka obsahuje zajisté mnoho pravdy, nikoli však o podstatě soustavy Galilei-Newton-ovy, nýbrž o způsobech jejího podání, s jakýmiž nejčastěji se setkáváme. Pojem síly nebývá v nich podrobně propracován a obsahuje věcné nejasnosti jakož i logické nesrovnalosti. Tyto nedostatky zvláště padají na váhu v učebnicích středoškolských, jelikož fysika jest na středních školách hlavním představitelem vědecké metody výzkumné, a má-li tento úkol náležitě plniti, jest jí potřebí všady vedle přiměřené přístupnosti co nejpečlivěji dbáti vědecké přesnosti, a to tím více v oddíle tak důležitém, jako jsou základy mechaniky.

Ovšem není to s pojmem síly tak snadné, zvláště pro učebnici středoškolskou, kteráž vázána jest různými okolnostmi, jež pro větší kompendia odpadají. Bude zajisté potřebí ještě opět a opět k tomuto pojmu se vraceti a o jeho zdokonalování se starati. —

* * *

Hodlám tutu opět provésti předem rozbor nauky o síle,

jak jest podána v učebnici od Reisse a Theurera.*) Na str. 7. a násl. čteme:

„**Setrvačnost, síla.** Trhnou-li koně vozem, v němž sedíme, zvrátíme se na zad; narazí-li loď, v níž jedeme, prudce na břeh, padáme ku předu. Házíme-li, jedouce, míčem do výšky, můžeme jej chytati, jako bychom stáli, t. j. míč pohybuje se s námi, setrvává s námi v pohybu.

Všem hmotným tělesům přisuzujeme vlastnost, již díme *setrvačnost*, čímž rozumíme, že veškeré hmoty hledí setrvatí v tom stavu pohybovém, ve kterém se nalézaly, že z klidu v pohyb nepřecházejí, aniž stavu svého pohybu (směr a rychlost) mění bez příčiny. Příčinu každé změny takové nazýváme *silou*.

Že tělesa samovolně (bez působení síly) z klidu v pohyb se nevedou, vyslovil Kepler r. 1619; odtud sluje setrvačnost *inertia* (lenost). Že ke každé změně pohybu jest zapotřebí síly, ukázal Galilei († 1642), ve tvaru nejpřesnějším však definoval setrvačnost Is. Newton († 1727).

Úkazy v přírodě se vyskytující jsou zdánlivě na odpor tomu, že tělesa v pohybu svém setrvávají. Koule po zemi vržená se zastavuje, rozjetý vůz železniční, byl-li od lokomotivy odtržen, pohybuje se po vodorovných kolejích rychlostí pořád menší. Příčinou toho jsou překážky pohybu, jako odpor prostředí (vzduchu, vody), tření a pod. — Čím dokonaleji odstraníme tyto překážky, tím nenáhleji se mění pohyb vržených těles.

Bylo-li těleso některé silou uvedeno v pohyb, a přestane-li síla v jistém okamžiku působiti, setrvává těleso v pohybu, neměníc ani směru ani rychlosti, jakých v okamžiku onom mělo; setrvačností nastává pohyb přímočarý, rovnoměrný. — Pozorujeme-li tudíž, že rychlost neb směr pohybujícího se tělesa některého *trvale* se mění, soudíme, že na těleso působí síla *trvalá*. Mění-li se rychlost pohybu rovnoměrně (pohyb rovnoměrně zrychlený neb zpozděný), soudíme, že působí síla *neproměnná* *či stálá*, mění-li se však rychlost pohybu nerovnoměrně (pohyb nerovnoměrně zrychlený neb zpozděný), soudíme, že působí síla *proměnná* *či nestálá*.

Poněti o silách čerpáme ze zkušenosti. Chtějíce totiž těleso v pohybu zadržeti anebo uvéstí je v pohyb, napínáme své svaly, užíváme „síly“

*) Frant. Reiss a dr. Josef A. Theurer, Fysika pro vyšší gymnasia 3. vydání.

tělesné, i soudíme dle analogie, že i každá změna pohybu, každý tlak podmíněny jsou jakousi silou. Tak, padá-li kámen k zemi, tlačí-li těleso na podporu, hledáme příčinu ve zvláštní síle, kterou se hmoty přitahují; pevnost hmot vykládáme si vzájemným přitahováním molekul atd.

Síla jest určena *působistěm, směrem a velikostí*. *Působistěm* jest bod, ve kterém síla na těleso působí. *Směr* síly značí se šipkou, jež ukazuje, kterým směrem by těleso volné působením síly se pohybovati mělo. Poměrnou *velikost* síly znázorňujeme délkou, zvolivše určitou délkou, na př. 1 *cm*, za jednotku.“

První otázkou o zákonu setrvačnosti jest, jaký mu připsati význam logický? O tom naskytují se dnes mínění velmi rozmanitá: bývá zákon setrvačnosti považován za hypotesu, postulát, axiom, větu buď apriorní neb empirickou, za definici neb pravidlo zpytné, jakož i za různé kombinace těchto logických útvarů. Každé z těchto mínění má pro sebe jisté důvody, o jejichž hodnotě rozhoduje patrně do veliké míry vkus osobní.

Pro školu nehodí se tato různá stanoviska stejně. Pro střední školu nejlépe jest bráti zákon setrvačnosti za větu ze zkušenosti odvozenou, jakž se to též děje v naší učebnici. Zákon setrvačnosti však nevyplývá nikterak ze zkušenosti shora v prvním odstavci uvedeném. Zkušenost toho druhu byla známa již za nejstarších dob, a přece Aristoteles hlásal nauku zákonu setrvačnosti zcela protivnou, že, přestane-li působiti příčina pohybu, přestává ihned též pohyb (*cessante causa cessat effectus*); ani potom, když počátkem nové doby nauka Aristotelova ukázala se již neudržitelnou, nedospělo se k zákonu setrvačnosti v nynější jeho podobě, ale vznikla nauka, zvláště od Benedetti-ho jasně vyslovená, že „*vis impressa*“ poznenáhlu se vyčerpává; zajímavá a poučnou jest, jak ještě Galilei těžko a pozvolna z názorů starších se vyprošťoval a při vši své geniálnosti a svým úsilí přece k zákonu setrvačnosti v celém jeho obsahu dnešním nepronikl. Nevedla-li ona zkušenost po dlouhé věky lidi nejprozíravější k poznání setrvačnosti, nemůže zajisté o ní ani dnes bezprostředně přesvědčovati.

Ostatně jest to tatáž zkušenost, o níž v naší učebnici hned o něco níže se praví, že zákonu setrvačnosti zdánlivě od-

poruje — ovšem „zdánlivě“ pro toho, kdo o setrvačnosti jest přesvědčen, a nikoli, kdo teprv přesvědčen býti má.

