Časopis pro pěstování mathematiky a fysiky

August Seydler
Dějiny všeobecné gravitace. [I.]

Časopis pro pěstování mathematiky a fysiky, Vol. 9 (1880), No. 1, 11--22

Persistent URL: `http://dml.cz/dmlcz/123994`

Dějiny všeobecné gravitace.

V stručném přehledu podává

dr. A. Seydler.

„Dvě hmotné částice přitahují se na vzájem silou, která jest v přímém poměru k součinu jejich hmot a v obráceném poměru ku čtverci jejich vzdálenosti.“

Tak jednoduchý jest výraz předního zákona světového! V skutku tak jednoduchý, že lze nyní školnímu dítěti vyložiti význam jeho; a přece, co duševní práce a to práce nejklopotnější vyžadovalo objevení jeho, kolik mužů kladlo se, po živobytí věnovaném cele prozkoumání úkazů podrobených zákonu onomu, v hrob, aniž by jim osud byl dopřál dostoupiti vrchole, s něhož by jim rozhled po širých krajech oněch úkazů jedním rázem byl objevil vnitřní jich souvislost! Teprv Newtonovi bylo popřáno, kochati se v rozkošné té vyhlídce, k níž byl sám cestu objevil; a právě proto, že jméno jeho značí vrcholení všech snah, jež k objasnění úkazů gravitačních se nesly, z této příčiny nesmějí jmenem tím začínati dějiny gravitace, jak se přečasto stává.

Úkazy gravitační jeví se hlavně dvojím směrem, o jehož vnitřní souvislosti první badatelé neměli a nemohli míti tušení: tíže na povrchu země v různých zjevech svých značí směr jeden, tajuplné pohyby těles nebeských směr druhý. Mimo tyto základní problemy jeví se nám ještě celá řada problemů jiných více méně důležitých. O jediném z problemů těch, o otázce po *tvaru země*, praví *Ivory*, že spojen byl s většími obtížemi a způsobil větší počet pojednání, nežli kterékoli jiné odvětví kosmické fysiky. Poslední výrok nejlépe objasňuje ohromný dosah objevu Newtonova, v jehož světle všechny ty tak různorodé na pohled záhady, jichž plné řešení vede často k práci stále vzrůstající, v jednotný, harmonický celek se slučují.

I. Gravitace na povrchu země.

Úkazy tíže na povrchu země známy byly od nepaměti; *objevení zákonů*, jimiž se úkazy ty řídí, a tudíž *první krok* na dráze vedoucí k všestrannému prozkoumání gravitace, přísluší *Galileimu*. Před tímto tvůrcem mechaniky panovaly vzhledem k pohybu neobmezeně názory Aristotelovy, rovněž tak mlhavé, jako nesprávné. Pohyby dělily se v přirozené a násilné. K přirozeným náležely kruhové dráhy oběžnic a přímočarné dráhy padajících těžkých neb stoupajících lehkých těles. Tělesa dělila se tudíž ve dvě, podstatně od sebe rozdílné třídy: tělesa směřující ku středu světovému a proto těžká, a tělesa prchající před středem tímto, tělesa lehká. K násilným pohybům náležel na př. pohyb vrženého kamene; předpokládáno, že pohyby takové se příčí povaze těles a že tudíž trvají jen potud, pokud působí síly odchylující těleso z jeho přirozené dráhy. Dle toho byl pohyb vrženého tělesa v první části přímočarný (násilný), v druhé části křivočarný (smíšený), v třetí části opět přímočarný (přirozený). Ano jakýsi *Santbeck* neostýchal se tvrditi (r. 1561), že kule vystřelená letí v přímém postupu tak dlouho, až se síla v ní vložená vyčerpá, načež začne náhle padati kolmě k zemi. Dlužno však podotknouti, že již před Galilei-m začaly se vyvíjeti tu a tam názory samostatnější. *Tartaglia*, známý též co původce t. zv. Cardanova vzorku pro řešení rovnic třetího stupně, vyslovil ve své mechanice (Nuova scienza, 1537) větu, že dráha vystřelené kule jest ve všech částech svých křivočarná.

