

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Josef Krkoška  
O síle setrvačnosti

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 36 (1907), No. 2, 143--156

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122720>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1907

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>

$$4. \text{ pro } k = p : y_p = b \sin \frac{q}{p} \left[ (4p + 1) \frac{\pi}{2} + \frac{p}{q} \varepsilon \right] = \\ b \sin \frac{q}{p} \left[ \frac{\pi}{2} + \frac{p}{q} \varepsilon \right] = y_0.$$

Kladouce za  $k$  dále  $p + 1, p + 2, \dots$ , poznáme, že se  $y_1, y_2, \dots$  opakují. Z toho je patrné, že pro  $y$  je jenom  $p$  různých hodnot ( $y_0, y_1, y_2, \dots, y_{p-1}$ ), čili: křivka udaná rovnicí (1) má všeobecně jen  $p$  postranních vrcholů ( $v_p = p$ ).

Podobným postupem lze dokázati, že má křivka (1) také na levé straně jen  $p$  vrcholů, řešíme-li s její rovnicí rovnicí levé tečny

$$\xi = -1. \quad (7)$$

Platí tedy

$$\frac{v_h}{v_p} = \frac{q}{p} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{N_1}{N_2} = n, \quad \text{q. e. d.}$$

Dokázaná věta má platnost nejen pro tvary rozvinuté, nýbrž i pro tvary přechodní (degenerované). V tomto posledním případě musíme ovšem býti pamětlivi toho, že

1. kde v přechodním tvaru je vrchol, tam se kladou na sebe 2 části křivky, tam je křivka dvojitá, bod v jedné periodě výsledného pohybu probíhá tudy dvakrát (ovšem ve směrech opačných); nutno tedy vrchol takový počítati za dva!;

2. kde v přechodním tvaru křivka končí, tam se pohybuující bod obrací, aby šel touž cestou zpět; konec takový vznikl z vrcholu křivky tím, že části příslušný vrchol vytvářející položily se na sebe. I nutno takový konec počítati za vrchol.

## O síle setrvačnosti.

Napsal Jos. Krkoška, prof. v Pelhřimově.

V různých zpracováních dnešní mechaniky, jak v jednotlivých o sobě, tak zvláště u vzájemném jich srovnání, potkááme se s vážnými nesrovnalostmi i nejasnostmi. Za elementární a názorný má se na př. pokus s tělesem na ruce vodorovně vztážené drženým, jenž k různým účelům hned na počátku mechaniky se uvádívá. Avšak jak rozdílné bývá jeho podání! Dle jedněch cítíme zde tíži zemskou, dle jiných statický účinek tíže

na těleso působící, jež nastupuje místo účinku dynamického u tělesa volného, dle jiných snahu tělesa padati, dle jiných účinek této snahy a j. To jsou jistě pojetí podstatně rozdílná a ani o sobě nedosti jasná. — Se stejnou neujasněností potkáváme se při působení, jež bývá považováno za nejnázornější, ba jediné pochopitelné, totiž při působení bezprostředním, dále v pojmu síly vůbec, jakož i v otázkách některých zvláštních druhů mechanického působení se týkajících; poukazují na rozpor v míněních o působení do dálky, jež od některých považováno jest za zcela přípustné, kdežto dle Newtona a jiných přiči se zdravému rozumu. Ke zvláště nápadným neshodám dospívá se, u síly odstředivé. Jedni její jsoucnost uznávají, jiní ji popírají, jiní považují ji jen za sílu nepravou, jež nemůže způsobiti změnu pohybu oproti silám pravým, kteréž mohou ji způsobiti, jiní za sílu nesamostatnou, jež nemůže sama o sobě trvati a budí se teprv za působení síly dostředivé, jiní za sílu fiktivní a tomu podobné; jedni považují sílu dostředivou za hlavní a odstředivou za vedlejší, jiní naopak, a jiní rozhodují od případu k případu, které z nich přisouditi reálnost. — Nejednotnost jeví se dále v užívání zákona obapolného působení, v pojmu práce a jinde.

Bylo by ukvapené připisovati původ takových nesrovnalostí a neshod, jak se někdy děje, vůbec povaze dnešní mechaniky, neb dokonce viděti v nich důvody proti účelnosti a přirozenosti této soustavy. Jejich příčiny hledati jest v nevypracovanosti a neustálenosti některých pojmů základních. V případech shora dotčených vedou nás stopy až k pojmu setrvačnosti.