Zákon setrvačnosti nelze odvoditi ze zkušenosti přímo. Souvisí však se zkušeností prostřednictvím zákona o působení sil, jsa jeho bezprostředním důsledkem, jakž o tom ještě později bude zmínka učiněna. —

V historické poznámce o zákonu setrvačnosti měla by důsledně býti uvedena buď data objevů neb data životopisná, a při těchto netoliko rok úmrtí, nýbrž i narození. U Keplera na místě r. 1619 měl býti uveden r. 1609, neboť o odporu těles k pohybu mluví již Kepler ve spise „Astronomia nova etc. de motibus stellae Martis“ (Praha, 1609), třeba výraz „inertia“ zavádí proň teprv krátce na to v polemice s Röslinem, zajisté e ho mluvou byv k tomu přiveden.

Zmínka o Keplerovi jest následkem své stručnosti neurčita a mohla by vésti ke klamným domněnkám, že zárodky dnešního zákona setrvačnosti jest hledati teprv u Keplera, a že setrvačnost v klidu musila býti napřed objevena, aby se stala východištěm a podkladem k objevu setrvačnosti pohybu — historický vývin zákona setrvačnosti bral se však chodem zcela jiným, jehož zárodky dlužno jest hledati již ve starověku.*) Co se setrvačnosti v klidu dotýče, nezačínají již dle nauky Aristotelovy tělesa svých pohybů bez příčiny, třeba u pohybů „přirozených“ by to byla příčina teleologická; ostatně Kepler sám nebyl ve stanovení příčin pohybu úzkostlivější, jakž to vysvítá z jeho nauky o hybných silách duchových, jimiž tělesa mohou do vzdálenosti působiti, a jelikož učil též, že těleso může býti uvedeno v pohyb silou z jeho nitra někam vně namířenou, potřebovalo by ono „samovolně“ v naší historické zmínce jistého omezení.

Již z jeho nauky o příčinách pohybu jest patrné, že Kepler nevymanil se ještě ze scholastického způsobu myšlení, kdež dlužno hledati i původ jeho pojmu „inertia“. Inertia a setrvačnost nejsou pojmy stejnoznačné, od Keplera zavedena jest „inertia“ k výkladu setrvačnosti — ovšem k výkladu hrubě anthropomorfičkému. Takový výklad přičí se novodobému stanovisku při-

*) Dr. E. Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft. Bd. XIV. und XV.

rodozpytnému, dle něhož fysika může k výkladům užívati úkazů a pojmů opět jen fysikálních; z té příčiny jest dlužno též zamítnouti stilisaci setrvačnosti v naší učebnici uvedenou, že veškeré hmoty „hledí setrvávati“ — již též dle Newtona „setrvávají“.

Zásluha Keplerova o zákon setrvačnosti, má-li tu býti uvedena, záleží v tom, že onu inertii přidělil též tělesům nebeským a učinil první a rozhodný pokus o řešení jejich ve smyslu řešení pohybů pozemských, čímž připravoval půdu pro práci Newtonovu.

Galilei neukázal, „že ke každé změně pohybu jest zapotřebí sil“. Jest skoro obecně uznáno, že Galilei nedospěl k obecnému zákonu setrvačnosti, utkvěv pouze na setrvačnosti pohybu horizontálního (vlastně kruhovitěho). Co pak se síly dotýče, nepokročil vůbec nad své předchůdce, u nichž pojem síly postrádal ještě jednotnosti, nelíše se z velké části od neurčitého pojmu denního. Jest tudíž pochopitelné, že u Galileie, jenž snažil se zůstatí ve svém badání co možná na půdě reální, síla ustupuje do pozadí; působení do dálky jeví se mu vůbec s jeho stanoviska nepřipustným. Ve spisech Galileiových není ani zmínky, že by volný pád, jehož zákony nejpodrobněji prozkoumal, vysvětloval ze síly urychlující, a proto tím méně naopak, jak se někdy uvádí, zákony volného pádu z pojmu síly urychlující odvodil.

Rozšíření zákona setrvačnosti na pohyby pozemské vůbec, potom i na pohyby nebeské, a založení přiměřeného příčinosloví byly další kroky, jež na základech od Galileie položených bylo učiniti jeho nástupcům. Běželo však netoliko o stanovení principů, ale zároveň o jich uplatnění v případech konkrétních. I případy poměrně jednoduché způsobovaly tehdy obtíže větší, nežli se dnes zdáti může; poučným jest tu na př. Descartesovo spracování rázu bez znalosti zákona působení a protipůsobení, jež přískře přičilo se zákonu setrvačnosti, od něho samého již vyslovenému. Potřebnou práci v tom směru z velké části sám vykonal a zároveň dokončil Newton. Dílo Galileiem započaté a vůbec věkovité úsilí o theorii pohybů, jež začíná již ve starověku, dovršují Newtonovy zákony pohybu a zákon gravitační

způsobem tak velkolepým, že jemu málo jest podobných v dějinách lidského poznání vůbec.

Jest to proto velmi málo, řekne-li se o Newtonovi pouze, že „ve tvaru nejpřesnějším definoval setrvačnost“. Výraz „definoval“ není vůbec volen šťastně. Uvádí-li se shora zákon setrvačnosti jako věta empirická, překvapí zajisté žáka, řekne-li se mu beze všeho, že Newtonovi byl definicí. Ostatně není takový výrok ani ve smyslu Newtonových definicí pravdivý. U něho jest sice definice: „*Materiae vis insita est potentia resistendi, qua corpus unum quodque, quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum*“, ale zároveň první zákon pohybu: „*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare*“, a tento zákon dlužno zajisté bráti za výraz stanoviska Newtonova; bylo by též bývalo případnější, aby „setrvačnost“, když v naší učebnici z úvodu o všeobecných vlastnostech, kdež ve dřívějších vydáních se nalézala, přeložena byla do mechaniky, uvádělo se tu jako „zákon setrvačnosti“. Co pak se toho „tvaru nejpřesnějšího“ dotýče, jest těžko odsuzovati ostatní stilisace, jichž jest zajisté veliké množství, jako méně přesné. Právě stilisace Newtonova vyvolala již veřejnou diskussi, usilující o její náhradu něčím dokonalejším, jelikož vidí se v ní pouhý prázdnomluv, že příčina, když nepůsobí, ničeho nezpůsobí. —