Mimo to máme zde ještě jeden pojem vztahující se ku gravitaci, který byl již od Archimeda správně vymezen a od něho i od pozdějších rozličnými výsledky rázu ovšem jen geometrického obohacen: pojem *těžiště.*

Galileo Galilei (1564—1642) byl však první, jenž objeviv zákony volného pádu, položil tím základ všemu vědění našemu o tíži. Již r. 1583 jal se pochybovati o správnosti názorů Aristotelových. První podnět k pochybnostem svým obdržel prý v pisanském dómě; pozoroval zde totiž, že velké i malé svícny, zavěšené na řetězích stejné délky, ke kývání svému stejně dlouhou dobu potřebovaly. Z toho soudil zcela správně, že tělesa různé váhy stejně rychle padají, že tudíž váha tělesa nemá vlivu na rychlost jeho pádu. Dle Aristotela mají se tyto rychlosti jako váhy padajících těles; těleso, jež váží dvakráte tolik co jiné, padá též s dvojnásobnou rychlostí. Vytříbiv myšlenku svou a opřev ji důvody rozumovými, nemeškal Galilei potvrditi ji pokusy zevrubnějšími, než byla prvotní jeho pozorování. Jednou pouštěl z nakloněné věže pisanské koule z různých látek a různé velkosti dolů a shledal, že padly k zemi za stejnou dobu, jen když neměly příliš malé rozměry a příliš malou váhu, v kterém případě odpor vzduchu výsledek změnil. Jiné pokusy vykonal Galilei v Padově, upotřebiv kyvadla různé váhy, však stejné délky, jež vesměs stejně rychle kývala.

Další krok v určení zákonů volného pádu bylo stanovení urychlení. Že pohyb padajících těles byl urychlený, bylo ovšem již dříve známo, nevědělo se však, dle jakého pravidla. Jelikož potřeboval dle názorů tehdy běžných již pohyb rovnoměrný stálého působení síly, t. j. tíže, která byla ovšem „skrytou vlastností“ (qualitas occulta) onoho tělesa, bylo ovšem k urychlení zapotřebí zvláštní pomocné síly a za takovou považovali mnozí tlak vzduchu. Za padajícím tělesem utvoří se vzduchoprázdný prostor, do něhož vzduch rychle vnikne, uděluje takto tělesu pohyb stále rychlejší.

Galilei poznal, že vzduch při pádu působí jen odporem svým, a pojal důležitou myšlenku, že urychlený pohyb vzniká jedině působením pohybující síly. Z toho ovšem následovalo, že k pohybu rovnoměrnému není zapotřebí žádné síly, t. j. následovalo důležité rozšíření *zákona setrvačnosti* na pohyb rovnoměrný. Pro klid byl zákon ten vysloven již dříve Kepplerem, t. j. bylo stanoveno, že těleso v klidu se nalezající nemůže samo o sobě v pohyb se uvésti. Základní ona myšlenka, jež stanovila vztah mezi *zvětšováním rychlosti a působící silou,* vedla nutně dále k stanovení správných *zákonů volného pádu.* Z počátku domníval se ovšem Galilei, řídě se běžným tehdy názorem, že rychlosti mají se k sobě jako opsané dráhy čili

$$v : v' = s : s';$$

leč záhy poznal nesprávnost tohoto náhledu a dospěl na základě uvedené právě myšlenky k větě, že rychlosti mají se k sobě jako délky uplynulého času, čili

$$v : v' = t : t'.$$

Uznávaje totiž, že vzrůstání rychlostí závisí na působení pohybující síly, hleděl vztah obou veličin blíže stanoviti, a tu nejjednodušší domněnka byla ovšem ta, že vzrůstání jest právě tak stálé jako síla, že tedy rychlost za stejné doby o stejné veličiny vzrůstá. Věta ta, byť i sebe pravdě podobnější, zůstala však pouhou domněnkou, dokud nebyla zkušeností dokázána.

Rychlosti měřiti nebylo však patrně možné; proto musel Galilei nejprvé vyvoditi jinou větu co následek první, totiž

$$s : s' = t^2 : t'^2.$$

Větu tu lze ovšem zkoumati pokusem; leč rychlost padajících těles jest tak velká, že jest k provedení pokusu zapotřebí velikých výšek a co nejpřesnějších spůsobů měření; měření takové, i nyní ještě nanejvýš obtížné, nemohl Galilei provésti.