Neběží o setrvačnost vůbec, nýbrž jen o otázku, jak chová se těleso při změně svého pohybu co do rychlosti a směru, zdaž při ní nějak o sobě působí a jak? Tato otázka hluboko zasahuje v povahu dnešní mechaniky, aniž dostává se jí pozornosti, jakéž dle svého významu zasluhuje. Máme zde jeden z pojmů, jež nedosti uvědoměné v odborné úvahy se připlétají a svou neujasněností a neustáleností je halivají. Přesná práce vědecká takových nezávazností a poloodborností pojmových nenesé a vyžaduje, aby pojmy v ní užívané jasně a určitě byly uvědoměny a vymezeny a na své místo v soustavě pevně umístěny. Následující řádky mají podati k tomu příspěvek ve zmíněné otázce setrvačnosti. —

Obyčejně se bere, že těleso při každé změně svého pohybu klade odpor, a sice odpor, kterýž jest rovnomocný mechanické síle v obyčejném slova smyslu. Myslí se, že plyne to ze zkušenosti. Vykládá se v tom smyslu na př. zkušenost s vozem na vodorovných kolejích co možná beze tření. Uvádíme-li jej v pohyb — bývá usuzováno — cítíme, že vůz klade proti tomu odpor; za daných podmínek — vodorovnost kolejí, nepatrné tření — nemůže zmíněný odpor odjinud plynouti, leč z povahy tělesa o sobě, a sice jest projevem jeho setrvačnosti. Stejného druhu odpor klade těleso vůbec při každé změně svého pohybu co do rychlosti a směru čili působí obecně *silou setrvačnosti*. Na základě zákona působení a protipůsobení jest síla setrvačnosti — jak dále bývá usuzováno — rovna síle pohyb tělesa měnící a má směr s ní opačný.

Na první pohled se zdá, že proti takovým úvahám nedá se ničeho namítati. Všimněme si zatím jen jejich důsledků. Kdož na vymezeném v nich pojmu síly setrvačnosti budují důsledně, což však pravidelně se nestává, mají ve shora uvedených případech nerozhodných po většině předem dáno, jaké stanovisko v nich zaujati. Chtějí-li míti v pojmu fyzikální práce zahrnutu jakousi námahu, přemáhání odporu, mají k tomu v síle setrvačnosti věcný podklad. — Působení do vzdálenosti jest s tohoto stanoviska ve skutečnosti nepřipustné, neboť faktický odpor tělesa proti změně jeho pohybu možno jen bezprostředním působením překonati. — Existence síly odstředivé jest na tomto základě nepochybná a to v podobě odporu proti změně pohybu, v podobě síly setrvačnosti. Nemůže to zde síla býti vedlejší, nepravá, nesamostatná, nýbrž síla každé jiné rovnomocná. Setkají-li se totiž na vodorovných kolejích co možná bez tření dva vozy rovnoměrně se pohybující, změní si navzájem dle hořejších vývodů své pohyby silami setrvačnosti. Nelze tu zajisté žádnou z těchto sil bráti oproti druhé za podřízenou, a není důsledným činiti tak kdekoli jinde. — Ani u křivočarého pohybu volného, kdež mínění o síle odstředivé nejvíce se rozcházejí, nestaví se v cestu nějaké obtíže zvláštní. Jako při působení do vzdálenosti vůbec, jsou i při volném pohybu křivočarém, na př. u pohybu oběžnic, působení i protipůsobení, síla dostředivá i odstředivá důsledky theoretické, o nichž však zde právem se předpokládá,

že nepostrádají fyzikálního podkladu, třebaš dosud neobjeveného, ve smyslu působení bezprostředního.

Při pokusu s tělesem na ruce vodorovně vztažené drženým nedospíváme však tu k řešení uspokojivému. Jest nepochybně, že tlak, kterým tlačí těleso na ruku, jest téže povahy jako tlak, kterým tlačil při pokusu dříve uvedeném vůz, když jsme jej uváděli v pohyb; ostatně každý přizná, kdyby těleso na ruce držené najednou stalo se tíže prostým, a my ve svém tlaku naň setrvali, že udělovali bychom jemu pohyb rovnoměrně zrychlený, aniž bychom v tlaku se strany tělesa nějakou změnu pociťovali. Jestli tudíž s našeho stanoviska v tomto případě klademe východisko tlaku v těleso, dlužno jej tam klásti i v případě onom, když těleso v klidu na ruce spočívá. Kterak však zde ten tlak vzniká? V prvním případě dala se změna pohybu tělesa, za které působí těleso silou setrvačnosti, zde však spočívá těleso na ruce v klidu, ve stavu neměněném. — Proti námitce, že i tu pohyb tělesa se mění, jelikož těleso, kdyby nebylo zespod drženo, padalo by pohybem rovnoměrným, dlužno míti na mysli, že, mění-li tlak ruky pohyb, jež by způsobila tíže sama pro sebe, mění stejně tíže pohyb, jež by způsobil tlak ruky, a působilo-li by těleso silou setrvačnosti ve směru jednom, že mělo by působiti touže silou i ve směru opačném, takže nějaký jich projev na venek jest vyloučen. — Uvádívá se zde též, že v tlaku na ruku přímo pociťujeme tíži. Potom však zbývá vyložiti funkci, jakou zastává při tom těleso, a že nějakou funkci tu má, jest nepochybně, jelikož bez jeho prostřednictví tíže necítíme. — S podobnými obtížemi pak se setkáváme při rovnováze těles vůbec.