„Mění-li se rychlost pohybu rovnoměrně (pohyb rovnoměrně zrychlený neb zpzděný), soudíme, že působí síla *neproměnná či stálá*“ jest soud zcela libovolný, nikterak neplynoucí z toho, co o síle bylo dosud řečeno, že totiž jest příčinou změny stavu pohybu (směru a rychlosti). Na str. 11. naší učebnice se uvádí, že v paragrafu shora citovaném byla označena síla jako příčina zrychlení, takového výroku však tu není, neboť „změna stavu pohybu (směru a rychlosti)“ nekryje se, přesně vzato, co do obsahu se „zrychlením“, zvláště toho smyslu tu nepostihne, ba ani nepochopí žák, jemuž před tím nebylo o pohybu podáno než několik pojmů obecných, celkem dvě tiskové stránky zabírajících. Jest potřebí, než se přistoupí k definici síly jako příčiny zrychlení, jasně žáku vštípati, že zrychlením dá se změna pohybu dokonale vystihnouti, a z té příčiny, jakož i z jiných ohledů

didaktických, jest žádoucí probrati před onou definicí všechny pohyby do oboru středoškolské fyziky spadající, jež bez pojmu síly se dají vyšetřiti; Höfler *) uvádí tu samostatný, na historickém podkladě zpracovaný oddíl, foronomii, v nějž zahrnuje pohyb volného pádu, pohyb po nakloněné rovině, po vodorovné rovině, vrh, pohyb kmitavý a rovnoměrný pohyb kruhový. I když však uvede se síla jako příčina zrychlení, neplyne z toho ještě, že síla stálá způsobuje pohyb rovnoměrně zrychlený neb zpzděný. Bylo by nesprávně se domnívati, že plyne to ze zásady, že tatáž příčina má tentýž účinek, neboť příčina zůstává obecně tatáž, nezměnila-li se v konfiguraci okolností ji provázejících leč poloha a doba jejího působení, avšak zde mění se aspoň rychlost a směr pohybu, kteréžto okolnosti by mohly míti vliv na účinek síly; ostatně Aristoteles učil, že tělesa v pohybu dají se snáze pohybovati než tělesa v klidu se nalézající, a Benedetti se domníval, že výstřel děla svisle vzhůru namířeno jest při stejném náboji účinnější než v poloze nakloněné, jelikož prý v poloze první může se hybná síla proti střele nejlépe vzepříti. Teprv ze zkušenosti možno se dověděti, že stálá síla způsobuje též stálé zrychlení; bezdůvodnost onoho soudu přenáší se ovšem i na důsledek z něho v následujícím paragrafu o volném pádu odvozené. —

Poměr síly tělesné k pojmu síly vůbec není podán dosti jasně. Jest neurčito, běží-li v onom výkladě o pouhou existenci sil, neb o jich působení. Běží-li o pouhou existenci, jakož tomu tamní stilisace zdá se nasvědčovati, nemáme tam leč v novém, logicky však nepřipustném odvození opakováno, co již při původní definici síly bylo řečeno; rozšířiti onu původní definici o sílu jako příčinu tlaku nezdá se na tomto místě býti vhodným. Běželo-li by tam o působení sil, bylo by potřebí o této velmi choulostivé stránce pojmu sílového výkladu jasnějšího a určitějšího; z toho, co tam řečeno, jest nemožno se domyslíti, jaké stanovisko jest tu o tomto předmětu zastupováno. —

V následujícím odstavci, jenž jedná o určovacích částech

*) Naturlehre für die Oberstufe der Gymnasien, Realschulen und verwandter Lehranstalten. Verfasst von Dr. A. Höfler unter Mitwirkung von Dr. E. Maïss und Dr. F. Poske. 1903.

síly a jich znázornění, srovná si těžko žák podanou tam definici působišť se silami po celé ploše neb celém obsahu na těleso působícími, jež jemu před tím i potom skoro výhradně se předvádějí. Rovněž při definici směru síly zůstane v pochybnostech, který jest to směr, jímž „by těleso volné působením síly se pohybovati mělo“ — jest zajisté pravda, že může se pohybovati směry různými dle toho, jakou mělo rychlost původní; což však působí-li síla v bodě mimo těžiště položeném? Co rozumí se velikostí síly, se vůbec nepraví, a udává se jen, kterak se ta neznámá veličina znázorňuje, což jest zajisté postup zcela převrácený. Jak pak se vlastně znázorňuje síla, žáku pověděno není. —

Přikročíme k měření sil. Na str. 10. a násl. čteme: „**Měření sil**“. Často pozorujeme, že síla na těleso sice patrně působí přece však účinku jejího neznamujeme. Tak děje se na př., spočívá-li těleso na pevné vodorovné podložce; tíže, ač na těleso působí, neudílí mu zrychlení. Podržíme-li totéž těleso na dlani volně vypjaté ruky, cítíme, že se musíme namáhati, aby ruka pod tělesem neklesla; sílu těžnou překonáváme silou svalovou, namířenou svisně vzhůru; síla těžná silou svalovou se *ruší*, čili síla svalová rovná se síle těžné co do velikosti, má však směr protivný. *Dvě síly sobě rovné, však protivných směrů, působíce v témže bodě, se ruší, t. j. neudělují hmotě zrychlení.*

Pokud těleso ono spočívalo na pevné podložce, nepozorovali jsme protivné té síly; že však existuje, soudíme z toho, že, položíme-li je na tenké prkénko, prkénko se prohne pod tlakem jeho tak, až protitlak, prohnutím prkénka vznikající, tlaku se vyrovná. Také podložka silná se prohнула, tak nepatrně však, že nebylo lze toho pozorovati. Tlak vzbuzuje protitlak stejně veliký, však směru protivného. Větu tuto vyslovil obecně Newton: *kdykoli dvě tělesa vzájemně na sebe působí, jest působení jednoho (akce) rovno a protivno působení druhého (reakci).*

Soustava statická.

Tlak tělesa na podporu slove jeho *vahou*. Tlačí-li dvě tělesa na podporu nestejně, jsou-li *nestejně těžka*, připisujeme rozdíl ten nestejně hmotě v nich obsažené, i *volíme* za míru hmoty v tělese obsažené jeho váhu, stanovíce, že dvě tělesa obsahují stejné množství hmoty, jsou-li stejně těžka. Volme tlak

jistého (zatím libovolného) množství hmoty za jednotku a měřme jí hmoty jiné; zvolenou jednotku hmoty položíme na desku, nesenou drátem do spirály stočeným (pružné váhy), a poznamenejme, až kam ukazovatel s destičkou spojený klesne. Nahradíme pak hmotu tu jinou, přidávajíc jí tak dlouho, až ukazovatel opět k téže značce klesne, odměřili jsme opět jednotku hmoty. Přidáme-li k ní jednotku původní a označíme-li opět, kam ukazovatel klesne, a pokračujeme-li tak dále, nabudeme přístroje, kterým jest možno tíži (a tudíž i hmotu) libovolného tělesa stanoviti; lze však i jiné síly (na př. svalovou) přístroji podobnými (*siloměry*) stanoviti.