Pozoruje pád na nakloněné rovině, poznal *Galilei,* že by zde lépe mohl měřiti závislost dráhy na čase, kdyby znal jenom spůsob, jakým nakloněná rovina mění zákony volného pádu. Tato část složitého problému, v jehož řešení se byl uvázal, poskytovala mu největších obtíží. Konaje nejrůznější pokusy s kyvadly, jichž kruhové dráhy mu nahražují jaksi soubor četných, různě nakloněných rovin, dospívá konečně k následující větě, které však užívá více co postulatu jakéhos, platnost svou ze souboru všech pozorování odvozujícího, nežli co věty přísně dokázané: „stupně rychlostí pohybujícího se tělesa, jež v přirozeném pohybu na libovolně nakloněných rovinách sestupuje, jsou při dospění v tutéž vodorovnou rovinu vždy stejné, byly-li všechny překážky odstraněny."

Patrně nebyl mu však tento postulat tak samozřejmým, aby se nepokusil později o přesný důkaz. Důkaz ten musel se opírati o nový princip neb postulat; větou, kterou zde Galilei volil, učiněn jest velmi rozhodný krok ku poznání druhého základního principu mechaniky, totiž principu rovnoběžníku sil.

Tato základní věta mechaniky nevyskytuje se však u Galilei-ho s tou určitostí a v tom rozsahu jako později u jiných, zejmena u Varignona (1687) a Newtona (1687). Naopak ze všech prací Galilei-ových vysvítá, že mu princip ten v tom smyslu, jaký my mu nyní přikládáme, nebyl znám a že mu tudíž bez práva přičítá Poggendorff jeho nalezení. Skládání pohybů př vrhu vodorovném v pohyb parabolický, jež Galilei ovšem též již provedl, jest postup ryze foronomický, vždyť zde působí jediná sila (v našem smyslu), tíže totiž, právě tak jako při volném pádu. Když pak hleděl Galilei při nakloněné rovině svůj dříve uvedený postulat nahraditi jednodušším, tu ovšem volil větu: popud („impetus", oblíbený to výraz jeho) ve směru kolmém má se k popudu ve směru nakloněné roviny, jako se má délka této roviny k výšce její.“

Popud ve směru nakloněné roviny či jak nyní říkáme *složku* celé síly v tomto směru obdržíme, promítneme-li sílu tu na onu nakloněnou rovinu. Toť ovšem *část* věty o rovnoběžníku sil, avšak část velmi neúplná, neboť předně nemáme zde úplný rozklad celé síly, nevíme tudíž, je-li tu ještě jiná složka a co se s ní stane, za druhé bychom zde měli i pro ten případ, že by tato poslední otázka též byla zodpověděna, pouze rozklad ve dvě k sobě *kolmé* složky, tudíž jen zvláštní případ rovnoběžníku sil. Ostatně měl v ohledu tom Galilei předchůdce, *Šimona Stevina* (1548—1620), nizozemského mathematika a inženýra, který dříve již (aniž by se však Galilei o jeho práci byl dozvěděl) vyslovil větu, že tři síly jsou v rovnováze, mají-li se k sobě jako strany trojúhelníka pravoúhelného. Galilei pokoušel se sám ještě všelijak o odůvodnění druhého postulatu svého, pomocí úvah o páce, ovšem že marně, neboť věta, kterou se snažil odůvodniti, byla v podstatě své právě tak jednoduchá, jako věta o rovnováze na páce.

Po této odchylce vraťme se opět k vlastnímu svému předmětu. Ze svých úvah nabyl Galilei jistoty, že se řídí pohyb na nakloněné rovině tymiž zákony, jako volný pád, s tím toliko rozdílem, že jest urychlení menší. Mohl tudíž Galilei provésti známé pokusy své na potvrzení svých zákonů pádu. Pokusy ty jsou též zajímavy proto, že byl Galilei, nemaje lepšího časoměru, nucen měřiti čas váhou vody vyteklé z široké nádoby úzkým otvorem. Výsledek pozorování potvrdil theoretické výzkumy jeho a Galilei mohl přikročiti k četným dalším následkům zákonů svých, jež nyní co nejsnadněji vyvozujeme z obou základních vzorků

$$v = gt, \qquad s = \frac{gt^2}{2}.$$

Důležitým pokrokem v poznání hlavních následků zákona tíže bylo stanovení parabolického pohybu při vodorovném neb šikmém vrhu. Že zde upotřebil rovnoběžníku *pohybu* (ne *sil*), bylo již uvedeno; bylo v tom obsaženo rozšíření věty platící již i pro volný pád, že síla stejně působí na hybné těleso, ať má toto jakoukoli rychlost v jakémkoli směru, že jest tedy od rychlosti hybného tělesa neodvislá.