Později naskytne se ještě příležitost o jiných nedostatcích této nauky o síle setrvačnosti se zmíniti. Zatím přejděme k nauce jiné a sice k nauce Newtonově —

Newton naznačil své stanovisko o síle setrvačnosti ve své III. definici, jež zní: „*Vniterná síla látky jest mohutnost klásti odpor, kterouž každé těleso, pokud na něm jest, setrvává ve svém stavu buď klidu buď rovnoměrného pohybu přímočarého.* — Tato jest vždy úměrna hmotě svého tělesa, aniž se liší nějak od setrvačnosti hmoty, leč ve způsobu pojetí. Setrvačností látky se stává, že každé těleso nesnadno vyrušováno jest ze svého stavu buď klidu buď pohybu. Odtud i síla vniterná nejvýznač-

nějším jménem slouží může silou setrvačnosti. Vyvíjí zajisté těleso tuto sílu pouze při změně svého stavu, způsobované jinou silou naň působící; jest pak vývin její s různého hlediska buď odpor buď náraz (impetus); odpor, pokud těleso k uchování svého stavu brání se síle naň působící; náraz, pokud totéž těleso, nesnadno ustupujíc síle překážky odporující, snaží se stav její změnit. Obecně přisuzuje se odpor tělesům v klidu a náraz tělesům v pohybu; avšak pohyb a klid, jak obecně se pojímají, liší se od sebe jen dle hlediska; aniž v pravdě jsou vždy v klidu tělesa, na něž jako na v klidu jsoucí se pohlíží.“ \*)

Význam této definice bývá podceňován a přehlížen. Mach \*\*) ve své kritice soustavy Newtonovy má ji vůbec za zbytečnou a Volkmann \*\*\*) , jeden z předních vykladatelů Newtonových Principií, považuje ji za přechodní, postrádající podstatného významu pro výklady další. Že však definovaný tu pojem síly vniterné není v soustavě Newtonové tak bezvýznamným, tomu nasvědčuje již okolnost, že Newton se o něm poměrně obšírně rozhovíruje, obšírněji než v následujícím o síle působící (vis impressa), ačkoli jinak jest zdržlivý a skoupý slovy, kde jedná se o fyzikální povahu užívaných pojmů, několikrát na různých místech se ohražuje, že běží mu jen o šetření mathematická.

\*) *Materiae vis insita est potentia resistendi, qua corpus unumquodque, quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum.* —

Haec semper proportionalis est suo corpori, necque differt quicquam ab inertia massae, nisi in modo concipiendi. Per inertiam materiae sit, ut corpus omne de statu suo vel quiescendi vel movendi difficulter deturbetur. Unde etiam vis insita nomine significantissimo Vis Inertiae dici possit. Exercet vero corpus hanc vim solummodo in mutatione status sui per vim aliam in se impressam facta; estque exercitium ejus sub diverso respectu et Resistentia et Impetus; resistentia, quatenus corpus ad conservandum statum suum reluctatur vi impressae; impetus, quatenus corpus idem, vi resistendis obstaculi difficulter cedendo, conatur statum ejus mutare. Vulgus resistentiam quiescentibus et impetum moventibus tribuit: sed motus et quies, uti vulgo concipiuntur, respectu solo distinguuntur ab invicem; neque semper vere quiescunt, quae vulgo tamquam quiescentia spectantur.« — I. Newton, Phil. nat. princ. math., ed. II., 1723, p. 2.

\*\*) Dr. E. Mach, Mechanik, IV. Aufl., p. 256.

\*\*\*) Dr. P. Volkmann, Einführung in das Studium der theor. Phys., pag. 74.

Jc-li pak v dalších výkladech síla vniterná řídceji výslovně uváděna, nesmí se přehlížeti, že v jejím smyslu nutno jest pojímati různá místa, kde ani přímo jmenována není, máme-li jim vůbec rozuměti neb správně je chápati. Síla vniterná zabarvuje dle svého obsahu celou soustavu Newtonovu. Z jejího pojmu plyne na př. neklamně, že obecně síla působící (*vis impressa*) má u Newtona význam fyzikální, nikoli jen mathematický, formální, jak někdy v novodobém smyslu se tlumočívá; v něm rovněž hledati jest původ zmíněného již Newtonova stanoviska o působení do vzdálenosti a j.