Měříme-li síly tímto způsobem, t. j. srovnáním s vahou jistého tělesa, za jednotku voleného, měříme je *staticky* (*soustava statická*); při tom jest patrně hmota (m) i váha její (p) dána tímž číslem.

Za *jednotku hmoty* volíme hmotu, obsaženou v 1 cm^3 čisté (překapané) vody při 4°C a nazýváme ji *grammem* (g); v soustavě statické měříme síly grammy (vahou grammovou).

Soustava dynamická. Označivše v odst. 7. sílu jako příčinu zrychlení, mohli bychom velikost její též měřiti zrychlením, jež působí, a stanoviti, že nazveme onu sílu n -násobnou, jež témuž tělesu udělí zrychlení n -násobného. V míře této — dynamické — byla by dle definice síla úměrna zrychlení. Protože však jsme sílu měřili již měrou statickou, jest pokusem rozhodnouti, zda n -násobná síla, měřená staticky, udělí témuž tělesu zrychlení n -násobného, t. j. zda statická a dynamická míra sil si neodporují.

Opakujme proto na padostroji pokus 1., kladouce postupně na M přívažky $2m, 3m \dots$ staticky (vahou) stanovené; shledáme, že přívažky způsobují zrychlení dvoj-, troj- . . . násobné *Dynamická míra sil jest souhlasná s měrou statickou: síla jest úměrna zrychlení*“

Logická hodnota výroků „síla těžná silou svalovou se ruší, čili síla svalová rovná se síle těžné co do velikosti, má však směr protivný. *Dvě síly sobě rovné, však protivných směrů, působíce v témže bodě, se ruší, t. j. neudělují hmotě zrychlení*“ není dosti zřejmá. Vypadá to, jako bychom tu měli větu empirickou, a přece

správně nemůže tu běžeti leč o definici, co rozumíme silami rovnými.

Ze základní definice síly jako příčiny zrychlení neplyne, ani že by měla směr, ani že by byla veličinou. Jako vlastnost směru, jest též potřebí předefinovati jí veličinnost — ovšem na základě objektivním, neboť podklad subjektivní, vedle jiných vlastností nepříznivých, jeví zde tutéž nespolehlivost, jako na př. při měření teploty.

Pouhá definice rovnosti sil nedostačí však ještě na základě toho, co dosud o síle řečeno, k obecnému posuzování velikosti sil. Dodatečná definice, k tomu cíli potřebná, obsažena jest, třebaž ne výslovně, v dalším odstavci „*Soustava statická*“, a sice dle ní n sil rovných, v témže místě a směru působících dává sílu n -kráte větší, než jest každá z nich. Tato zásada není samozřejmou, což vysvitá již z toho, že za jiných okolností uvádívá se jako zvláštní případ věty o skládání sil téhož směru a působíště, ani není dříve dokázána, ba z toho, co zatím o velikosti sil povéděno, ani dokázati se nedá, takže zavést se tu může jen definicí.

Bylo by žádoucí, aby oběma těmito definicím bylo se dostalo onde přiměřenějšího výrazu, by jejich stránka logická byla lépe vynikla. Jak po celé nauce fysikální, tak zvláště v jejich základech jest potřebí, aby logická povaha jejich prvků zřetelně vynikala.

Upotřebení téhož příkladu k objasnění definice rovných sil a hned na to k objasnění principu stejného působení a protipůsobení není též odporučitelné. Stilisace tohoto principu není úplná, vyjadřujíc pouze rovnost a protivnost protipůsobení, ale nikoli jeho nutnou jsoucnost s každým působením — ba předvěti „kdykoli . . .“ zdá se jí i popírati; rušivě působí, že dle souvislosti mohla by vzniknouti domněnka, jako by to byla původní stilisace Newtonova. — Ve spojení s tímto principem nemohu nepoukázati na nejasnost výkladu o síle odstředivé na str. 47 a násl., kdež se praví: „Tato síla (odstředivá) povstala teprve, když těleso se roztočilo, a přestává, jakmile síla centrální působiti přestane; neboť, přetrhne-li se při točení nit, nepohybuje se koule směrem, kterým nit byla natažena, nýbrž prostě svou setrvačností ve směru tečny ke křivé dráze, kterou koule opiso-

vala. Není tedy síla odstředivá, jež se při centrálním pohybu vůbec objevuje, silou samostatnou, nýbrž jeví se prostým protitlakem (reakcí) proti síle centrální, jež se objevuje při pohybu centrálním následkem setrvačnosti asi tak, jak se drát, zavěsíme-li naň závaží P , následkem soudržnosti částek napíná silou stejnou a protivnou“. Budu míti ještě příležitost o síle odstředivé se zmíniti, zde vytýkám jen, že není, proč má býti reakce oproti akci silou nesamostatnou, když každá akce jest zároveň reakcí; ostatně která síla byla by v onom smyslu samostatnou, bylo by na př. působení tíhové, kdyby nebylo tělesa, na které působí, čili kdyby nebylo tělesa protipůsobícího? —

Nelze souhlasiti se způsobem, jakým podán jest poměr měření dynamického k měření statickému. Uskutečnitelnost onoho činí se závislým na podmínce, „zda statická a dynamická míra sil si neodporují“. Není důvodu, proč by měření statické tak, jak bylo tu založeno, mělo býti normou pro kterékoli měření jiné. Což, kdyby se bylo vskutku k tomu obávanému odporu dospělo? Bylo-li by některé z obou měření zavrhnouti, bylo by to zajisté měření statické. Kdyžtě byla síla původně definována dynamicky, jest žádoucí, by i její měření bylo dle toho tak dalece upraveno, aby aspoň hrubě neodporovalo obecnému názoru o svazku příčinném, na př. aby nevyšel mezi příčinou a účinkem třeba poměr převrácený. Avšak statické měření, bylo-li neodvisle od účinku pohybového založeno, není nikterak předem před podobným důsledkem zabezpečeno.

Vůbec nezdá se v učebnici středoškolské býti doporučitelnou vycházeti při měření statickém i dynamickém od samostatných definic. Jest nebezpečí, aby nevznikla u žáka domněnka, že v síle dle měření statického a dle měření dynamického má dvě veličiny různé, jež náhodou jen jsou „souhlasny“. V této domněnce by jej mohla dále ještě utvrditi dvojakost následující pak výpovědi, že „síla jest úměrna zrychlení“, jež vzhledem k jednomu měření jest větou empirickou a vzhledem k druhému definicí; takových dvojakých výpovědí nelze vůbec schvalovati.