Konečně prozkoumal Galilei zákony jednoduchého kyvadla, tohoto v theorii gravitace tak důležitého stroje. Že neodvislost doby kyvů od váhy kyvadla byla východištěm hlubokých jeho koncepcí, viděli jsme prvé; novým výsledkem byl však zákon, jímž vyjádřena závislost oné doby na délce kyvadla, totiž

$$t^2 : t'^2 = l : l',$$

kterýžto zákon vyvodil Galilei z pádu na nakloněné rovině a pomocí něhož vypočítal k velkému úžasu svých posluchačů výšku klenutí pisanského dómu. V poslední době svého života zanášel se Galilei upotřebením kyvadla co časoměru; syn jeho Vincenzo sestrojil r. 1649 jakési hodiny kyvadlové, bezpochyby dle původních myšlenek otce svého; leč stroj ten byl velmi nedokonalý, ano kyvadlo samo sloužilo k udržování pohybu, jenž tudíž ovšem za krátko přestati musel.

Spisy, v nichž Galilei uveřejnil výsledky svého již v mládí počatého bádání, vyšly mnohem později; hlavní dílo jeho jest:

„Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze. 1638."

Mnoho mechanického obsaženo též ve spise psaném na uhájení soustavy Koperníkovy:

„Dialogo intorno ai due massimi sistemi del mondo. 1632."

Spis ten má pro gravitaci též velkou důležitost v tom ohledu, že v něm hájena soustava, jejíž důsledné vzdělání vedlo k objevení zákonů téže gravitace.

Mimo to vyšel r. 1634 ve francouzském překladu a r. 1649, tedy již po smrti spisovatele, v původním jazyku spisek jednající o mechanice: „Della scienza meccanica", a r. 1612 méně důležitý spisek o hydromechanice.

Chceme-li v stručný výraz shrnouti zásluhy Galileiovy o gravitaci, musíme předně vytknouti zásluhy jeho *všeobecné*:

o *methodiku* přírodních věd, an celým svým působením světla ukázal sloučení pozorování s vývodem, čili indukce s dedukcí co jedině plodnou mothodu těchto věd;

o *mechaniku*, kterouž vědu založil, vytříbiv pojem síly co příčiny urychlení, která na rychlosti nezávisí, vysloviv důležitý princip setrvačnosti a položiv první základy k principu rovnoběžníku sil.

Na základě tomto bylo mu pak možná, vytknouti v tom oboru, který nás právě zajímá, dílo důležité, ukázati totiž, že *tíže* jest *síla stálá*, za jejíhož vlivu obdrží těleso pohyb rovnoměrně urychlený.

Místo všeobecného vzorku pro sílu gravitace

$$p = \frac{mm'}{r^2} = m\left(\frac{m'}{r^2}\right)$$

určil Galilei jednodušší vzorek

$$p = mg,$$

který platí pro povrch země.

Dále určil plynoucí z toho vzorku výrazy pro pohyb volného pádu:

$$v = gt, \quad s = \frac{gt^2}{2}$$

čili, jak bychom nyní řekli, první a druhý integral příslušné differencialní rovnice pohybu.

II. Gravitace v úkazech nebeských těl.

Co *Galilei* pro zjevy tíže na povrchu země, to jest, alespoň až po jistou míru, *Keppler* pro zjevy gravitace na obloze. Mělť ovšem velkého předchůdce, jehož postrádal Galilei, našeho *Koperníka* (1473—1543), jenž objeviv hlavní rysy sluneční soustavy, položil první základy k správnému rozboru složitých úkazů gravitačních. Koperníku náleží v dějinách gravitace také z té příčiny jedno z předních míst, že měl velmi jasnou představu (ovšem vlastně jen domněnku) o povaze tíže. V proslaveném spise svém de Revolutionibus Orbium coelestium (1543) pronáší se asi takto: „Já však domnívám se, že není tíže ničím jiným, než přirozenou jakousi snahou, v částice vloženou božskou prozřetelností tvůrce veškerenstva, aby v jednotu a celek se spojily nabývajíce tvaru koule. I jest pravdě podobno, že tato snaha i v slunci, měsíci a při jiných oběžnicích se nalezá, tak že jejím působením v tom kulatém tvaru, v němž se nám jeví, setrvávají, vykonávajíce při tom mnohými spůsoby oběhy své.“ —