Ani o věcném obsahu této definice není shody, a bývají podávány o něm výklady značně od sebe se lišící. Předně bývá síla vniterná brána doslovně a považována za mechanickou sílu trvajíc v tělese i za jeho klidu nebo rovnoměrného pohybu přímočarého a na venek za změny toho stavu se jevící\*). Avšak za doby Newtonovy nebyl výraz „síla“ v dnešním svém významu ještě ustálen, a užívalo se ho i ve vědě mnohem volněji nežli dnes. Newton i na touž sílu pohlíží dle okolností různě, dle nichž jest mu buď *vis absoluta* neb *vis acceleratrix* neb *vis motrix*. Silou absolutnou jest dle Newtona síla, pokud se přihlíží pouze k příčině, bez níž by působení nebylo. A něčím obdobným jest mu asi síla vniterná. Blížší vysvětlení jest hledati u jeho předchůdců, z jejichž vlivu Newton se nevymanil, třebaš od nich daleko ku předu postoupil. Jak známo, za nauku Aristotelovu, že těleso udržováno jest v pohybu násilném pohybem prostředí, nastoupila začátkem nové doby nauka, že síla uvádějící těleso v pohyb přechází částečně do tělesa a s ním postupujíc udržuje je v pohybu tak dlouho, až se tím výkonem vyčerpá; tato nauka o síle v těleso pronikší — *vis impressa* v přednewtonském významu — udržovala se až do objevení zákona setrvačnosti, kdy teprv po některých marných pokusech její pomocí tuto setrvačnost vyložiti bylo od ní upuštěno. Sem odnášejí se pak výpovědi Newtonovy při definici IV, týkající se síly působící (*vis impressa*), že „záleží tato síla v pouhé akci, aniž po akci trvá v tělese. Setrvává totiž těleso v každém novém stavu pouhou silou setrvačnosti“. Těleso dle toho, aby setrvalo v klidu neb v rovnoměrném

---

\*) Srovnej dr. A. Seydler, *Mechanika*, str. 236.

pohybu přímočarém, nepotřebuje žádné mechanické síly, nýbrž nese princip toho setrvání — sílu vniternou, setrvačnost — v sobě; setrvačnost v klidu neb v rovnoměrném pohybu přímočarém náleží k přirozenosti tělesa, jest jeho stavem samovolným.

Těleso však setrvává netoliko volně, když jest v klidu neb v přímočarém pohybu rovnoměrném, ono setrvává, pokud může (*quantum in se est*), i proti změnám tohoto stavu. A síla vniterná v podobě této setrvačnosti proti změnám klidu neb rovnoměrného pohybu přímočarého (*potentia resistendi*) bývá od jiných považována za obyčejnou sílu mechanickou \*). Ani k tomuto výkladu není však u Newtona patřičného věcného podkladu. Svědčí proti němu již užívané výrazy slovné. Síla působící (*vis impressa*) jest akce, kteréhož výrazu nikde o síle vniterné se neuzívá; na př. ve shora uvedené definici síla vniterná jest potence a i jako *impetus* jen snaha. Takové slovné rozdíly nejsou zajisté u Newtona nahodilé, a třeba jim přikládati věcné pozadí. Co pak věci se dotýče, jest nemožno tuto sílu vniternou v úloze mechanické síly jinak účelně si mysliti, nežli že by měla býti silou působící překonána, tak že musila by jí co do velikosti se rovnati; taková rovnost není však mezi nimi obecně možna, jelikož síla působící jest dle II. zákona úměrna změně hybnosti tělesa \*\*), kdež síla vniterná dle uvedené definice úměrna jest hmotě jeho — pro svoji neproměnnost právě jest dle Newtona bytnou vlastností tělesa, jakouž není ani jeho tíže, měníc se dle vzdálenosti jeho od středu země. A k podobnému sporu dospívá se za předpokladu, že síla vniterná jest obyčejnou silou mechanickou, i při rázu, kdež síla vniterná jest *impetus*, neboť působily

---

\*) Dr. E. Düring, *Krit. Geschichte der allg. Principien der Mech.*, 1873, p. 202. — Dr. P. Volkmann, *ibid.* — Vůbec z podobného výkladu Newtonovy síly vniterné vznikla asi též ona nauka o síle setrvačnosti, jež byla již dříve vyložena.