Různým nesrovnalostem bylo by se snadno předešlo, kdyby po měření statickém, když už mu byla dána přednost, byla položena prostě otázka: Jaký účinek pohybový mají síly takto měřené? Čeho jest o vyšetřovaném onde předmětu věděti, bylo

by z odpovědi na onu otázku jasně a jednoduše vyplývalo. Samo sebou by se bylo vnucovalo sílu též dle toho účinku měřiti, aniž by nějaká neurčitost neb záhadnost jednoduchý vztah tohoto měření k měření dřívějšímu zastírala; v takové souvislosti bylo by i zřejmo, že měříme *tutéž* veličinu způsobu různými, a různost výsledků že závisí jen od nestejně velikosti jednotek. —

Nezamlouvá se výměr, že, „měříme-li síly tímto způsobem, t. j. srovnáváním s váhou jistého tělesa, za jednotku voleného, měříme je *staticky* (*soustava statická*)“ — jest statickým každé měření na rovnováze sil založené; rovněž úzký jest výměr měření dynamického jako měření dle zrychlení místo širšího dle součinnu z hmoty a zrychlení.

Pro učebnici méně vhodnou jest výpověď, že „za jednotku *hmoty* volíme hmotu obsaženou v 1 cm^3 čisté (překapané) vody při 4°C a nazýváme ji *grammem* (g); v soustavě statické měříme síly grammy (váhou grammovou)“, svádějíc žáka k domněnce, že hmotu i sílu měříme touže jednotkou. Poslední uzavorkovaná vložka jest slabou protiváhou proti tomu současnému, navzájem propletenému výkladu o měření hmoty a síly, jenž bezprostředně předcházela. Zde jest třeba s důrazem vytknouti, že síly měříme *váhou grammu*, a bylo by záhodno, kde jsme nuceni tuto míru voliti, co možná důsledně užívati rčení *síla rovnající se váze x grammů* neb *síla váhy x grammů* na místě stručnějšího sice, avšak nepřesného *síla x grammů*, a obdobně v obrazech jiných; ve spojeních, jako na str. 35, „... hmotu a váhu relativní by tam byly stejné (50 grammů)“ bylo by lépe tu míru vůbec vynechati.

Správný poměr hmoty a váhy zatemňuje též výrok, jaký čteme na str. 12, kdež se praví: „Vážíme-li stejné objemy různých těles, shledáváme, že mají váhu *nestejnou*, z čehož soudíme, že mají v každém cm^3 nestejně množství hmoty, i nazýváme váhu 1 cm^3 hmoty v grammech jeho *váhou specifickou* (správnějším by bylo ji nazývati *specifickou hmotou*)“. Proč pak má býti správnějším nazývati váhu 1 cm^3 hmoty specifickou hmotou, než specifickou váhou? Specifickou *hmotou* jest *hmota* 1 cm^3 nějaké látky, kdežto jeho *váha* jest opět jen specifickou *váhou*.

Nepochopitelným jest po této stránce též výklad vážení. Na str. 34 čteme: „Působí-li na koncích vahadla, jehož ramena

buďtež l_1 a l_2 , hmota M_1 svou váhou M_1g a hmota M_2 svou váhou M_2g , jest rovnováha, je-li

$$M_1 g \cdot l_1 = M_2 g \cdot l_2.$$

Ježto se v rovnici této g krátí, vidíme, že g nemá na rovnováhu stejnoramenných vah žádného vlivu; váhami srovnáváme *hmoty* těles, nikoli jejich *váhy*. Jsou-li váhy stejnoramenné ($l_1 = l_2$), jest i $M_1 = M_2$: *vahami stejnoramennými stanovíme rovnost hmot*“. Výrok, že „*vahami srovnáváme hmoty* těles, nikoli *váhy*“, netoliko nesrovnává se s původním výměrem na str. 10 „i volíme za míru hmoty v tělese obsažené jeho váhu, stanovíce, že dvě tělesa obsahují stejné množství hmoty, jsou-li stejně těžká“, jakož ani ne s výměrem vah na str. 33, ale i jinak si odporuje — na př. bylo by dle něho možno srovnávati váhami hmoty těles i v končinách, kde ona váhy nemají čili kde $g = 0$; měl-li onen výrok tlumočiti fysikální význam vymizení činitele g z rovnice shora uvedené, dospěli bychom obdobnou interpretací fysikálních rovnic často k důsledkům zajisté velmi překvapujícím.

Ostatně pokračuje se na onom místě takto: „K vážení užíváme závaží a stanovíme, kolik grammů třeba (na váhách stejnoramenných) položit, aby jejich váha (sic!) se vyrovnala váze tělesa váženého; nalezneme-li na př. 50 grammů, říkáme, že těleso váží 50 grammů, což jest rčení zkrácené místo: váží tolik, *jako* 50 grammů čili hmota obsažená v 50 cm^3 vody (váha relativní). Kolik váží ona hmota skutečně, t. j. jak veliký jest tlak (váha absolutní), dovedli bychom teprve určití, kdybychom znali zrychlení tíhové g ; pak teprve by bylo $P = 50 g D$. Jest tedy váha absolutní rovna váze relativní násobené zrychlením g “. — Tu se dovidáme, že přece jen váhami srovnáváme váhy, ale zároveň setkáváme se s neobvyklým výměrem relativní váhy. V tom smyslu, jako váha v grammech, jest zajisté každá míra relativní — každá se dá rozvésti pomocí porovnávací spojky *jako*, na niž onde důraz položen. Že váha grammu na různých místech jest různá, což ostatně nebylo tam dosud nikde výslovně řečeno, nic na tom nemění, jinak před sjednocením měr a vah, když na různých místech pro tutéž veličinu užívalo se různých jednotek, bylo by každé měření bývalo relativním v užším slova

smyslu. Vzhledem k tomu ani váze absolutní nepřiložen význam pravý. Kam pak se má zařaditi váha obdržená na normálních váhách pružných? Jest radno užívati pojmů váhy relativní a absolutní v tom smyslu, jako jest uveden v mechanice prof. Strouhala na str. 246, dle něhož na př. atomová váha jest váhou relativní. —

* * *

Uvedl jsem nápadnější jednotlivosti, jež výklad o síle v naší učebnici ztemňují neb i věcně porušují. I když si je však všechny odmyslíme, nevyjde nám tu ještě pojem síly prost vad, jež jemu obyčejně se vytýkají. Postrádal by stále ještě té určitosti a přesnosti, na jakéž jsme zvykli u jiných pojmů fyzikálních.

Jednotlivé znaky fyzikální, jež k utvoření pojmu síly jsou tu uvedeny, netvoří uzavřeného celku, a běžné, denní ponětí o síle tělesné nedostačí k tomu, aby jim poskytlo potřebného doplňku a pojitka. Takové představy, třebaš vyhovují potřebám denního života, nevystačují ještě k účelům vědeckým, nemajíce potřebné vymezenosti a propracovanosti, aby mohly býti podkladem přesných vývodů vědeckých, naopak svojí mlhavostí svádějí k různým úvahám a otázkám povahy čistě spekulativní, jež málo sluší vědě exaktní.