Jan Keppler (1571—1630) stavěl dále na základech Koperníkem položených. Methoda jeho byla tatáž, jako methoda Galilei-ho, sloučení totiž pozorování a vývodu, a úspěchy cestou tou docílené byly rovněž skvělé. Jakož pak měl co se dedukce týče, v Koperníkovi důležitého předchůdce, tak mu zase razí na půdě pozorování bezděky dráhu odpůrce soustavy Koperníkový, *Tycho Brahe*. Slavný pozorovatel tento (1546—1601) uvedl byl pozorování astronomické na takový stupeň dokonalosti, že další pokrok byl jedině vynalezením dalekohledu umožněn.

Zvláštní hrou osudu, která se ostatně v dějinách vědy nezřídka vyskytuje, tvořily právě výsledky Tychonových pozorování pevný základ, na němž mohl Keppler zbudovati zákony své a nezvratně takto dokázati pravosť soustavy Koperníkovy. Byl totiž Keppler původně povolán od Tychona do Prahy, by po boku Longomontana, Tengnagla, Erichsona a jiných mathematiků, shromáždivších se tehdy v Praze, středu to vědeckém oné doby, vypracoval nové desky astronomické, jež by opírajíce se o četná pozorování Tychonova (24 foliantů) nahradily chybné tabulky Reinholdovy, t. zv. Tabulae prutenicae. Po smrti Tychonově obdržel místo jeho a měl pokračovati v úloze právě naznačené. Keppler byl si však již položil úkol daleko stkvělejší: obdařen bohatou obrazotvorností vědeckou, chovaje hluboké přesvědčení o harmonickém sosnování světa, pracoval železnou vytrvalostí o vynalezení pravých zákonů pohybu oběžnic, zkoušeje nejprv rozmanité hypothesy kruhové, jimiž by v lepší souhlas uvedl pozorování a počet. Po nejnamahavějších výpočtech, když byl celou řadu hypothes probral a opět zamítnul, nalezl konečně první dva zákony své, jež uveřejnil v nejslavnějším spise, který kdy v Praze byl vyšel:

Astronomia nova *αιτιολόγητος*, sive Physica coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus Tychonis Brahe, Pragae 1609.

Začátek prací Kepplerových v tomto směru spadá do 1600. Průběhem svých výpočtů poznal Keppler, že dlužno voliti za střed pohybu oběžnic slunce, a že vzhledem k tomuto středu průvodiči jejich drah v stejných dobách opisují stejné plochy; *první to zákon*. Zákona tohoto upotřebil nejprv na dráhu Marsovu, předpokládaje, že tato jest kruhem výstředným vzhledem k slunci. Výpočet lišil se od pozorování veličinami, jež v maximum obnášely osm minut (prostorných.) Toť jest oněch slavných osm minut, o nichž sám praví, že vedly k reformě celého hvězdářství.

K tomuto budiž podotknuto, že před Tychonem možné chyby pozorování zhusta obnášely 10′; teprv Tycho toho docílil, že pozorování jeho byla přesná až na jedinou minutu. Bez jeho pozorování by tudíž objevení Kepplerových zákonů bývalo nemožné. Keppler sám zkoušel nejprvé, přesvědčiv se o nemožnosti kruhu, různé křivky vejčité, jež nazývá metopoidy, ovoidy, ellipoidy (r. 1600—1607); konečně r. 1605 nalezl pravý tvar dráhy Marsovy, ellipsu, o čemž první zmínka se děje v dopisu z 11. října téhož roku, svědčícím astronomovi D. Fabriciovi. Tím objeven *druhý zákon* Kepplerův: dráhy oběžnic jsou ellipsy, v jichž ohnisku se nalezá slunce.