\*\*\*) Mimoходом řečeno, nelze souhlasiti s Chwolsonem (*Lehrbuch der Physik*, übers. von Pflaum, Bd. I, p. 75—76). že *mutatio motus* značí v II. zákoně Newtonově změnu rychlosti a nikoli hybnosti, a sice nelze souhlasiti jednak z té příčiny, že *mutatio motus* na jiných místech, třeba při rázu, značí nepochybně změnu hybnosti, ale hlavně proto, že ve zmíněném zákoně uvádí se *vis motrix*, nikoli *vis acceleratrix*. Newton má zajisté v tomto zákoně na mysli konečný výraz, k němuž dále i Chwolson dospívá.



by zde dle toho obecně proti sobě dvě síly nestejně veliké, hmotám srazivších se těles úměrné. — U Newtona však takového sporu není. Newton konal o rázu pokusy, o jichž výsledku praví (ibid. p. 20): „ . . . shledal jsem vždy . . . , kde tělesa přímo se setkala, že změny hybností u těles v opačných směrech způsobené byly stejny, a tím též, že akce a reakce vždy byly stejny.“ O povaze této akce a reakce nic bližšího se zde neříká; postupuje tu Newton jako při silách jiných, na př. při gravitaci, že ze změny pohybu usuzuje existenci a velikost síly. od dalšího rozhodování o její fyzikální povaze se zdržuje. Nesmíme však chtítí viděti v nich zde přímé působení síly vniterné. neboť o něco dále čteme (ibid. p. 22): „Jako při rázu a odrazu stejně jsou mocna ta tělesa, jejichž rychlosti jsou v převráceném poměru se silami vniterními (vires insitae): tak u mechanických strojů k pohybu stejně jsou mocna a protivnými snahami drží si navzájem rovnováhu tělesa, jejichž rychlosti ve směru sil vzaté jsou v převráceném poměru se silami (vires).“ Následují příklady strojů, načež se pokračuje: „Chtěl jsem tím pouze ukázati, jak široký rozsah a jakou jistotu má třetí zákon pohybu. Neboť odhaduje-li se akce tělesa působícího dle jeho síly a rychlosti zároveň, a podobně reakce tělesa protipůsobícího odhaduje se zároveň dle rychlostí jeho částí a jejich sil odporu plynoucích z jejich tření, soudržnosti, váhy a zrychlení, budou akce a reakce při každém upotřebení strojů navzájem sobě vždy rovny. A pokud akce šíří se strojem a konečně působí na každé těleso odporující, bude její konečný směr vždy protivný směru reakce.“ Ze způsobu, kterým Newton zde na počátku ráz tlumočí, vysvítá jasně, že akce ani reakce se silou vniternou totožna tu není. Avšak ani síla vniterná, podporovaná rychlostí příslušného tělesa, jako na př. u páky síla podporována jest délkou ramena, nemůže akci ani reakci tvořiti. Tak sice *odhaduje* Newton akci a reakci u strojů, to však jsou již pojmy rozšířené, dle akce a reakce při rázu dosti odlehlou analogií utvořené — při rázu pohyb volný, u strojů vázaný. Při rázu jsou vzájemná působení o sobě stejná, bez všelikého zvětšování jich činiteli cizorodými; plyne to z příkladu uvedeného předběžně při zákoně III. (ibid. p. 13, v němž, *narazí-li* jedno těleso na druhé, mění stejně jedno pohyb druhého „pro stejnost vzájemného tlaku“. Akce a reakce neskládají se

tudíž ze síly vniterné ani plně ani jen z části, ale jsou to působení vedle síly vniterné stávající. Síla vniterná ve shora uvedeném tlumočení rázu dvou těles má účel jen vnější, k zmíněné již analogii směřující; jest to jen formálně pozmeněný výraz téhož úkazu, předběžně již při zákoně III. uvedeného, že „změny rychlosti . . ., jsou v převráceném poměru s hmotami těles“. Síla vniterná nemá při rázu jiného významu nežli při jakékoli akci jiné: oproti síle vniterné tělesa jednoho jest akce, s touto souvisí stejně veliká reakce, oproti níž jest síla vniterná tělesa druhého; tato akce a reakce záleží ve vzájemném tlaku (*pressio mutua*) — tlak vskutku též uveden jest při definici síly působící (*vis impressa*), jako zvláštní případ této síly.