Na základě anthropomorfickém jest vůbec nemožný o síle výklad uspokojivý. Pojem síly takto založený netoliko že všeobecněn na všechny příčiny zrychlení jest hrubě hypotetický, ale vyznačuje se při tom nejasností a záhadností, což přenáší se i na úvahy na něm založené.

Nelze se diviti, když novější úsilí o přesné základy mechaniky snaží se všelijak bez pojmu síly jako pojmu základního se obejítí. Jestliže dosavadní pojem síly tísnivě působí v pracích odborných, tím účinněji jeví se to ve fyzice středoškolské, jež na základech elementárních má netoliko plniti úkoly odborné, ale uplatňovati i výchovné stránky učiva fyzikálního. Potřeba nápravy jest tu zvláště naléhavá; nelze se spoléhati, že žák podávané mu výklady k celé jejich záhadnosti nedomyslí.

Na obejití pojmu síly jest nemožno dnes pomýšleti. Nezbyvá tudíž leč o potřebné zdokonalení pojmu síly se postarati,

což může se státi jen tím způsobem, že založí se, jako jiné pojmy fyzikální, též na podkladě ryze fyzikálním.

Hodlám tuto podati stručný nárys takového výkladu o síle, pokud jest to možno neodvisle od rozborů čistě kinematických, jež musí v rozsahu co největším a v přiměřené úpravě nauce o síle předcházeti.

Přechod od kinematiky k dynamice má tvořiti výklad o svazku příčinném. Jest věru s podivem, že středoškolská fyzika nemá dosud místa pro samostatný výklad o svazku příčinném, ačkoli s ním má nejvíce co dělati. Zde netoliko naskytuje se nejvhodnější příležitost k jeho všestrannému pochopení, ale zároveň jest tu takový výklad nanejvýš potřebný pro jasné a správné pochopení vzájemné souvislosti dějstva přírodního; mezi jiným zvláště pojem síly dochází jím potřebného objasnění. —

* * *

Svazek příčinný. — Pro naše poznání přírody jest nad jiné důležité, že přírodní dějstvo nalézá se ve vzájemné souvislosti — souvislosti takové, že, naskytuje-li se určitý jev (skupina jevů), sleduje nutně určitý jev jiný. Onen první jev slove *příčinou* a tento druhý *účinkem*, jejich vzájemná souvislost pak *svazkem příčinným*.

Obecně představujeme si svazek příčinný jako vnitřní spojitost jevů, kterouž příčina nutně vytváří účinek. Tato představa však postrádá věcné oprávněnosti. Přesně vzato, nemůžeme ve svazku příčinném viděti více než pouze nutnou časovou slednost příčiny s účinkem, jejíž jsoucnost (existenci) můžeme v jednotlivých případech podle pevných pravidel logických z pozorování neb pokusu stanoviti, avšak za ni dále nelze nám ve zkoumání přírody pokročiti.

Pravíme-li, že nějaká příčina *působí*, netvrdíme tím více nežli její bytí. Toto úsloví, jako četná jiná, pochází ještě z doby, kdy přírodní dějstvo bylo pojímáno anthropomorfsky, totiž ve smyslu našeho vnitřního života; v té míře, jako potlačujeme dle možnosti anthropomorfské pojímání svého okolí, pozměňujeme patričně též význam úsloví na něm založených, snažíce se jej skutečnosti co-nejvěrněji přizpůsobiti.

O příčinném svazku platí obecně zásada, že *tatáž příčina má vždy tentýž účinek*. Změna příčiny nastati může pouze změnou v podstatě, seskupení a pohybu těles, nikoli pouhou změnou časovou neb prostorovou, že by totiž nějaká příčina za okolnosti ostatně stejných působila v jiné době neb na jiném místě.

Soustava Galilei-Newtonova. O silách vůbec. — V přírodě vyskytuje se velké množství a rozmanitost pohybů. Tělesa nevykonávají těchto pohybů z vlastního sebeurčení ani z nijaké vnitřní mohutnosti, ale určovány jsou v nich tělesy jinými.

Pohybové dějstvo těles v jejich vzájemné souvislosti jest obecně možno vystihnouti způsoby různými. Dnes obvyklá jest soustava, jejímiž hlavními zakladateli jsou Galilei a Newton, vystihující dějstvo pohybů přírodních dle příčinného svazku, a sice dle příčinného svazku zrychlení s různými příčinami vnějšími. —

Kdykoli se vyskytuje u nějakého tělesa zrychlení, jest vždy možno určití těleso jiné, v němž tkví jeho příčina; tuto vlastnost tělesa jako příčiny zrychlení tělesa jiného nazýváme silou. — Naopak jest silami vnější vliv na pohyb tělesa dokonale vystižen.

[Zde postačí jen poukázati na síly působící při pohybech již dříve vyšetřovaných. Později však při zavádění kteréhokolli druhu sil jest žádoucno vždy ukázati dle některého z pravidel Millových jeho příčinný svazek s příslušným zrychlením. Co se tíže dotýče, vynikne sice příčinný svazek země se zrychlením volného pádu náležitě teprv ze zákona gravitačního, nicméně může se již předem uvéstí za svědectví proň zkušenost, že zrychlení volného pádu na různých místech povrchu zemského a při různých polohách, jež naše země na svém pohybu denním jakož i ročním zaujímá, stále se obrací k jejímu středu. (Pravidlo souvislých změn.)]

O silách vůbec užíváme úsloví obvyklých v denním životě o síle svalové, pravice, že těleso působí silou, silou přitážitlivou, odpudlivou, neb pouze, že působí síla, přitahuje, odpuzuje a p., o nichž platí totéž, co bylo dříve řečeno o úslovích příčinného svazku vůbec se týkajících.*)

*) Taková rčení, jejichž věcný obsah ve smyslu horejší definice jest zřejmý, nejsou na újmu přesnosti nauky o silách, nezapomene-li se, že

Zákon setrvačnosti. — Jak z hořejšího vyplývá, není-li síly, není ani zrychlení, takže *nepůsobí-li naň síla, těleso, které jest v klidu, setrvává v klidu, a těleso, které se pohybuje, setrvává v přímočarém pohybu rovnoměrném.*

[Následuje Galileiův myšlenkový pokus o setrvačnosti rovnoměrného pohybu vodorovného, pak některé známé projevy setrvačnosti těles v klidu a pohybu.]

Zákon neodvislosti. — Příčiny vůbec co do způsobu jejich spolupůsobení rozdělití můžeme ve dvě třídy: jedny si navzájem nijak nepřekážejí, takže každá vykoná svůj účinek tak, jako by působila sama o sobě, jiné pak spolupůsobíce ve svých účincích různými způsoby se pozměňují, ba někdy naprosto nelze ve výsledném účinku jejich účinků jednotlivých postřehnouti, na př. u účinků chemických.