Mimo tyto dva hlavní zákony oplývá uvedený spis množstvím nových názorů. Setkáváme se tu se zárodkem zákona setrvačnosti, totiž s větou, že každá hmota zůstane, kde jest sama, mimo působení jiné látky, v klidu. Setkáváme se dále s názory velmi určitými o povaze všeobecné tíže. Tíže přisluší *všem tělesům* a jeví se mezi dvěma stejnorodými tím, že je hledí spojiti. Žádná hmota není tudíž absolutně lehká, nýbrž jen více méně hustá (podobná reakce proti peripatetikům, s jakou jsme se byli setkali již u Galilei-ho). Nejvíce povšimnutí zasluhuje správný náhled o závislosti hybné síly na hmotě: kdyby země a měsíc počaly se k sobě blížiti (za vlivu vzájemné své tíže), urazil by měsíc $\frac{53}{54}$ země jen $\frac{1}{54}$ celé vzdálenosti; dráhy tyto mají se k sobě v obráceném poměru obapolných hmot.

Že v slunci co foronomickém středu soustavy planetární spatřoval Keppler též fysikální střed, totiž sídlo hybné síly, rozumí se při jeho duševním směru samo sebou; nemaje však, jako později Newton, průpravnými prácemi svých předchůdců proklestěnou dráhu, zbloudil s pravé cesty, upadaje v představy o jakémsi magnetickém působení slunce, jež se děje v jednoduchém obráceném poměru vzdálenosti. Však i zde vedlo jej šťastně prorocké nadání jeho: vycházeje od chybné této představy dospěl alespoň k tomu správnému výroku, že slunce otáčí se kolem osy své, což na to brzo objevením skvrn slunečních se potvrdilo. *)

Druhý spis Kepplerův, jenž nás zde zajímá, slove: Harmonices mundi libri quinque, geometricus, architectonicus, harmonicus, psychologicus, astronomicus cum appendice continens mysterium cosmographicum, Lincii 1619.

V spise tom vyložen jest *třetí zákon* Kepplerův: druhé mocnosti dob oběhů jednotlivých oběžnic mají se k sobě jako třetí mocnosti příslušných středních vzdáleností od slunce.

Zákon ten nalezen jest 18. března 1618; nejprv jej Keppler následkem omylu v počítání zavrhnul; vrátil se však k němu opět 15. května téhož roku, a shledal, že jest správný.

Přehledneme-li podobně jako u Galilei-ho zásluhy Kepplerovy o theorii gravitace, tu shledáme, že sice neobjevil pro soustavu planetární zákon síly, ovšem složitější než jednoduchý zákon nalezený od Galilei-ho pro povrch země; za to však nalezl svými třemi zákony výsledný pohyb, plynoucí z onoho, jemu neznámého, elementárního zákona gravitace, nalezl tedy první a druhý integral differencialních rovnic pohybu pro ten případ, že urychlení není stálé, nýbrž nalezá se v obráceném čtvercovém poměru vzdáleností. Byť i jeho zásluhy o gravitaci nerovnali se úplně zásluhám Galilei-ho, náleží mu přece první místo vedle tohoto, a to tím spíše, jelikož problem, jehož částečné řešení podal, byl mnohem obtížnější nežli problem pohybu těžkých těles na zemi.

---

*) Na doklad toho stůjtež zde nadpisy několika hlav spisu výše uvedeného.

Cap. 32. Virtutem, quae planetam movet in circulum, attenuari cum discessu a fonte.

Cap. 33. Virtutem, quae planetas movet, residere in corpore Solis.

Cap. 34. Corpus Solis esse magneticum, et in suo spatio converti.

Cap. 36. Qua mensura virtus ex Sole motrix per mundi amplitudinem attenuetur?

Cap. 38. Planetas praeter communem Solis vim motricem praeditos esse vi insita: et motus eorum singulorum componi ex duabus causis.

Viz Opera Keppleri ed. Frisch, vol. III.

Náhled, že za příčinu pohybů těl nebeských musíme považovati jich přítažlivost, byl ostatně o sobě tak jednoduchý, že se domněnka ještě u některých jiných badatelů vyskytuje. *Giovanni Borelli* (1608—1679) vykládá ve spisu svém: Theoria mediceorum planetarum ex causis physicis deducta, 1666, kterak se oběžnice a jich družice hledí sloučiti s koulí, kolem které kolotají, a kterak pohyb kruhový podmiňuje snahu (impetum), by se vzdálily od středu. Rovnováha mezi oběma snahama jest dle něho příčinou oběhů.