Jak tudíž máme Newtonovu sílu vniternou si představit? Všechny okolnosti nasvědčují tomu, že síla vniterná tvoří u Newtona svého druhu vniternou stránku tělesa, kterouž dlužno rozlišovati od obyčejné síly mechanické, ona jest protějškem této, jenž potřebu obyčejné mechanické síly podmiňuje, sám jí však není. Poněvadž těleso má do jisté míry (*quantum in se est*) potenci setrvávati v klidu neb v rovnoměrném pohybu přímočarém i proti změnám toho stavu, jest potřebí k vykonání těchto změn působení mechanické síly. Tato síla pak nepůsobí na těleso, aby, jako dle nauky dříve uvedené, překonala stejně velikou a v mechanické povaze rovnocennou sílu setrvačnosti, nýbrž aby způsobila změnu pohybu, kterýžto účinek jest však při zmíněné potenci tělesu obtížný, namáhavý, a sice tím obtížnější, namáhavější, čím větší jest hmota tělesa. Čím pak jest tento účinek obtížnější, tím ovšem jest i za ostatně stejných okolností menší. \*)

Mezi oběma těmito soustavami jest zajisté rozdíl podstatný. V první z nich spočívá celé dějstvo pohybů v základě na rovnováze sil: vyskytne-li se nějaké působení, setkává se stejně velikým protipůsobením, s nímž ruší se navzájem; pohyb pak jest při tom pouhou okolností průvodnou, s jedním nebo s oběma působeními souvisící. Taková theorie jest zajisté málo přirozená a málo věcná, v níž hlavní předmět zkoumání zapadá na místo

---

\*) Tomuto pojetí souvislosti síly s jejím účinkem blíží se L. Pfandler (*Lehrbuch der Physik*, 10. Aufl., I. Bd., p. 88); vadí však u něho, že vliv síly setrvačnosti na účinek síly uvádí souřadně s vlivem tření a odporu prostředí, a blíže jej nevynezuje.

podřízené V soustavě Newtonově jest pojmové vyhranění již případnější: proti síle jako příčině stojí samostatně změna pohybu jako účinek, vyznačující se jen přívlastkem obtížnosti.

Že tento rozdíl obou soustav není bez věcných důsledků, vidíme hned na zákoně působení a protipůsobení. Vezměme na př. gravitační působení dvou těles volných. Kdežto v soustavě Newtonově máme v tomto případě jedinou dvojici působení s protipůsobením, jsou v první soustavě dvojice tři, předně gravitační působení jednoho tělesa na druhé se silou setrvačnosti tohoto, pak vzájemné působení těles obou a konečně gravitační působení tělesa druhého na první se silou setrvačnosti tohoto. Kdežto dále v soustavě Newtonově jest působení s protipůsobením vždy stejnorodé jest v soustavě první vedle toho ve dvojici první a třetí působení s protipůsobením různorodé. Kdežto konečně u Newtona působení s protipůsobením jeví své účinky samostatně, máme v soustavě první též případy působení s protipůsobením, jež působí proti sobě, na zrušení sebe. Případy posléz uvedené nepatří vlastně ani do oboru III. zákona Newtonova, kamž bývají počítány, jsou to jednoduché případy rovnováhy; dle Newtona působení s protipůsobením jest působení jedno, v opačných směrech se projevující. působení dva póly mající čili obapolné.

Nehodlám šíře rozváděti, jak i v soustavě Newtonově dospívá se v různých pochybných otázkách dnešní mechaniky, postupuje-li se důsledně, rovněž k řešením zcela určitým. Avšak k uspokojivému řešení rovnováhy sil ani tady nedospíváme. Síla jest akce k způsobení jistého namáhavého účinku pohybového. Jak mysliti však tu akci bez tohoto účinku? Jako rušící sílu druhou — řekne se — neb jako rušenou silou druhou neb obě zároveň. To však jest již nový význam akce, od původního zcela rozdílný, tak že i zde propast mezi statikou a dynamikou zůstává nepřeklenuta.

Příčina toho tkví i tady v síle setrvačnosti, třebaš jevila se zde jen v jakési obtížnosti účinku. Síla setrvačnosti y té neb jiné podobě utváří spojení sil s jejich účinky tak, že, ruší-li se tyto účinky, mizí i základní existenční podmínka jejich příčin, za niž hledati pak jest náhradu jinou. Obyčejně zavádí se přímý vztah příčin, aniž běže se patřičný zřetel k tělesu, jež má zajisté

těž při rovnováze svůj význam, jako jej mělo při změně pohybu. Důslednějším by bylo zavést za sílu setrvačnosti pro případ rovnováhy jinou sílu tělesa, třeba v přiměřené úpravě Leibnizovu sílu mrtvou (vis mortua) \*) Nečiní se tak, zajisté z té příčiny, že se cítí nepřirozenost takového pojmu silového. Ve skutečnosti však stejně bezpodstatnou jest v jakékoli podobě i síla setrvačnosti. —

Sílu setrvačnosti ve skutečnosti nikde nepostřehujeme. Vraťme se k onomu příkladu s vozem na vodorovných kolejkách beze tření, ježž uvádíme v pohyb. Dle obvyklého mínění poznáváme zde dvojí působení samostatné, totiž působení naše na vůz a proti němu působení jeho setrvačnosti. Opravdu však postřehujeme zde děj jednotný, jehož části o sobě nemůžeme si ani představití, nikdy jich tak zakusivše; jest to tentýž děj, ježž cítíme tlačíce shora na pryžový míč na stole spočívající a obecně nazýváme napětím (tensí). O fyziologické podmínky jeho vzniku v mechanice staratí se nemusíme, jeho mechanický obsah vystižen pak jest dnes jako působení molekulární. Tedy molekulární působení zakoušíme tlačíce na onen vůz, ať v místě ze železa nebo z pryže, a za to působení dále naše zkušenost pokročiti nemůže.