Jak zkušenost učí, náleží síly do prvé třídy oněch příčin: *působí-li totiž na těleso několik sil současně, uděluje mu každá pro sebe právě takové zrychlení, jako by působila sama o sobě, takže pohybuje se s výsledným zrychlením všech jednotlivých zrychlení jako zrychlení složných.*

Tuto, jakož i v úvahách nejbliže dalších, budeme přibližeti pouze k případům, v nichž síly udělují tělesům pouze pohyby postupné; tím nedopouštíme se žádné jednostrannosti, jelikož případy ostatní dají se z oněch jako základních odvoditi.

[Uvésti tu dlužno v přiměřené úpravě povšechné některé příklady, na př. spolupůsobení měsíce a slunce při přílivu a odlivu, spolupůsobení tíže, soudržnosti a přilnavosti při úkazech kapilárních, některé úkazy interferenční, objevení Neptunu a p.]

O hmotě a její velikosti. — Necháme-li tutěž sílu působiti za sebou na různá tělesa, shledáváme, že jim uděluje obecně též různá zrychlení. [Pokusy na Atwoodově padostroji neb raději se závažím působícím na tělesa přes kladku ve směru rovnoběžném.] Příčina toho zjevu tkví, jak zřejmo, v látce tělesa, a zjišťujeme ji jako novou vlastnost látky, kterouž nazýváme její *hmotou*.

mají pouze význam obrazný, jako nejsou obdobná rčení závadnými v naukách jiných, na př. v nauce o teple neb elektřině, ale naopak k stručnosti a výraznosti mluvy značně přispívají.

O velikosti hmoty stanovíme, že *tělesa, jimž tatáž síla uděluje stejná zrychlení, mají stejné hmoty; uděluje-li jim však zrychlení nestejná, jest hmota toho tělesa větší, které má zrychlení menší, a sice klademe ji tolikrát větší, kolikrát jest její zrychlení menší.*)*

Za jednotku hmoty bere se hmota 1 cm^3 překapané vody při 4° C a slove *gramm* (g). Uděluje-li tudíž určitá síla tělesu o hmotě 1 g zrychlení $a \text{ cm}$, bude míti těleso, jemuž tatáž síla uděluje zrychlení $\frac{a}{2} \text{ cm}$, hmotu 2 g , těleso, jemuž uděluje zrychlení $\frac{a}{3} \text{ cm}$, hmotu 3 g a obecně těleso, jemuž uděluje zrychlení $\frac{a}{m} \text{ cm}$, hmotu $m \text{ g}$.

Dle uvedených výměrů o velikosti hmoty jakož i dle důsledků z nich vyplývajících jest možno hmotu různými způsoby měřiti. Nejobvyklejší jest způsob vážení, o němž bude později šíře pojednáno.

Tělesa stejnorodá mají hmotu tolikrát větší, kolikrát větší jest jich objem.

Přesně odměřenou stupnicí hmot skýtá sádka závaží.

Měření sil. — Různé síly udělují tělesům obecně zrychlení různého směru a různé velikosti. Jako nevíme a nemůžeme věděti, proč síla způsobuje zrychlení, nevíme ani, proč způsobuje zrychlení určitého směru a určité velikosti. Nezbývá leč tu skutečnost prostě zjistiti, což činíme tím způsobem, že síle jako příčině přidělujeme směr a velikost.

Volíme za směr síly, což jest nejjednodušší, směr zrychlení jí způsobovaného; díme-li tudíž, že síla má určitý směr, nepravíme tím nic více, leč že způsobuje zrychlení toho směru.

O velikosti síly stanovíme si pak zásadu, že dvě síly udělující stejným hmotám stejná zrychlení považujeme za rovný; udělují-li jim však nestejná zrychlení, bereme tu sílu za větší, která uděluje větší zrychlení, a sice za tolikrát větší, kolikrát

*) Hmota jest v četných případech představitelem fyzikální hodnoty těles a bývá proto často jmenována za těleso, jemuž přináleží.

jest to zrychlení větší:*) *při stejné hmotě jest síla tolikrát větší, kolikrát jest větší zrychlení.*

Jelikož dle výměru o velikosti hmoty tatáž síla uděluje hmotě m -kráte větší zrychlení m -kráte menší, bude dle výměru o velikosti síly potřebí síly m -kráte větší, aby jí udělila zrychlení nezmenšené: *při stejném zrychlení jest síla tolikrát větší, kolikrát jest větší hmota.*

Za jednotku sil běře se síla, která hmotě jednoho grammu uděluje zrychlení jednoho centimetru a slove *dyna* (D).

Jelikož hmotě 1 g uděluje zrychlení 1 cm síla 1 D , udělí hmotě 1 g zrychlení $a\text{ cm}$ síla $a\text{ D}$ a hmotě $m\text{ g}$ zrychlení $a\text{ cm}$ síla

$$f = m \cdot a \cdot D. \quad (1)$$

Měření sil dle tohoto vzorce prováděné, jelikož zakládá se na pohybovém účinku sil, slove *měření dynamické*.

[Zde jest na místě promluvíti o velikosti tíže a její proměnlivosti, v přiměřeném spojení s rozbořem volného pádu, jež jest třeba před naukou o síle podrobně vyšetřiti.]

Jiný způsob měření sil záleží v tom, že síla srovnává se přímo se silou.

Obyčejně se to děje dle rovnováhy sil. O silách říkáme, že jsou *v rovnováze*, když působíce na nějaké těleso udělují mu výsledné zrychlení rovné nulle.

Nejjednodušší takový případ nastává, působí-li na těleso dvě rovné síly ve směru opačném: jelikož zrychlení jimi způsobená jsou také rovná a směru opačného, bude výslední zrychlení rovno nulle. *Jsou-li naopak dvě síly opačného směru v rovnováze, jsou sobě rovny, takže, známe-li jednu, máme tím dánu i velikost druhé.*

Takové měření sil, založené na rovnováze, slove *měření statické*.

K tomu měření jest potřebí jisté stupnice sil známých, jež by bylo možno dáti na těleso vhodným způsobem působiti. — Takovou stupnicí sil známých bývají nejčastěji tíže sádky zá-

*) Tato úměrnost dala by se sice dle zákona neodvislosti z jednodušších praemiss odvoditi, není to však z ohledů didaktických odporučitelné, jelikož by to bylo na újmu jednoduchosti výkladu.

važí. Velikost těchto tíží v dynách obdržíme dle vzorce (1), násobíce počet grammů příslušného závaží tíhovým zrychlením g . Obyčejně však se tento převod na dynu nekoná a za jednotku síly brává se při měření statickém *tíže jednoho grammu*; při vzájemném srovnávání měření dle této jednotky na různých místech vykonaných nesmí se však potom zapomínati, že tíže grammu jest na různých místech povrchu zemského různá.