Zvláštní pozornosti zasluhují výroky genialního *Fermata* (1608—1665). Týž pronesl o tíži náhled ten, že jest podmíněna vzájemným přitahováním se všech těles, a soudil z toho, že tíže ubývá uvnitř země, ubývá-li vzdálenosti od středu, a to v přímém poměru s touto vzdáleností, poněvadž hořejší vrstvy těleso nazpět přitahují.

R. 1645 pronesl se lékař *Bouillaud* ve své *Astronomia Philolaica* asi takto: má-li slunce sílu, která působí na oběžnice, musí ubývati síly té v témž poměru, v jakém roste čtverec vzdálenosti od slunce.

O současných pracích některých vrstevníků Newtonových promluvím místněji při rozboru jeho vlastních výkonů; nyní zbývá mi ještě zmíniti se o muži, který, v mnohých ohledech a zejmena v optice šťastný, ano vítězný soupeř Newtonův, v oboru gravitace ovšem méně vykonal než Galilei a Keppler, přece však zejmena co tvůrce nových důležitých pomyslů mechanických, jež Newtonovi důkladné spracování objevu jeho umožnily, v historii všeobecné přítažlivosti čestného místa zasluhuje.

Jest to *Kristian Huyghens* (Hugenius, 1629—1695). Jeho výzkumy o kyvadle, vyložené v klassickém spise: Horologium oscillatorium, 1673, tvoří pokračování prací Galilei-ho a mají pro nauku o gravitaci velkou důležitost, obsahujíce theorii stroje pro onu náuku tak užitečného. Hodiny a kyvadlo sekundové patří mezi ty stroje, pomocí nichž jedině bylo možno vyšetřiti tvar země, t. j. řešiti určitý problem gravitace. Ještě větší dosah má však pro předmět náš theorie odstředivé síly, která byla v tomtéž spisu Huyghensově ponejprv stručně vyložena, načež následovalo r. 1703 (po smrti spisovatele a po vydání Newtonových „Principia") obšírnější pojednání: De motu et vi centrifuga.

Vyšetřením Huyghensovým jde na jevo, že odstředivá síla, která se při kruhovém pohybu (co reakce proti síle dostředivé, což ovšem teprv Newton jasně vyložil) vyvine, jest v přímém poměru ku čtverci rychlosti a v obráceném ku poloměru kruhu (všeobecněji ku poloměru křivosti), čili že síla ta

$$f = \frac{v^2}{r} = \frac{4r\pi^2}{t^2}$$

kde druhý tvar obdržíme, zavedeme-li místo rychlosti v, čas t potřebný k vykonání jednoho oběhu.

Věta ta jest ovšem všeobecně mechanická; dosah její pro gravitaci stane se nám však ihned patrným, uvážíme-li, že vede ve spojení s třetím zákonem Kepplerovým bezprostředně k oné části výrazu pro gravitaci, která vyjadřuje odvislosť od vzdálenosti. Jest totiž dle onoho zákona

$$t^2 = cr^3,$$

tudíž $$f = \frac{4\pi^2}{c} \cdot \frac{1}{r^2} = \frac{C}{r^2}$$

při čemž ovšem předpokládáme dráhy oběžnic co kruhové.

Jiný spis Huyghensův: Discours sur la cause de la pesanteur, 1690, v němž pojednává o tvaru země, zejmena o její sploštěnosti, a předpokládá, že sídlo tíže se nalezá *jedině* ve středu země, uvádím jen pro ouplnost; před vyjitím jeho byl již Newton o otázkách sem spadajících mnohem správněji a důkladněji pojednal.

Z toho co až posud uvedeno, vidíme, že byly již před Newtonem mnohé důležité otázky, jednající o gravitaci, buď ouplně buď částečně řešeny; dále že různé pokusy seděly, by byl pro míru přítažlivosti určitý výraz, stanovící odvislost její ode všech podmiňujících veličin, nalezen; leč všechny takové pokusy daleko jsou zastíněny stkvělým činem Newtonovým, jenž hledaný zákon nejen tušil, nýbrž přesně vymezil a odůvodnil, ukázav současně zákonem tím vnitřní souvislost dvojího druhu úkazů, které zdánlivě velice se od sebe různily.