Řekne se snad, že k pojmu síly setrvačnosti můžeme dospěti nepřímou; narazí-li na př. na sebe dvě tělesa, trvá tento ráz dobu sice velmi krátkou, ale přece konečnou, z čehož mohlo by se souditi, že ta tělesa brání se změně svého pohybu, mají jakousi sílu setrvačnosti, neboť jinak ustoupilo by jedno druhému okamžitě. Ovšem tělesa neustupují si okamžitě, avšak nikoli, že brání se změně pohybu, nýbrž poněvadž potřebují času na projití dráhy za veze vzájemného působení molekulárního, kterýžto čas zůstává tentýž, ať ve funkci udávající jeho závislost od onoho molekulárního působení zastupuje veličina  $m$  (hmota) sílu setrvačnosti neb jest pouhým mathematickým koeficientem. Rovněž molekulární působení oněch těles jest funkcí jejich vzá-

\*) Ve svém přidělení sil rozeznává Leibniz také sílu mrtvou, v níž není ještě pohybu, nýbrž pouze popud k němu, oproti síle živé, se skutečným pohybem souvisící. — Téhož druhu pojem nalézá se též již u Galileie v jeho „peso mor“.

jemné vzdálenosti a nepotřebuje dále zavádění žádné nové veličiny v podobě nějaké síly vniterné za důvod svojí existence.

Může se též zdáti, že mechanické působení jako napětí samo sebou svědčí tomu, že jeho účinek pohybový rovněž jest něco silového. Nelze však tomu přisvědčiti, i když předpokládáme, že jednou všechno mechanické působení převedeno bude na působení molekulární, není zajisté nutno, aby účinek byl stejnorodý neb příbuzný se svou příčinou. Za zmíněným napětím ostatně nehledáme vždy setrvačnost, často ustáváme na představách tělesnosti, neproniknutelnosti, tvrdosti a p. Tyto představy, přesně vzaty, obsahují jen různé stránky naší zkušenosti o onom napětí molekulárním. Obyčejně ovšem postupujeme i tu za meze naší zkušenosti k pojmu jakési substance jako nositele vlastností smysly postřehovaných, avšak tím přecházíme již na půdu metafysickou, kdež podobně svůj původ vzala i naše síla setrvačnosti.

Obyčejně se myslí, že vznik účinku z příčiny snáze a hlouběji pochopíme, jsou-li spolu stejnorodými neb aspoň příbuznými. I když oprávněnost takového mínění připustíme. při působení sílovém ničeho se v tom směru nezíská, neboť záhada vnitřní souvislosti síly se změnou pohybu se jen oddaluje a přesunuje na sílu setrvačnosti, jejíž souvislost se změnou pohybu jejího tělesa zůstává nevysvětlenou; není zajisté vysvětlením, přisoudí-li se za tím účelem tělesům vlastnosti jakési línosti.

Padá-li síla setrvačnosti, mizí zajisté i z pojmu napětí jako příčiny vkládaná v něj představa moci tvořivé. Napětí a změna pohybu, zbaveny však klamných předpokladů, jeví se povahou od sebe zcela rozdílnými, o jejichž vzájemném spojení — pokud totiž budou v něm i nadále brány, a význam fyziologické zkušenosti o napětí neklesne na roveň jiným okolnostem podružným — nepoznáme nikdy více než jich pouhou souvislost časovou, jako v každém jiném svazku příčinném. Pojem síly vůbec nabývá odtud nového vzezření a přechází zcela na půdu fyzikální, jakž jsem o tom na jiném místě\*) pojednal, tak že dále o tom šířiti se tedy netřeba.

---

\*) Časopis pro pěstování math. a fys., roč. XXXIV., str. 21 a násl.