Jiná často užívaná stupnice sil, která jest prosta oné proměnlivosti stupnice tíhové dle místa, zakládá se na pružnosti.

[Popis pružného dynamometru. Odměření jeho stupnice dle tíží normálních, příslušných normálnímu tíhovému zrychlení $g = 980\cdot665 \text{ cm/sec}^2$].

Zákon obapolného působení. — Zkušenost učí, že, *působí-li nějaké těleso na těleso jiné, působí zároveň toto na ono a sice silou stejně velikou a směru opačného*. Mechanické působení jest projev obapolný, a síla jest pouze jeho projevem jednostranným.

Umístíme-li v jedné nádobě magnet a v druhé měkké železo a postavíme-li obě v jisté od sebe vzdálenosti na klidnou vodu, začnou se obě pohybovati k sobě a, narazivše na sebe, zůstanou v klidu. (Newton.) — Myslíme-li si naší zemi libovolně vedený řez rovinný, tlačí jedna úseč na druhou silou stejně velikou a směru opačného, neboť jinak pohybovala by se následkem toho ve směru tlaku většího pohybem zrychleným, kdežto dle řezu s oním od opačného polu souměrně položeného vyplýval by důsledek zcela opačný. (Newton.) — [Příklady z denního života].

Dle zákona obapolného působení přitahuje netoliko země kámen k zemi padající, avšak tento přitahuje zároveň silou stejně velikou zemi — jenže pohyb země, jelikož její hmota oproti hmotě onoho kamene jest nepoměrně veliká, jest oproti pohybu jeho nepoměrně malý. [Poukaz s tohoto hlediska na působení gravitační, magnetické a elektrické.]

Působíště síly a její zobrazení. — Myslíme-li si nějaké těleso rozpůleno, zůstane na každou jeho polovinu působiti polovina jeho tíže. Dělíme-li tyto poloviny dále, budou se dělití v témže poměru i jejich tíže. V tomto dělení můžeme pokračovati až k nejmenším částicím tělesným, čímž nabýváme představy, že tíhové působení na těleso skládá se z tíhových půso-

bení na nejmenší jeho částice. Podobně vycházíme obecně při mechanických výkladech od působení na nejmenší částice tělesné, jež jmenujeme zkrátka *hmotnými body*, a představujeme si síly jako působící v bodech, jež zoveme *jejich působišti*.

Máme tudíž u síly tři prvky určovací, a sice působišť, směr a velikost, a zobrazujeme si ji šipkou, jejíž počátek značí působišť síly, jejíž směr jest zároveň směrem síly a jejíž délka dle volené míry udává velikost síly.

Skládání sil. — [Provede se na základě zákona neodvislosti sil dle skládání pohybů.] —

Pojem síly, jak tuto naznačen, jest prost anthropomorfecké příměsí. Neběží při něm o způsob působení té které příčiny zrychlení, nýbrž pouze o její jsoucnost (existenci). Tím převeden pojem síly, po způsobu jiných předních pojmů fyzikálních, jakož i všechny vývody z něho plynoucí, na půdu čistě fyzikální.

Rovnováha sil na př. nezáleží tu ve vzájemném rušení se sil ve způsobu jich působení, kterýžto děj netoliko u sil různorodých, ba ani u stejnorodých, jest nemožno si představití, nýbrž rovnováha sil jeví se tu jako interference jich účinků pohybových, jež jest dobře pochopitelná. — Vezměme vzájemné na sebe působení dvou těles do vzdálenosti, třeba působení gravitační. Dle obvyklého pojmu síly, zahrnujícího v sobě způsob jejího působení, naskytují se v tomto ději čtyry síly, a sice přitažlivost prvního tělesa na druhé a na místě jejího působení protipůsobení tohoto druhého, pak přitažlivost druhého na první a na místě jejího působení protipůsobení tohoto, kdežto dle pojmu síly, jak shora naznačen, jsou v tomto ději jen síly dvě, totiž přitažlivost každého z obou těles na druhé, jež ve skutečnosti též jediné dají se zjistiti. V tomto nereálném zveličování obsahu i počtu sil tkví zajisté též příčina dosavadní neujasněnosti o síle odstředivé.*) Síla odstředivá jest jen pouhé

*) Ve spolku „Verein zur Förderung des phys. Unterr. z. Berlin“ rokovalo se nedávno po celé dvě schůze o síle odstředivé, aniž by se bylo dospělo ke konečnému řešení její přetřásané tam záhadnosti, ale bylo na konec správně rozpoznáno, že běží tu o záhadnost pojmu síly vůbec („dass eine widerspruchsfreie Darstellung der Sache nur im Zusammenhang mit einer präzisen Fassung des Kraftbegriffs zu gewinnen sei.“)

protipůsobení k síle dostředivé, a musí dle toho, co shora řečeno, býti téhož druhu jako síla dostředivá — je-li síla dostředivá silou gravitační, jest jí i síla odstředivá, je-li síla dostředivá molekulovým tahem neb tlakem, jest jí i síla odstředivá. Něco více ve skutečnosti ani zjistiti se nedá.

Co se didaktické stránky dotýče, rozumí se samo sebou, že pojem síly tuto naznačený připouští různá zpracování methodická, ani zpracování methodou historickou nevyjímajíc.

Poznámka o konstrukci racionálních křivek.

Napsal

Dr. K. Petr.

Křivka racionální n -tého stupně ustanovena jest jak známo v souřadnicích pravoúhlých vztahy

$$x = \frac{a_0 t^n + a_1 t^{n-1} + \dots}{b_0 t^n + b_1 t^{n-1} + \dots},$$

$$y = \frac{b_0 t + b_1 t^{n-1} + \dots}{c_0 t^n + c_1 t^{n-1} + \dots},$$

kde a_0, b_0, c_0 nejsou současně všechny tři rovny nulle. Pokládáme-li t za (měnicí se) poměr dvou délek, můžeme, jak známo z elementů geometrie, délky x, y jednoznačně sestrojiti a tak zjednati si libovolný počet bodů předložené křivky. V následujícím chci vyložiti jeden způsob konstrukce zcela jednoduchý a na snadě ležící, při čemž chci míti na zřeteli případ dosti obecný, že jest přímka, která křivku danou protíná v n bodech reálných a různých.*)

Abý výklad stal se co nejjednodušším, zavedu souřadnice trojúhelníkové. Zavedu však tyto souřadnice v speciálním tvaru, aby zůstal srozumitelným i těm, jimž pojem souřadnic trojúhelníkových není docela dobře znám. Přiberu ku osám pravoúhlým X, Y , jichž průsek označím C , přímku třetí protínající osy X, Y

*) Tato okolnost nastane vždy při křivkách racionálních druhého a třetího stupně.