Vývin pojmu síly v novodobém smyslu svazku příčinného do značné míry zdržovala a dosud jeho ustálení překáží okolnost, že zákon setrvačnosti uváděn bývá před zákonem akce. Tím, že přihlížíme předem k samovolnému stavu tělesa, svádění jsme pak k tomu, abychom si představovali jeho porušení jako něco násilného. Tato nepříznivá okolnost odpadá v soustavě Machově\*), v níž vychází se ze zákona obapolného působení, jenž u Newtona jest třetím, a v soustavě, kterouž jsem podal v pojednání shora uvedeném a v níž vycházím od zákona akce, jenž jest u Newtona druhým. V obou těchto soustavách jeví se zákon setrvačnosti jako důsledek a nemůže tudíž buditi žádné předpojatosti ve smyslu zmíněném.

Soustava mechaniky bez síly setrvačnosti nenechává nás nikde v pochybnostech, jaké stanovisko v té neb oné otázce zaujati, a vůbec jest prosta všech nesnází, s nimiž v soustavách dříve uvedených se setkáváme. Můžeme některých příkladů stručně se dotknouti. Působení do vzdálenosti se s touto soustavou dobře srovnává, tak že převedení jeho na působení bezprostřední není tu postulováno, jako v soustavách dříve uvedených, nýbrž má význam obyčejné otázky zpytné. — Síla odstředivá, pokud jest radno tento název zaváděti, nemůže záležeti v ničem jiném než v protipůsobení se silou dostředivou dle zákona obapolného působení, nikoli ve smyslu síly setrvačnosti, souvisícím. Točíme-li kamenem na provazci upevněném jest k jeho pohybu potřebí síly dostředivé; tato síla záleží tu v působení molekulárního napětí ve směru jednom, tak že síla odstředivá jest působení téhož napětí ve směru opačném. Ke vzniku toho napětí není třeba síly setrvačnosti, dostačí k tomu pouhý pohyb setrvačnosti, totiž rovnoměrný pohyb přímočarý, kterýž koná těleso bez vlivu vnějšího. Kámen, ježž myslíme si k vůli jednoduchosti naprosto pevným, vzdaluje se pohybem setrvačnosti od středu a tím též od sousedních částic provazce tak daleko, až vznikne napětí odpovídající zrychlení dostředivému; tomuto napětí povolují též zmíněné částice provazce, ustupují od částic bezprostředně následujících, až vznikne i tu napětí stejně veliké, kterýmžto způsobem šíří se napětí to až

---

\*) Dr. E. Mach, *ibid.* p. 226 a násl.

k ruce, kdež poukazuje se na ně jako na zřejmý projev síly odstředivé. Při křivočarém pohybu těles volných, na př. při pohybu oběžnic kol slunce, nemusí býti síla dostředivá teprv pohybem tělesa buzena, tady jest předem dána v síle gravitační; za sílu odstředivou pak, má-li se zde o ní vůbec mluvití, dlužno důsledně dle příkladu předcházejícího bráti gravitační působení oběžnic na slunce. Jest nesprávně chtítí viděti jak často se stává, projev síly odstředivé v jakémśi zrychlení, jež zváno bývá odstředivým. Síla odstředivá nepůsobí na těleso konající pohyb křivočarý, nýbrž ono působí silou odstředivou. Zmenšení váhy těles pozemských následkem otáčení se země kol její osy nepochází, jak obyčejně se vykládá, z domnělého působení síly odstředivé na těleso se zemí kroužící, nýbrž z okolnosti jiné. Těleso na povrchu zemském volně puštěné koná pohyby dva, pohyb dostředivý kol středu země a volný pád. Část tíže spotřebuje se za sílu dostředivou pro pohyb prvý a zbývající část tvoří váhu tělesa, jsouc tudíž menší tíže celé. Ve volném pádu vyšetřuje se jen jedna složka skutečného pohybu tělesa; zmíněné zrychlení odstředivé možno nanejvýše vřaditi do oboru pojmů pomocných. — Pokus s tělesem na ruce vodorovně vztažené držným dochází zde rovněž z výkladu jednoduchého a z povahy soustavy důsledně vyplývajícího, bez přibírání prvků nových. Těleso vložené na ruku padá dále, až přiblíží se k částicím ruky do takové vzdálenosti, kteréž odpovídá vzájemný tlak způsobující zrychlení onoho tělesa rovnající se zrychlení volného pádu. Máme zde tentýž děj jako v onom případě s kamenem na provazci upevněným, ovšem pro různost směru příslušných zrychlení tam bylo napětí tahu, kdežto zde jest napětí tlaku, avšak nic na věci nemění, což hlavně padá na váhu, že tam jest případ dynamický, a zde statický. V soustavě bez síly setrvačnosti není žádné neústrojné přetržitosti mezi dynamikou a statikou, neboť rovnováha není zde, jako v soustavách dříve uvedených, rušením příčin, nýbrž zvláštním případem pouhé interference jich účinků pohybových.

---